

Asuntojen radonkorjaaminen

Hannu Arvela, Olli Holmgren, Heikki Reisbacka

Asuntojen radonkorjaaminen

Hannu Arvela, Olli Holmgren, Heikki Reisbacka

Vastuuvapauslauseke

Tässä raportissa on kuvattu erilaisia radonkorjausmenetelmiä ja niillä saavutettuja tuloksia. Ohjeiden ja esimerkkitapausten tarkoituksena on helpottaa korjausmenetelmän valintaa ja tukea radonkorjauksen suunnittelua ja toteutusta. Jokaista korjauskohdetta koskevat päätökset on tehtävä niin, että otetaan huomioon korjattavan rakennuksen erityispiirteet ja korjauksen tavoitteet.

Säteilyturvakeskus tai raportin kirjoittajat eivät vastaa valituilla korjausmenetelmillä saavutetuista tuloksista tai niiden mahdollisista haittavaikutuksista.

Tässä raporttisarjassa esitetyt johtopäätökset ovat tekijöiden johtopäätöksiä, eivätkä ne välttämättä edusta Säteilyturvakeskuksen virallista kantaa.

Raportin taitto ja grafiikka

STUK-A229-oppaassa aiemmin julkaistu aineisto:

Symboli Advertising Oy, www.symboli.fi

STUK-A252-oppaan muutokset ja lisäykset sekä kuvat

4.12, 4.13, 4.15 ja 4.16: Nina Sulonen, Säteilyturvakeskus

ISBN 978-952-478-700-0 (nid.)

ISBN 978-952-478-701-7 (pdf)

ISSN 0781-1705

Kopio Niini Oy, Helsinki 2012

Myynti:

STUK – Säteilyturvakeskus

PL14, 00881 Helsinki

Puh. (09) 759 881

Faksi (09) 7598 8500

ARVELA Hannu, HOLMGREN Olli, REISBACKA Heikki. Asuntojen radonkorjaaminen. STUK-A252. Helsinki 2012, 138 s. + liitteet 3 s.

Avainsanat: radon, radonkorjaus, sisäilma, asunnot

Tiivistelmä

Suomessa on yli 50 000 asuntoa, joissa sisäilman radonpitoisuuden enimmäisarvo 400 Bq/m^3 ylittyy. Näissä asunnoissa tarvitaan radonkorjauksia. Korkeiden radonpitoisuuksien merkittävin aiheuttaja on maaperän erittäin radonpitoinen ilma, joka virtaa perustusten rakojen kautta maaperästä sisätiloihin. Maanvarainen laatta on käytetyin perustamistapa Suomessa, joka ilman radontorjuntatoimia edistää radonpitoisen ilman virtauksia sisätiloihin. Nykyisin suosituissa rinnetaloissa maanvastaiset harkkoseinät lisäävät vielä radonvuotoja. Radonkorjausten keskeinen tavoite on maaperästä tulevien ilmavuotojen estäminen tai vähentäminen.

Opas antaa perustiedot sisäilman radoniin liittyvistä määräyksistä ja ohjeista, radonpitoisen ilman vuotoreiteistä, ilmanvaihdon ja alipaineisuuden vaikutuksesta sekä asunnon tutkimisesta ennen korjausta. Korjausmenetelmien tehokkuudesta esitetyt tulokset perustuvat kyselytutkimukseen 400 asunnossa sekä lukuisiin korjauskohdetutkimuksiin. Radonimurin osalta oppaassa hyödynnetään myös ympäristöministeriön julkaiseman radonimurioppaan tärkeimpiä ohjeita.

Tehokkaimpia menetelmiä ovat olleet radonimuri ja radonkaivo. Tyypilliset radonpitoisuuden alenemat molemmilla menetelmillä ovat olleet 70–90 %, parhaat yli 95 %. Radonimuri voidaan toteuttaa joko lattian tai sokkelin läpi. Imupisteeseen kytketyllä poistopuhaltimella imetään ilmaa lattialaatan alta. Radonkaivon avulla imetään ilmaa maaperästä 4–5 metrin syvyydeltä. Kaivo rakennetaan korjattavan rakennuksen ulkopuolelle. Yksi kaivo voi alentaa riittävästi jopa kymmenen lähistöllä olevan asunnon radonpitoisuutta.

Asuintilojen ilmanvaihtoteknisillä korjauksilla alennetaan radonpitoisuutta joko ilmanvaihtuvuutta lisäämällä tai asunnon alipaineisuutta vähentämällä. Tyypilliset radonpitoisuuden alenemat ovat 10–40 %. Alenemat ylittävät 50 % poikkeustapauksissa, joissa ilmanvaihtuvuus on ollut ennen korjausta alhainen tai alipaineisuus on ollut korkea.

Rakenteiden tiivistämisellä pyritään vähentämään maaperän radonpitoisen ilman virtausta asuntoon. Tyypilliset pelkillä tiivistystöillä saavutetut radonpitoisuuden alenemat ovat 10–50 %. Sekä ilmanvaihtoteknisiä toimia

että tiivistämistöitä voidaan käyttää tehostamaan radonimurin ja -kaivon vaikutusta.

Kerrostalojen alimpien kerrosten asuntojen radonkorjauksissa käytetään samoja menetelmiä kuin pientaloissa. Kerrostaloasuntojen korkeat alipaine-
tasot eivät ainoastaan kasvata sisäilman radonpitoisuutta vaan myös heikentävät radonimurin ja -kaivon toimivuutta. Korjauksia onkin tarvittaessa tehostettava alentamalla asunnon alipaineisuutta ulkoilmaventtiilien avulla. Tiivistämistöillä voidaan myös tehostaa korjaustoimia. Tiivistämisellä yksin on vain harvoin saavutettu yli 50 % alenemia.

Opas antaa myös lyhyen katsauksen työpaikkojen ja suurten rakennusten radonkorjauksista sekä uudisrakentamisen radontorjunnasta. Uudisrakentamisen yhteydessä radonpitoisuuden enimmäisarvo on 200 Bq/m³. Tämän rajan ylittäviä asuntoja on Suomessa 200 000. Radontorjunta tulisi huomioida kaikessa rakentamisessa koko maassa, jotta rakentaminen ei tuottaisi lisää korjattavia kohteita.

Oppaassa on esitetty paljon käytännön esimerkkejä korjauskohteista. Tavoitteena on ollut, että opas soveltuisi korjausyritysten käyttöön mutta myös omatoimisille korjaajille.

ARVELA Hannu, HOLMGREN Olli, REISBACKA Heikki. Indoor radon mitigation. STUK-A252. Helsinki 2012, 138 pp. + appendices 3 pp.

Keywords: radon, radon mitigation, indoor air, homes

Abstract

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

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

Best mitigation efficiency has been achieved using sub slab suction and radon well. Typical indoor radon reduction factors for both methods are 70–90%, and the best results are above 95%. Sub slab suction can be implemented through both floor slab and foundation wall. An exhaust fan coupled to suction pit and exhaust piping creates underpressure and ventilation beneath the slab. In case of a radon well an exhaust fan sucks air from the soil and ventilates the soil air volume through a well construction placed outside the house. The depth of a radon well is 4–5 metres. A single radon well can reduce radon concentration in many dwellings at the distance up to 20–30 metres.

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

Sealing of entry routes aims at reduction of leakage flow of radon-bearing soil air into living spaces. Typical reduction factors with this method are 10–50%. Both ventilation-based measures and sealing work can also be used for improvement of the efficiency of sub-slab-suction or radon well.

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

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

This guide presents many practical examples on mitigation work, and it is intended to be used by both professionals in construction companies and by do-it-yourself mitigators.

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	5
ALKUSANAT	11
1 JOHDANTO	13
1.1 Mitä radon on?	13
1.2 Miten radon tulee asuntoon	14
1.3 Määräykset ja ohjeet	17
1.4 Ilmanvaihdon merkitys	18
1.5 Alipaineisuuden merkitys	18
1.6 Radonkorjaustutkimus Suomessa	20
2 KORJAUSMENETELMIEN TEHOKKUUS JA VALINTA	22
2.1 Tutkimuskohteet	22
2.2 Radonmittaukset	22
2.3 Korjausmenetelmien tehokkuus	22
2.4 Korjausmenetelmän valinta	27
3 ASUNNON TUTKIMINEN ENNEN KORJAUSTA	28
3.1 Radonmittaus	28
3.2 Rakennusmaa ja perustus	29
3.3 Radonpitoisen ilman vuotoreitit	29
3.4 Ilmanvaihdon tarkistaminen	30
4 RADONIMURI	32
4.1 Soveltuvuus	32
4.2 Radonimurin ohjeistus	32
4.3 Toimintaperiaate	32
4.4 Radonimurin suunnittelu	36
4.5 Kantavien väliseinien vaikutus	37
4.6 Tiivistämistöiden tarve	37
4.7 Poistokanaviston ja puhaltimen sijoituksen suunnittelu	38
4.8 Imupisteiden sijainnin ja lukumäärän valinta	39
4.9 Imupiste ja läpivienti	41
4.10 Poistokanavisto	44

4.11	Puhallin ja sen sijoitus	45
4.12	Radonimurin poistoilmamäärän mitoitus	46
4.13	Radonimurin asennus sokkelin läpi	47
4.14	Radonimurin haittavaikutukset	49
4.15	Radonimurin vaikutus sisäilmaan	50
4.16	Hyvin ilmaa läpäisevät alapohjarakenteet	50
4.17	Radonimurilla saavutetut tulokset	50
4.18	Radonimuri kellarin seinän läpi, Järvenpää	51
4.19	Radonimuri, Lahti	53
4.20	Imupisteen syventäminen, Tampere	53
4.21	Radonimuri ja normaali salaojaputkisto	55
4.22	Salaojaputkistoon kytketty radonimuri, Lempäälä	56
4.23	Salaojaputkistoon kytketty radonimuri, Pirkanmaa	58
5	RADONKAIVO	60
5.1	Toimintaperiaate	60
5.2	Radonkaivon toteutus	61
5.3	Radonkaivolla saavutetut tulokset	63
5.4	Radonkaivo harjualueella Hollolassa 1	64
5.5	Radonkaivo harjualueella Hollolassa 2	65
5.6	Radonkaivo Hyvinkäällä	68
5.7	Radonkaivo Pispalanharjulla 1	70
5.8	Radonkaivo Pispalanharjulla 2	72
5.9	Porakaivotekniikalla toteutettu radonkaivo	75
6	RAKENTEIDEN TIIVISTÄMINEN	78
6.1	Toimintaperiaate	78
6.2	Toteutus	78
6.3	Tulokset	81
6.4	Esimerkkejä tiivistämisestä	84
7	RYÖMINTÄTILAISET RAKENNUKSET	86
7.1	Toimintaperiaate	86
7.2	Toteutus	86
7.3	Tulokset	87
8	ASUINTILOJEN ILMANVAIHTOTEKNISET KORJAUKSET	89
8.1	Toimintaperiaate	89
8.2	Toteutus	89
8.3	Tulokset	92

8.4	Ulkoilmaventtiilien asennus, Helsinki	93
8.5	Alipaineisuus radonimurikohteessa, Keski-Uusimaa	94
9	KELLARIN ILMANVAIHTOKORJAUKSET	96
9.1	Toimintaperiaate	96
9.2	Toteutus	96
9.3	Tulokset	96
9.4	Esimerkki kellarikorjauksesta	97
10	KERROSTALOJEN RADONKORJAUKSET	98
10.1	Vuotoreitit kerrostaloasunnoissa	99
10.2	Alipainemittauksia kerrostaloasunnoissa	100
10.3	Normaali ja tehostettu ilmanvaihto	101
10.4	Ulkoilmaventtiilien asennus radonkorjauksena	101
10.5	Esimerkki ulkoilmaventtiilien asennuksesta	104
10.6	Tiivistämistyöt ja saavutetut tulokset	105
10.7	Tiivistämiskohde, Helsinki	105
10.8	Radonimuri kerrostaloissa	106
10.9	Imurikorjaus pääkaupunkiseudulla	106
10.10	Imurikorjaus Helsingissä	109
10.11	Kerrostaloasunnot, joissa on puinen alapohja	111
10.12	Radonkaivo kerrostalokorjauksissa	111
10.13	Ylempien kerrosten radonkorjaukset	112
10.14	Tuulettuva alapohja kerrostaloissa	112
10.15	Uudet kerrostalot	114
10.16	Yhteenvedo kerrostalojen radonkorjauksista	114
11	TYÖPAIKKOJEN JA SUURTEN RAKENNUSTEN RADONKORJAUKSET	115
11.1	Työpaikkojen radonvalvonta, säädökset ja ohjeet	115
11.2	Työpaikkojen radonkorjausten menetelmät	116
12	ASUNNON TUTKIMUKSISSA KÄYTETTÄVISTÄ MITTAUKSISTA	119
12.1	Radonpitoisuuden mittaaminen	119
12.2	Alipaineisuuden mittaaminen	122
12.3	Merkkisavun käyttö	122
12.4	Merkkiainetutkimukset	123
13	RADONKORJAUSTEN HINTA	124

14 RADONIN TORJUNTA UUDISRAKENTAMISESSA	126
14.1 Määräykset ja ohjeet	126
14.2 Perustustavan vaikutus	126
14.3 Maanvaraisen laatan tiivistäminen	128
14.4 Radonputkiston asentaminen	131
14.5 Järjestelmän aktivoiminen	131
14.6 Imujärjestelmän puutteellinen toiminta	133
15 NEUVONTA JA AVUSTUKSET	134
16 PALAUTE	135
17 KIRJALLISUUSVIITTEET	136
LIITE A ASUNNON RADONPITOISUUDEN LASKENTA JA MALLINTAMINEN	139

Alkusanat

Tämän oppaan tarkoitus on antaa perustiedot korjausmenetelmistä, joilla asuntojen radonpitoisuutta voidaan alentaa. Tässä raportissa on hyödynnetty Suomessa yli 20 vuoden aikana tehtyä radonkorjaustutkimusta sekä myös kansainvälistä tietoutta.

Säteilyturvakeskuksen oman tutkimuksen rungon muodostavat korjauskohteisiin tehdyt kyselytutkimukset sekä lukuisat kohdetutkimukset. Kohdetutkimuksiin ovat myötävaikuttaneet lukuisat talonomistajat ja isännöitsijät sekä monet rakennusyritykset. Korjausten tehokkuuteen liittyvän kyselytutkimuksen aineiston keräämiseen ja käsittelyyn ovat osallistuneet tekn.yo Maija Härmä, fil.yo Timo Mikkola sekä insinööri Lauri Lammi.

Radonimurin osalta on hyödynnetty myös ympäristöministeriön vuonna 1996 julkaisemaa radonimuriopasta. Imuriopas syntyi Teknillisen korkeakoulun talonrakennustekniikan laboratorion ja Säteilyturvakeskuksen vuosina 1993–1995 tekemien imuritutkimusten pohjalta. Imuritutkimusta rahoittivat sekä ympäristöministeriö että sosiaali- ja terveysministeriö. Imuritutkimukseen osallistivat TKK:lta apulaisprofessori Martti Viljanen ja tutkijat Ari-Veikko Kettunen ja Ritva Rissanen sekä ympäristöministeriöstä yli-insinööri Jaakko Huuhtanen. Kerrostalojen radonkorjausten osalta tutkimuksessa on hyödynnetty Säteilyturvakeskuksen Teknillisen korkeakoulun talonrakennustekniikan laboratoriolta tilaamia tutkimuksia, joita rahoitti myös sosiaali- ja terveysministeriö. Radonkaivotutkimuksia on suorittanut myös FM Kaj Winqvist Ramboll Finlandista.

Ilmanvaihtoon liittyvissä ohjeissa on hyödynnetty Teknillisen korkeakoulun LVI-laboratorion tutkimuksia, joihin ovat osallistuneet tekn.tri Jarek Kurnitski, tekn.tri Miimu Airaksinen ja DI Kai Jokiranta. Tampereella tutkimuksiin ovat myötävaikuttaneet erityisesti Tampereen kaupungin terveystieteiden insinööri Tuula Sillanpää ja insinööritoimisto Sahi Ky.

Tekijät kiittävät tutkimuksiin osallistuneita ja kaikkia oppaan valmistamiseen myötävaikuttaneita henkilöitä ja tahoja. Sosiaali- ja terveysministeriö on tukenut oppaan valmistelua ja jakelua terveydensuojeluviranomaisille.

Tämä raportti on uudistettu versio samannimisestä vuoden 2008 STUK-A229-oppaasta.

Tähän oppaaseen on lisätty esimerkkitapauksia radonimurista. Esimerkkitapauksista osa on toteutettu hyödyntämällä olemassa olevaa salaojajärjestelmää. Samalla on ensimmäiseen painokseen tehty monia täsmennyksiä, tarkistuksia, päivityksiä ja lisäyksiä.

1 Johdanto

Asuntojen korkeat radonpitoisuudet ovat merkittävä terveysongelma Suomessa. Laajat kansainväliset tutkimukset osoittavat sisäilman radonin kasvattavan sekä tupakoivien että tupakoimattomien henkilöiden keuhkosityöpariskiä. Tässä oppaassa tarkastellaan Suomessa käytettyjä radonkorjausmenetelmiä ja annetaan käytännön neuvoja korjausten toteuttamiseksi. Tuloksia on pyritty tarkastelemaan siten, että niistä on hyötyä sekä omatoimisille korjaajille että korjausyrittäjille ja kuntien viranomaisille. Opas perustuu Säteilyturvakeskuksen keräämiin tietoihin Suomessa toteutetuista radonkorjauksista sekä korkeakoulujen, muiden viranomaisten ja alalla toimivien yritysten 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 (Bq/m^3). Uusia asuntoja rakennettaessa radonpitoisuuden enimmäisarvo on $200 \text{ Bq}/\text{m}^3$.

Enimmäisarvon $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ylittää koko maassa noin 3 % asunnoista, yhteensä noin 50 000 asuntoa (Mäkeläinen 2009). Näistä suurin osa on pientaloasuntoja ja noin kymmenesosa kerrostaloasuntoja. Pientaloista ylittää enimmäisarvon koko maassa keskimäärin 3,8 %. Alueelliset erot ovat merkittäviä. Etelä-Suomen läänissä laajoilla alueilla yli 10 % asunnoista ylittää enimmäisarvon. Alhaisimman radonpitoisuuden maakunnissa näitä asuntoja on 0,2–3 %.

1.1 Mitä radon on?

Radon on hajuton, mauton ja näkymätön radioaktiivinen jalokaasu. Radonpitoisuus selviää vain mittaamalla. Radonia (^{222}Rn) syntyy maankuoressa ja kaikessa kiviaineksessa jatkuvasti uraanin ^{238}U hajoamisen välituotteena. Se hajoaa poloniumiksi ^{218}Po sekä edelleen muutaman välivaiheen jälkeen vakaaksi lyijyksi ^{206}Pb . Kaasumaisena aineena radon pääsee helposti liikkumaan maaperässä ja edelleen siirtymään ilmakehään, veteen tai rakennuksiin.

Ilman radonpitoisuutta mitataan sen lähettämän säteilyn avulla. Siksi pitoisuus ilmaistaan becquereleinä, joka on aktiivisuuden yksikkö. Radioaktiivisen aineen aktiivisuus ilmaisee, kuinka monta hajoamista kyseisessä aineäärässä tapahtuu yhden sekunnin aikana. Yksi becquerel (Bq) tarkoittaa, että radioaktiivisessa aineessa tapahtuu keskimäärin yksi hajoaminen sekunnissa. Aktiivisuus ilmaistaan usein aktiivisuutena paino- tai tilavuusyksikköä kohti eli aktiivisuuspitoisuutena. Termin radonin aktiivisuuspitoisuus sijaan käytetään

usein lyhyempää termiä radonpitoisuus. Esimerkiksi ilman radonpitoisuus 400 Bq/m³ tarkoittaa sitä, että kuutiometrissä tätä ilmaa tapahtuu 400 radoniatomin hajoamista sekunnissa.

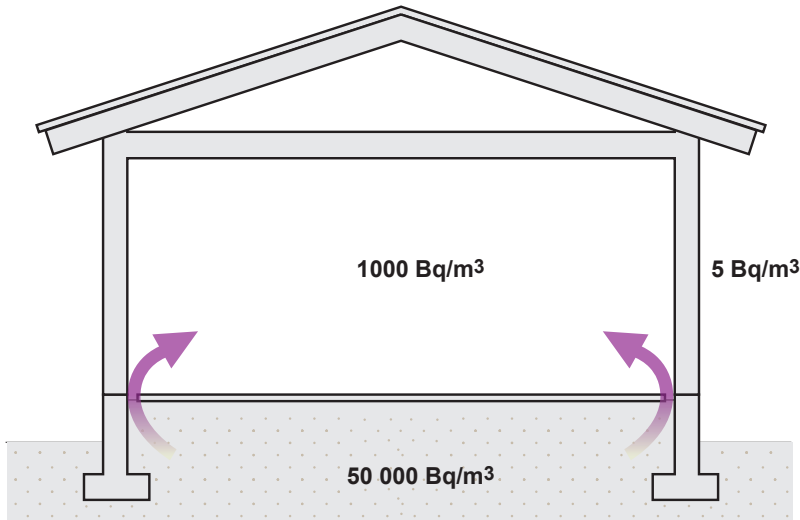
Radon ja radonin lyhytikäiset hajoamistuotteet (²¹⁸Po, ²¹⁴Po) lähettävät alfasäteilyä. Alfasäteily on hiukkassäteilyä, jossa atomin ytimeistä lähtee suurella nopeudella alfahiukkanen eli heliumatomin ydin. Alfahiukkanen ei pysty läpäisemään ihmisen ihoa tai paperiarkkia. Alfasäteily voi olla vaarallista vain, jos alfasäteilyä lähettäviä radioaktiivisia aineita joutuu elimistöön, esimerkiksi hengitysilman mukana.

1.2 Miten radon tulee asuntoon

Merkittävin radonlähde pientaloissa on maaperän radonpitoinen huokosilma. Kaikki maa-aines sisältää tyypillisesti 30 % tyhjää tilaa, jossa olevaa ilmaa kutsutaan huokosilmaksi. Maaperän mineraalien sisältämä uraani ylläpitää huokosilmassa jatkuvasti korkeata radonpitoisuutta, joka on tavallisesti 20 000 – 100 000 Bq/m³.

Maaperästä virtaa radonpitoista huokosilmaa pientaloihin tyypillisesti 0,2–2 m³ tunnissa (Arvela 1995a). Suomen ilmastossa talon ulkopuolella on normaalisti kylmempää ilmaa kuin sisätiloissa. Näiden ilmamassojen tiheys-ero aiheuttaa sen, että sisätiloissa vallitsee alipaine ulkoilmaan nähden. Tämä alipaine vallitsee erityisesti perustusten tasolla, jossa se pakottaa maaperän radonpitoinen ilman liikkeelle maaperästä asunnon sisätiloihin. Kun maaperän huokosilman radonpitoisuus on erittäin korkea, riittää pieni virtaus nostamaan sisäilman radonpitoisuuden satoihin becquereleihin kuutiometrissä (kuva 1.1).

Maaperästä sisätiloihin virtaavan ilman määrään vaikuttaa kaikkein merkittävimmin maaperän ilmanläpäisevyys (liite A). Karkeassa sorassa tai kalliomurskeessa ilmanläpäisevyys on yli tuhatkertainen verrattuna tiiviisiin maalajeihin kuten hieta ja savi. Ilmavirtaukseen vaikuttaa myös perustuksessa olevien rakojen suuruus. Lattialaatan ja seinän välissä oleva rako rajoittaa ilmavirtaa vain vähän. Jo yhden millimetrin suuruisesta raosta vuoto on merkittävää. Raon suureneminen ei enää oleellisesti lisää virtausta, vaan maaperän virtausvastus määrää vuodon suuruuden. Normaalisti betonilaatan kuivuessa syntyy joidenkin millimetrien levyinen rako. Myös läpäisevä täyttösorakerros lisää osaltaan vuotoilman virtausta. Siten tiiviillekin alkuperäismaalle rakennetun talon radonpitoisuus kasvaa kun laatan alle sijoitetaan kosteusteknisistä syistä karkea täyttösora- tai sepelikerros. Avainkysymys radonkorjausten onnistumisessa on maaperästä ilmavirtauksen mukana asuntoon kulkeutuvan radonmäärän pienentäminen.



Kuva 1.1. Maaperän huokosilma virtaa perustuksen rakojen kautta sisätiloihin ja kasvattaa sisäilman radonpitoisuutta.

Kuvat 1.2 ja 1.3 esittävät erilaisiin perustamistapoihin liittyviä vuotoreittejä. Merkittävin vuotoreitti on maanvaraisen lattialaatan ja sokkelin välillä oleva kutistumarako. Muita mahdollisia radonin vuotoreittejä ja lähteitä ovat

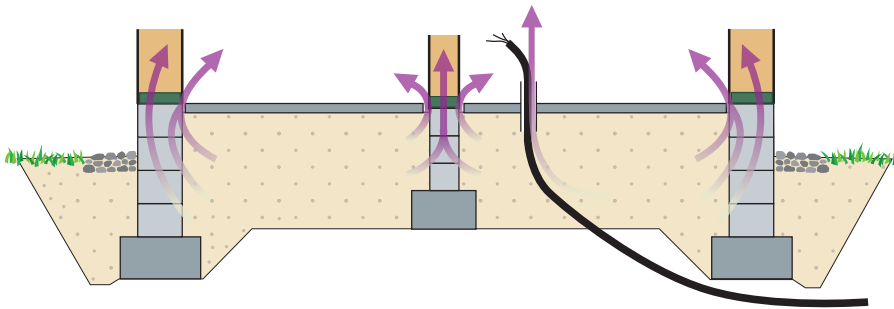
- alapohjalaatan ja kantavien väliseinien liitoskohdat
- harkkosokkelit ja maanvastaiset harkkoseinät
- kantavat väliseinärakenteet, jotka läpäisevät alapohjarakenteet
- lattialaatan halkeamat
- kellarin maalattia
- lattialaatan läpivientikohdat, pääsähköjohto ja vesijohto
- takan perustusten ja lattian saumat tai takkarakenteet
- radonpitoinen talousvesi, porakaivot
- kivi pohjaiset rakennusmateriaalit.

Paitsi pientaloissa, myös niissä kerrostalojen alimpien kerrosten asunnoissa, joissa lattialaatta on maanvarainen, maaperän huokosilmavuodot kasvattavat sisäilman radonpitoisuutta merkittävästi. Näissä asunnoissa radonpitoisuudet ovat keskimäärin korkeampia kuin pientaloissa. Kerrostaloissa alapohjan radonvuotoa kasvattaa asuntojen tiivyydestä ja koneellisesta poistoilmanvaihdesta aiheutuva alipaine. Korkean rakennuksen aiheuttama suuri painovoimainen alipaine voi myös kasvattaa vuotovirtauksia.

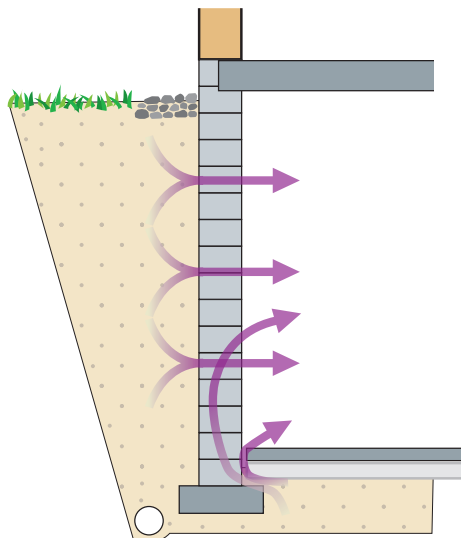
Pien- tai kerrostaloasunnoissa, joiden seinät on tehty betonielementeistä, rakennusmateriaaleista erittyvä radon aiheuttaa tyypillisesti sisäilman radonpitoisuuden 10–100 Bq/m³. Pientalossa, jossa vain lattialaatta on betonista,

lattialaatan vaikutus sisäilman pitoisuuteen on alle 20 Bq/m^3 . 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. Porakaivoveden radonpitoisuus on myös aina syytä mitata.



Kuva 1.2. Radonpitoisen ilman vuotoreittejä maanvaraisen laatan perustuksessa.



Kuva 1.3. Radonin vuotoreittejä, kellarillisessa rakennuksessa tai rintetalon alimmassa kerroksessa.

1.3 Määräykset ja ohjeet

Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen (944/92) mukaan asunnon huoneilman radonpitoisuus ei saisi ylittää arvoa 400 Bq/m³. Uusi asunto pitää suunnitella ja rakentaa siten, että radonpitoisuus ei ylitä arvoa 200 Bq/m³. Radonpitoisuudella tarkoitetaan päätöksessä radonpitoisuuden vuosikeskiarvoa.

Radonpitoisuuden määrittämisestä on annettu ohjeita Asumisterveysohjeessa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003) sekä Asumisterveysoppaassa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009). Radonmittaus, jolla radonpitoisuutta arvioidaan, tulee tehdä Säteilyturvakeskuksen hyväksymää mittausten menetelmää käyttäen. Mittausmenetelmän tulee olla sellainen, että se laskee radonpitoisuudelle yhtäjaksoisesti mitaten keskiarvon mittausjakson aikana. Mittausajan tulee olla vähintään kaksi kuukautta. Kesäaikana tehty mittaus voi antaa poikkeavan alhaisia arvoja lämpimien sääjaksojen ja ikkunatuuletuksen vuoksi. Talvella huoneilman radonpitoisuus voi olla monikertainen kesällä mitattuihin pitoisuuksiin verrattuna. Tämän vuoksi sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen mukaisesti hyväksyttävä radonmittaus tulee tehdä marraskuun 1. ja huhtikuun 30. päivän välisenä aikana.

Asumisterveysohjeen mukaisesti asunnon huoneilman radonpitoisuudesta saadaan riittävän tarkka arvio käyttämällä kahta mittaria. Pienissä asunnoissa voidaan käyttää myös yhtä mittaria. Mittari sijoitetaan asunnon alimpaan asuttuun kerrokseen. Kahta mittaria käytettäessä toinen mittari sijoitetaan kaksikerroksisessa asunnossa yläkerrokseen. Kahta tai useampaa mittaria käytettäessä lasketaan asunnon huoneilman radonpitoisuus eri mittareiden osoittamista pitoisuuksista keskiarvona, keskimääräisellä oleskeluajalla painotettuna. Suurin osa mittauksista Suomessa on tehty yhtä mittaria käyttäen. Yhdellä mittarilla saadaankin normaalisti jo hyvä arvio asunnon huoneilman radonpitoisuudesta.

Radonpitoisuuden vuosikeskiarvon tulkinnasta on annettu selkeä ohje sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeessa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003). Jos marras-huhtikuussa tehty mittaus osoittaa asunnon huoneilman radonpitoisuuden ylittävän 200 Bq/m³ tai 400 Bq/m³ enemmän kuin 20 %:lla, radonpitoisuus ylittää sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen (994/92) mukaisen vuosikeskiarvon.

Käytännössä useimmat korjauspäätökset tehdään mittauskautena tehdyn radonmittauksen perusteella. Talonomistajat valitsevat näin jonkin verran ankaramman perusteen kuin sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen ja Asumisterveysohjeen mahdollistama tulkinta.

Säteilysuojelun peruseriaatteisiin kuuluu säteilyaltistuksen pienentäminen aina silloin, kun se on tarkoituksenmukaista ja käytännöllisin keinoin toteutettavissa. Tämän periaatteen mukaisesti Säteilyturvakeskus on kehottanut

harkitsemaan myös jo 200 Bq/m³ ylittävän pitoisuuden pienentämistä. Esim. ilmanvaihdon oikean käytön tarkistaminen ja selvien ja helppojen vuotokohtien tiivistämien ovat yksinkertaisia toimenpiteitä, jotka kannattaa suorittaa.

Työpaikkoja koskevat määräykset ja ohjeet on esitelty luvussa 11. Uudisrakentamiseen liittyviä määräyksiä ja ohjeita on tarkasteltu luvussa 14.

1.4 Ilmanvaihdon merkitys

Ilmanvaihto pienentää radonin ja kaikkien muiden epäpuhtauksien pitoisuutta sisäilmassa. Ihmisen aineenvaihdunta tuottaa sisäilmaan esim. hiilidioksidia. Ilmanvaihdon tarvetta, tarkastamista, mittauksia sekä parantamista on tarkasteltu lyhyesti STM:n julkaisemassa Asumisterveysoppaassa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009).

Sisäilma ei ole terveydensuojelulain vaatimukset täyttävä, jos hiilidioksidipitoisuus on yli 2 700 mg/m³ (1 500 ppm). Ulkoilmavirran tulisi olla yleensä noin 4 l/s henkilöä kohden, jotta hiilidioksidipitoisuus olisi alle ohjearvon. Koska asunnoissa on myös muita epäpuhtauksien lähteitä, tarvitaan ulkoilmaa käytännössä enemmän, 8–10 l/s henkilöä kohden. Ilmanvaihdon tarvetta määrättäessä on otettava huomioon myös liiallisen ilmanvaihdon aiheuttamat haitat: esim. vetoisuus ja sisäilman liiallinen kuivuminen kun lämpötila on alle –5 °C.

Asunnon ilmanvaihto on terveyden kannalta riittävä silloin, kun ilmanvaihtojärjestelmän aikaansaama ilmanvaihtuvuus on vähintään 0,5 m³/h asuinikätyössä olevaa rakennuskuutiometriä kohti (ilmanvaihtokerroin on 0,5 1/h). Tämä merkitsee, että puolet asunnon ilmatilavuudesta vaihtuu yhdessä tunnissa. Jos asunnon ilmanvaihtokerroin on vain 0,1 1/h, vain kymmenesosa ilmasta vaihtuu tunnissa. Radonpitoisuus on tällöin viisinkertainen verrattuna tilanteeseen, jossa ilmanvaihtokerroin on 0,5 1/h. Edellä mainittu ulkoilmavirta 10 l/s henkilöä kohti merkitsee kolmen asukkaan taloudessa ilmanvaihtokerrointa 0,5 1/h, jos asunnon tilavuus on noin 220 m³.

Luvussa 8 on tarkasteltu ilmanvaihtoteknisiä menetelmiä radonpitoisuuden alentamiseksi.

1.5 Alipaineisuuden merkitys

Suomen ilmastossa talon ulkopuolella on normaalisti kylmempää ilmaa kuin sisätiloissa. Näiden ilmassojen tiheysero aiheuttaa sen että sisätiloissa vallitsee alipaine ulkoilmaan nähden. Tämä alipaine vallitsee erityisesti perustusten tasolla, jossa se pakottaa maaperän radonpitoisen ilman liikkeelle maaperästä asunnon sisätiloihin. Kun maaperän huokosilman radonpitoisuus on erittäin korkea, riittää pieni virtaus nostamaan sisäilman radonpitoisuuden satoihin

becquereleihin kuutiometrissä. Alipaineen kasvaessa maaperästä tuleva ilmavirtaus myös kasvaa. Alipaineella on siten ratkaiseva merkitys radonpitoisuuden kannalta, jos alapohjarakenteissa on vuotoreittejä maaperän ilmalle.

Lämpötilan lisäksi myös tuuli vaikuttaa asunnon ja maaperän välisiin painesuhteisiin. Lämpötilan, tuulen suunnan ja nopeuden vaihtelut näkyvätkin radonpitoisuudessa voimakkaana vaihteluna. Tämän vuoksi radonpitoisuus tulee mitata vähintään kahden kuukauden ajan keskiarvona.

Jos asunnossa on koneellinen ilmanvaihto, vaikuttaa alipaineisuuteen sekä edellä mainitut luonnolliset syyt että koneellisen ilmanvaihdon aiheuttamat ilmavirrat. Koneellista ilmanvaihtoa käytettäessä asunnon alipaineisuus on aina suurempi kuin painovoimaisen ilmanvaihdon talossa. Tämä johtuu siitä että ilmanvaihtolaite on Suomen Rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisesti säädettävä siten, että asunto jää alipaineiseksi. Ylipaine asunnossa voi johtaa rakenteiden kosteusvaurioihin. Koneellista poistoilmanvaihtoa käytettäessä alipaineisuus on huomattavasti suurempi kuin koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa käytettäessä. Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä tulo- ja poistoilmavirrat säädetään siten, että asunto jää vain lievästi alipaineiseksi.

Taulukko 1.1 esittää tyypillisiä alipainetasoja suomalaisissa asunnoissa. Teknillisen korkeakoulun LVI-laboratorio ja Säteilyturvakeskus tutkivat alipainetasoja Tuusulan asuntomessualueella vuonna 2002 (Airaksinen ym.). Taulukon 1.1 tulokset ovat tästä tutkimuksesta, joka antaa melko edustavan kuvan suomalaisesta rakentamisesta. Koneellinen poistojärjestelmä on radonpitoisuuden kannalta kaikkein ongelmallisin ratkaisu. Alipaine on korkeimmillaan kun talon rakenteet ovat tiiviit. Nykyvaatimusten mukaan koneellisen poiston rakennuksissa tulee olla myös korvausilmaventtiilejä. Alipainetta ei pystytä niillä kuitenkaan alentamaan kuin rajallisesti.

Taulukko 1.1. Eri ilmanvaihtojärjestelmillä varustettujen pientalojen tyypillisiä alipainetasoja. Alipainetasot on annettu yksikerroksiselle pientalolle kun ulkolämpötila on 0 °C. Asunnon korkeuden kasvaessa ja ulkolämpötilan alentuessa alipaineen painovoimainen osa kasvaa.

Ilmanvaihtomenetelmä	Asunnon tyypillinen alipainetaso Pa (pascalia)
Painovoimainen	1–2
Koneellinen tulo ja poisto	2–5
Koneellinen poisto	7–10

1.6 Radonkorjaustutkimus Suomessa

Ensimmäiset korjaustutkimukset Suomessa toteutettiin vuosina 1985–1986. Seitsemässä asunnossa radonpitoisuudet alenivat tasolta 1 200–27 800 Bq/m³ tasolle 80–380 Bq/m³ (Ympäristöministeriö 1986). Radonimuri oli useimmissa kohteissa tehokkain menetelmä. Tampereen teknillisessä korkeakoulussa tehtiin ensimmäinen laaja tutkimus ilmanvaihtoteknisten menetelmien käytöstä (Keskinen ym. 1989). Pispalanharjulla tutkittiin radonkaivon käyttöä Tampereen kaupungin, Insinööritoimisto Paavo Ristolán ja Säteilyturvakeskuksen yhteistyönä (Reisbacka ja Arvela 1991). Useat Teknillisen korkeakoulun talonrakennustekniikan laboratorion tutkimukset antavat perustietoa korjausrakentamisesta ja radontorjunnasta uudisrakentamisen yhteydessä (Viljanen ym. 1987, Kettunen ym. 1993).

Vuonna 1993 aloitettiin radonimuritutkimus TKK:n Talonrakennustekniikan laboratorion ja Säteilyturvakeskuksen yhteistyönä. Sekä ympäristöministeriö että sosiaali- ja terveysministeriö rahoittivat tutkimusta. Työn tuloksena julkaistiin radonimuriin keskittyvä korjausopas (Ympäristöministeriö 1996). Opas soveltuu suunnittelijoille, korjausyrityksille sekä myös omatoimisille korjaajille. Vuoden 1996 oppaan taustaraportissa on yksityiskohtaisia korjaustuloksia sekä virtauslaskennallisia esimerkkejä imurin toiminnasta (Kettunen ym. 1997). Kuopion yliopistossa on tutkittu alipaineen vaikutusta radonpitoisuuteen (Keski-kuru ym. 1993, Korhonen 2009).

Säteilyturvakeskuksen korjaustutkimuksen tavoitteena on ollut tiedon kerääminen radonkorjausmenetelmistä ja pitoisuuksien alenemisesta päätöksentekoa ja korjausoppaita varten. Ensimmäinen STUK-korjausohje julkaistiin vuonna 1992 (Säteilyturvakeskus 1992). Säteilyturvakeskus on seurannut Suomessa toteutettujen radonkorjausten tuloksia säännöllisesti. Vuosina 1992 ja 1995 lähetettiin yksityiskohtainen kysely 250 ja 350 taloudelle, jotka olivat ilmoittaneet radonkorjauksista radonmittauksen yhteydessä (Arvela ja Hoving 1993). Noin 450 asukasta palautti lomakkeen. Tulokset on esitetty Säteilyturvakeskuksen korjausoppaassa vuonna 1995 (Arvela 1995). Kysely uudistettiin vuosina 2000 ja 2001. Tällöin kohteena olivat vuosina 1995–2000 ilmoitetut korjaukset. Tässä raportissa on esitetty tämän aineiston tulokset.

Teknillisen korkeakoulun LVI-tekniikan laboratorio on tutkinut ilmanvaihdon, alipaineisuuden ja ulkoilmaventtiilien vaikutusta radonpitoisuuteen yhteistyössä TKK:n talonrakennustekniikan laboratorion ja STUKin kanssa (Kurnitski ym. 1999). Tuusulan asuntomessualueella LVI-laboratorio tutki eri ilmanvaihto-

järjestelmien toimivuutta ja niiden vaikutusta sisäilman radonpitoisuuteen (Airaksinen ym. 2002).

Säteilyturvakeskus on tutkinut radonkorjausten toteutumista lukuisissa erilliskohteissa. Korjausmenetelmänä kohteissa on käytetty radonkaivoa ja -imuria sekä myös rakenteiden tiivistämistä että ilmanvaihtoteknisiä toimenpiteitä. Tutkimusten tuloksia on hyödynnetty tässä raportissa.

Vuonna 2006 toteutettiin radonkorjaustutkimus Pispalanharjulla kahden insinööriopiskelijan opinnäytetyönä, yhteistyössä Tampereen ammattikorkeakoulun, Tampereen kaupungin ja Säteilyturvakeskuksen kanssa (Raatikainen ja Tuhola 2006). Pispalanharjun karkeat soramaat ja jyrkät rinteet kasvattavat asuntojen radonpitoisuuksia ja asettavat erityisvaatimuksia korjauksille.

Säteilyturvakeskus on osallistunut myös kolmeen laajan yhteiseurooppalaiseen tutkimukseen (ERRICCA, ERRICCA 2 ja RADPAR), jotka käsittelivät korjausrakentamisen ja uudisrakentamisen lisäksi radonin mittaamista, kartoittamista, rakennusmateriaaleja sekä kansallisia säädöksiä ja ohjeita. Suomalaiset kokemukset radonkorjausmenetelmien tehokkuudesta ovat pääosin yhtäpitäviä näiden tutkimustulosten kanssa.

2 Korjausmenetelmien tehokkuus ja valinta

2.1 Tutkimuskohteet

Vuosina 2000 ja 2001 toteutettiin kyselytutkimus, jossa radonkorjauksia tehneille talonomistajille lähetettiin lisäkysely. Kohteiksi valittiin ne talonomistajat, jotka vastasivat radonmittauksen kyselylomakkeessa tehneensä korjauksia radonpitoisuuden alentamiseksi vuosina 1995–2000. Kyselylomakkeessa tiedusteltiin suoritettuihin korjauksiin, perusrakenteisiin ja ilmanvaihtoon liittyviä yksityiskohtia. Yli 500 asukasta palautti kyselylomakkeen. Vastausten perusteella pystyttiin käytetty radonkorjausmenetelmä luokittelemaan 400 talossa. Tiedot tutkittujen kohteiden radonpitoisuudesta ennen korjausta ja korjauksen jälkeen on saatu Säteilyturvakeskuksen radonmittauspalvelusta.

Edellä kuvatun kyselytutkimuksen lisäksi korjausmenetelmien toteutumista ja tehokkuutta on arvioitu tässä oppaassa lukuisissa erilliskohteissa tehtyjen tutkimusten perusteella.

2.2 Radonmittaukset

Radonmittaukset suoritettiin Säteilyturvakeskuksen alfa-jälkimenetelmällä. 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.

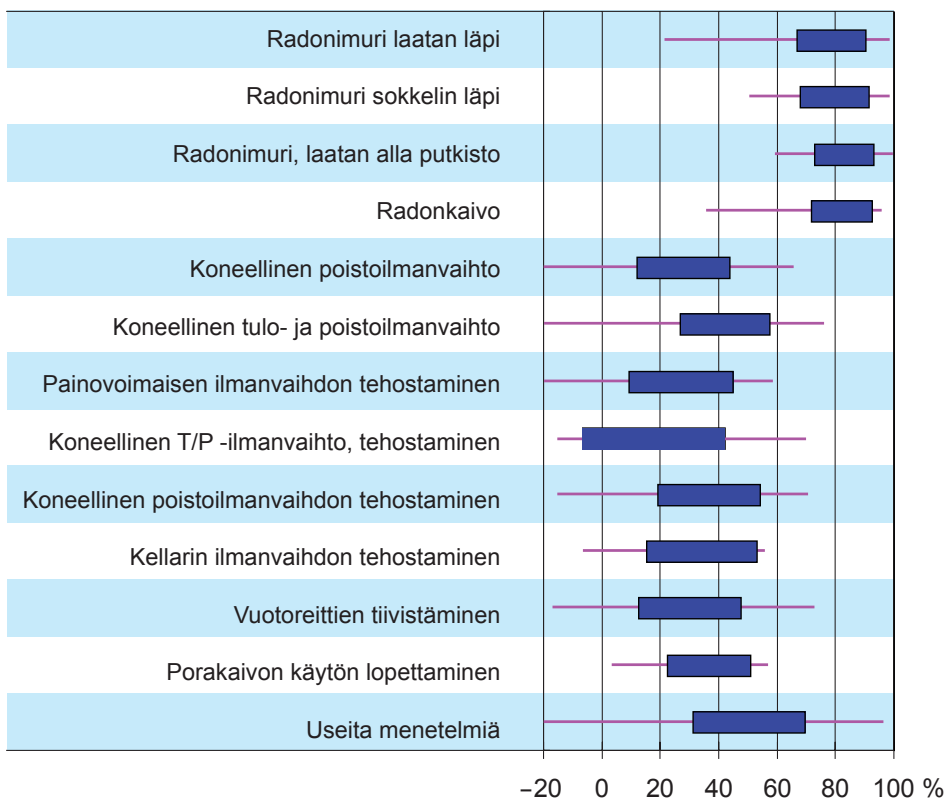
Osassa kohteita on suoritettu mittauksia myös jatkuvasti rekisteröivällä radonmittarilla. Tällainen laite tallentaa radonpitoisuuden laitteen muistiin esim. kerran tunnissa. Tällaisella mittauksella voidaan todeta onko radonpitoisuudessa tapahtunut selvä muutos. Pääsääntöisesti raportissa esitetyt radonpitoisuudet perustuvat ennen korjausta ja korjauksen jälkeen tehtyihin kahden kuukauden alfajälkimittauksiin.

2.3 Korjausmenetelmien tehokkuus

Tässä luvussa on esitetty lyhyt yhteenveto eri menetelmillä saavutetuista tuloksista. Korjausmenetelmien tehokkuutta on tarkasteltu vuosina 2000–2001 tehdyn radonkorjauskyselyn tulosten perusteella. Käytetyt korjausmenetelmät ja saavutetut tulokset on esitetty kuvassa 2.1 ja taulukossa 2.1. Seuraavissa

luvuissa on tarkasteltu erikseen kutakin korjausmenetelmää ja tulokseen vaikuttavia tekijöitä.

Kuvassa 2.1 on esitetty eri menetelmillä saavutetun radonpitoisuuden aleneman vaihtelualue sekä tyypilliset arvot. Tyypillisiä arvoja edustaa korjaus-
tehokkuudeltaan keskimmäinen osuus aineistosta (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. Radonkorjausten joukossa on useita osin keskeneräisiä sekä puutteellisesti suunniteltuja ja toteutettuja korjauksia. Hyvin suunnitellulla ja toteutetulla korjauksella on päästy taulukon 2.1 osoittamia keskimääräisiä alenemia parempiin tuloksiin.



Kuva 2.1. Tyypillinen eri menetelmillä saavutettu radonpitoisuuden prosentuaalinen alenema (paksunnettu viiva, rajoina 25 % ja 75 % aineistosta) sekä vaihtelualue (ohut viiva). Negatiiviset arvot kertovat radonpitoisuuden luonnollisesta vaihtelusta kahdessa eri mittauksessa, kun alenema on alhainen.

Taulukko 2.1. Eri korjausmenetelmillä saavutettu tyypillinen ja keskimääräinen radonpitoisuuden alenemaprocentti, radonpitoisuuden keskiarvo kohteissa korjausta ennen ja korjauksen jälkeen sekä pitoisuusaleneman keskiarvo.

Menetelmä Korjausten lukumäärä	Radonpitoisuuden tyypillinen alenema ja (ka) %	Ennen Bq/m ³	Jälkeen Bq/m ³	Alenema Bq/m ³
Radonimuri laatan läpi, 118	70–90 (75)	1310	280	1030
Radonimuri sokkelin läpi, 35	70–90 (80)	1430	220	1210
Radonimuri, putkisto, 22	75–95 (85)	2000	120	1880
Radonkaivo, 15	75–95 (80)	3190	690	2500
Uusi poisto-ilmanvaihto, 16	10–40 (25)	490	360	130
Uusi tulo/poisto-ilmanvaihto, 28	20–50 (40)	960	670	290
Ilmanvaihdon tehostus, painovoimainen, 17	10–40 (20)	530	370	160
Ilmanvaihdon tehostus, kon. poistoiv., 15	0–40 (20)	480	300	180
Ilmanvaihdon tehostus, kon. tulo- ja poistoiv., 8	20–50 (30)	350	210	140
Kellarin ilmanvaihto, 5	10–50 (30)	410	280	130
Ryömintätilan tuuletus, 2	30–80 (60)	740	270	470
Vuotojen tiivistäminen, 20	10–50 (30)	560	380	180
Porakaivon käytön lopettaminen, 6	20–50 (30)	350	230	120
Useita menetelmiä, 92	30–70 (50)	1000	420	580
KAIKKI 399	40–80 (60)	1150	350	800

Tutkituissa 400 asunnossa talvella mitatun radonpitoisuuden keskiarvo oli ennen korjausta $1\,150\text{ Bq/m}^3$ ja korjausten jälkeen noin 350 Bq/m^3 . Radonpitoisuuden keskimääräinen alenema oli siten 800 Bq/m^3 . Kun radonpitoisuuden vuosikeskiarvo on noin 20 % alhaisempi kuin talvella mitattu radonpitoisuus, on vastaava vuosikeskiarvon alenema noin 640 Bq/m^3 . Radonimuria ja -kaivoa on käytetty enemmän selkeästi korkeamman radonpitoisuuden asunnoissa kuin muita menetelmiä. Tämän vuoksi myös keskimääräiset alenemat ovat suuria, $1\,000\text{--}2\,500\text{ Bq/m}^3$. Korkein keskimääräinen alenema tässä aineistossa mitattiin radonkaivoille.

Radonimuri ja radonkaivo

Tehokkaimpia menetelmiä ovat olleet radonimuri ja radonkaivo. Radonimuri voidaan toteuttaa joko lattian tai sokkelin läpi. Imupisteeseen kytketyllä poistopuhaltimella imetään ilmaa lattialaatan alta (luku 4). Tyypilliset alenemat sekä imupistejärjestelmällä että radonkaivolla ovat olleet 70–90 %. Muilla menetelmillä tulokset ovat huonompia. Sokkelin läpi toteutettuja radonimureita on tehty paljon rivitaloihin, joissa lattialaatta on pienempi ja kuin omakotitaloissa. Radonimurin toimintaedellytykset ovat tällöin hyvät ja tulokset ovat keskimäärin parempia kuin omakotitaloissa. Taulukkoon 2.1 on otettu myös kohteita, joissa radonpitoisuus on saatu alenemaan kytkemällä uudisrakentamisen yhteydessä asennettuun radonputkistoon poistopuhallin. Imurin kytkeminen oikein asennettuun putkistoon alentaa radonpitoisuutta normaalisti erittäin tehokkaasti.

Radonkaivon avulla imetään ilmaa maaperästä 4–5 metrin syvyydeltä (luku 5). Kaivo rakennetaan korjattavan rakennuksen ulkopuolelle. Syntyvä virtaus ”tuulettaa” maaperää, jolloin siinä olevan huokosilman radonpitoisuus alenee.

Korkean radonpitoisuuden asunnoissa radonimurilla tai -kaivolla saatu pitoisuusalenema voi olla jopa 99 %. Radonpitoisuus saattaa laskea useista tuhansista Bq/m^3 alle 100 Bq/m^3 tasolle. Toisaalta radonpitoisuuden kasvaessa useisiin tuhansiin Bq/m^3 vaikeutuu myös enimmäisarvon 400 Bq/m^3 alittuminen. Imurin tai kaivon lisäksi voidaan tarvita tällöin muita tehostamistoimia.

Ilmanvaihtotekniset toimenpiteet

Asuintilojen ilmanvaihtoteknisillä korjauksilla alennetaan radonpitoisuutta joko ilmanvaihtuvuutta lisäämällä tai asunnon alipaineisuutta vähentämällä tai molempia näitä hyväksi käyttäen (luku 8). Korjauksilla on saavutettu yli 50 % alenemia vain, mikäli asunnon ilmanvaihtuvuus on ollut ennen korjausta alhainen, tai jos koneellinen ilmanvaihto on aiheuttanut merkittävän alipaineisuuden asuntoon. Ilmanvaihdon tehostamisella on saavutettu tyypillisesti 10–40 % radonpitoisuuden alenemia. Monessa tapauksessa vaikutus on ollut niin vähäinen, että radonpitoisuudessa ei näy normaalista vaihtelusta erottuvaa muutosta.

Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen on toteutettu avaamalla olemassa olevia venttiileitä tai lisäämällä uusia ulkoilmaventtiileitä. Koneellisen poistoilmanvaihdon tehostaminen on toteutettu asentamalla uusia ulkoilmaventtiileitä, ryhtymällä käyttämään kokonaan pysähdyksissä ollutta puhallinta tai lisäämällä käyttöaikaa ja käyttötehoa. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon tehostamisessa keskeisiä toimenpiteitä ovat olleet siirtyminen jatkuvaan käyttöön ja käyttötehon kasvattaminen.

Parhaat tulokset ilmanvaihtoteknisillä menetelmillä on saavutettu asentamalla uusi koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä huonosti toimivan painovoimaisen ilmanvaihdon taloon. Radonpitoisuus on pienentynyt tavallisesti 20–50 % lähtötasosta. Kohteissa, joissa alenema on ollut suurin myös ilmanvaihdon taso on ollut lähtötilanteessa heikoin. Koneellisen poistoilmanvaihdon asentamisella on saavutettu selvästi heikompia tuloksia. Ilmanvaihdon tehostaminen on tavallisesti johtanut 10–40 % pitoisuusalenemiin. Ulkoilmaventtiilien asentaminen tiivisrakenteisiin pientaloasuntoihin on usein auttanut merkittävästi. Ulkoilmaventtiilien asennuksella ei kuitenkaan normaalisti saavuteta yli 50 % alenemia.

Uuden ilmanvaihtojärjestelmän asentamisella saavutettaviin tuloksiin vaikuttaa voimakkaasti ilmanvaihto- ja alipaineisuustilanne ennen radonkorjausta. Uuden ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen on kallis toimenpide. Tämän vuoksi on tilanne arvioitava huolellisesti ennen korjaustavan valintaa – varsinkin, jos ainoa peruste valinnalle on radonpitoisuuden alentaminen. Yleensä valintaan on päädytty tilanteessa, jossa samanaikaisesti halutaan uudistaa asunnon heikosti toimivaa ilmanvaihtoa. Radonimuri ja radonkaivo ovat ensisijaisia ja keskimäärin tehokkaampia ja halvempia korjausmenetelmiä.

Rakenteiden tiivistäminen

Rakenteiden tiivistämisellä pyritään vähentämään maaperän radonpitoisen ilman virtausta asuntoon. Tyypilliset pelkillä tiivistystöillä saavutetut radonpitoisuuden alenemat ovat 10–50 %. Tiivistäminen on tehokasta vain, jos vuotoreitit saadaan lähes täydellisesti tiivistettyä. Kevytsoraharkoista tehdyn sokkelin kautta radonpitoinen ilma voi päästä myös seinärakenteisiin. Tämän vuoksi lattialaatan ja seinän välisen raon tiivistäminen näissä tapauksissa ei tuota useinkaan haluttua tulosta. Parhaat tulokset rakenteiden tiivistämisellä on saavutettu, kun seinät on tehty betonielementtejä käyttäen. Kerrostaloissa tehdyillä tiivistämistöillä onkin saavutettu parempia tuloksia kuin pientaloissa.

Muut menetelmät

Ryömintätilan tuuletuksen tehostaminen soveltuu tuulettuvalla alapohjalla varustettuihin taloihin. Asunnon radonpitoisuus voi olla korkea ryömintätilan

puutteellisen tuuletuksen tai alapohjan ilmapuotojen johdosta. Sääolot vaikuttavat voimakkaasti ryömintätilan tuuletukseen. Jatkuvan hyvän ilmanvaihdon saavuttamiseksi tuuletus tulee järjestää koneellisesti.

Radonpitoisuus kellaritiloissa on huomattavasti korkeampi kuin ylemissä kerroksissa. Kellarin ilmanvaihdon korjauksella pyritään kellari erottamaan ilmanvaihdollisesti omaksi yksikökseen muusta asunnosta. Tällöin radonin siirtyminen kellarista asuintiloihin vähenee. Radonpitoisuutta kellarissa alennetaan ilmanvaihtoa tehostamalla. Mikäli kellari on pääasiallinen radonpitoisuuden lähde, voi radonpitoisuuden alenema olla jopa yli 80 %.

2.4 Korjausmenetelmän valinta

Eri korjausmenetelmien valintaa, toteutusta, etuja ja haittoja on käsitelty yksityiskohtaisesti luvuissa 4–11. Tähän on koottu lyhyt valintaohje.

Matalaperustainen talo, maanvarainen laatta

- radonimuri tai -kaivo ensisijainen
- tarvittaessa tehostamistoimia (ilmanvaihto, alipaine, tiivistäminen)
- ilmanvaihdon tehostamisella tai alipaineisuuden vähentämisellä on vain harvoissa tapauksissa saavutettu yksinään korkeita alenemia (yli 50 %)
- tiivistäminen yksinään on erittäin vaativa toimenpide, jos tavoitteena on yli 50 % alenema

Kellarillinen talo ja rinnetalot

- radonimuri tai -kaivo ensisijainen
- tarvittaessa tehostamistoimia (ilmanvaihto, alipaine, tiivistäminen)
- ilmanvaihdollisesti erillinen kellari antaa mahdollisuuden kellarin ilmanvaihtoon perustuvaan korjaukseen
- maanvastaisten seinien tiivistämistarve, harkkoseinät
- kellariin rajoittuvat varastotilat voivat olla merkittäviä vuotoireittejä

Yhtenäinen reunavahvistettu laatta

- tarkista läpiviennit
- halkeamat voivat lisätä vuotoja

Tuulettuva alapohja

- tuulettuvan tilan ilmanvaihdon varmistaminen ja parantaminen
- alapohjan tiivistäminen, läpiviennit
- rakennuksen alipainesuhteiden tarkistaminen

3 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:

- Rakennusmaan ja täyttömaiden läpäisevyys. Maa-aineksien karkeus vaikuttaa radonimurin ja -kaivon toimintaan.
- Radonin mahdolliset tuloreitit asuntoon (ks. luku 1.2 ja kuvat 1.2 ja 1.3); rakennuspiirustuksista selviää rakenteiden yksityiskohdat. Rakennuspiirustukset voivat kuitenkin poiketa lopullisesta toteutuksesta.
- Asunnon ilmanvaihto ja alipaineisuus.
- 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.
- Uudisrakentamisvaiheessa tehdyt radontorjuntatoimet vaikuttavat merkittävästi korjaustavan valintaan, katso luku 14. Tällaisia toimenpiteitä voivat olla bitumikermin asentaminen lattialaatan ja sokkelin väliin liitokseen ja/tai radonputkiston asentaminen laatan alle. Tällaisissa tapauksissa on syytä selvittää kuuluuko putkistoon liitettävän poistopuhaltimen asentaminen rakentajan vastuusiin.

Luvussa 12 on tarkasteltu lyhyesti joitakin asunnon tutkimisessa käytettäviä menetelmiä.

3.1 Radonmittaus

Radonkorjauspäätös tulee perustua asianmukaisesti tehtyyn radonmittaukseen. Radonpitoisuus voi kesäaikana olla huomattavan alhainen verrattuna lämmityskautena tehtävään mittaukseen. Sosiaali- ja terveysministeriön (STM) päätöksen mukainen virallinen radonmittaus tulee tehdä marras–huhtikuussa ja sen tulee kestää vähintään kaksi kuukautta. Säätila, tuulet ja ulkolämpötila sekä myös talon asukkaiden toiminta voivat aiheuttaa suurta vaihtelua radonpitoisuudessa. Tämän vuoksi radonpitoisuus tulee mitata vähintään kahden kuukauden keskiarvona. Lyhytaikaista mittausta ei normaalisti voi pitää korjauspäätöksen perusteena. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen mukaisesti vuosikeskiarvon voi arvioida talviajan mittauksesta, katso luku 1.3.

Harjuseuduilla säätilan aiheuttamat muutokset voivat olla poikkeavan voimakkaita. Harjun laella vuosikeskiarvo voi olla vain puolet talven korkeista lukemista. Alarinteillä voi esiintyä alueita, joilla pitoisuus on suurempi kesällä kuin talvella. Tällöin vuosikeskiarvo on suurempi kuin talvimittauksen tulos. Ainoa tapa varmistua tällaisista vaihteluista on suorittaa tarvittaessa useita mittauksia eri vuodenaikoina.

Korjauspäätöksen tulee perustua asuintiloissa tehtyyn radonmittaukseen. Kellari- ja varastotiloissa voi esiintyä huomattavankin korkeita radonpitoisuuksia vaikka radonpitoisuus asuintiloissa on kunnossa. Tällaisia tiloja, joissa oleskellaan vain lyhyesti, ei tarvitse lähteä korjaamaan.

3.2 Rakennusmaa ja perustus

Radonkorjauksen suunnitteluun vaikuttaa rakennusmaa ja rakennuksen perustus.

Rakenneteknisen selvityksen pääkohtia rakennusmaan ja perustuksen osalta ovat

- rakennuspohjan maaperä
- täyttömaiden laatu ja paksuus
- alapohjarakenteet, perustamistapa
- kantavien väliseinien sijainti
- kellaritalot ja rinnetalot, maanvastaisten seinien rakenne
- matalat maanvastaaiset rakenteet, porrastukset talon sisällä
- alapohjassa olevat lämpö-, vesi- ja sähköjohtojen läpiviennit
- rakenteiden kunto
- tiivistämistarve ja tiivistämismahdollisuudet.

3.3 Radonpitoisen ilman vuotoreitit

Radonpitoisen ilman vuotoreitit vaikuttavat korjaustavan valintaan. Vuotoreittien tunnistaminen vaikuttaa sekä korjaustavan valintaan että korjauksen toteutukseen. Vuotoreittien merkitystä ja mahdollista tiivistämistä on tarkasteltu luvussa 6 ”Rakenteiden tiivistäminen”.

Joskus korjattavassa asunnossa voi olla poikkeavan merkittäviä radonpitoisen ilman lähteitä, jotka lähes yksin ovat syynä asuintilojen korkeisiin pitoisuuksiin. Tällaisia on havaittu esim. seuraavissa tapauksissa:

- Merkittävä vuotava läpivienti asunnossa, jossa muut vuotoreitit ovat vähäisiä. Tällaisia on löytynyt esim. uusista rakennuksista, joissa on käytetty bitumikermiä laatan ja perusmuurin liitoksen tiivistämisessä.
- Tilat, joissa on maapohjainen lattia ja joista ilma siirtyy asuintiloihin.

- Tekninen tila, jossa rakenteiden ja läpivientien tiivistäminen on laiminlyöty, kun taas asuintiloissa on tehty tiivistämistöitä. Teknisen tilan vaikutus voi olla suuri, jos ilma pääsee sieltä siirtymään asuintiloihin, esimerkiksi ilmanvaihtokoteloinnin kautta.

3.4 Ilmanvaihdon tarkistaminen

Ilmanvaihdon tutkiminen on tarpeen, jos ilmanvaihdon epäillään toimivan puutteellisesti. Radon asettaa erityisvaatimuksia ilmanvaihdon tarkistamiselle, koska erityisesti koneellinen ilmanvaihto vaikuttaa asunnon alipainetasoon. Alipaineisuus taas kasvattaa maaperästä tulevan radonpitoisen ilman virtauksia. Alipaineen merkitystä on tarkasteltu luvussa 1.5.

Perustiedot ilmanvaihdon tarpeesta, tarkastamista, mittauksista sekä parantamista on esitetty lyhyesti Asumisterveysoppaassa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009). Ilmanvaihtoa on tarkasteltu tämän raportin luvussa 1.4.

Käytä ilmanvaihtoalan asiantuntijoita. Kun käytät yrityksen palveluita ilmanvaihdon tehokkuuden arvioinnissa, vaadi mittauspöytäkirja, josta ilmenee ilmanvaihtokoneen käyttötilanne (päällä/poissa), mitatut ilmavirrat ja käyttötehon asennot. Kerrostaloissa on tärkeätä mitata ilmavirrat myös normaalilla ilmanvaihdolla eikä vain tehostetutulla 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 on suurin kun asunto on tiivis. Erityisesti betonielementtirakenteisissa pientaloissa on syytä varmistua tuloilmakanavien riittävydestä. Uusien matalaenergia- ja passiivitalojen ilmanvaihdon säätöön on syytä kiinnittää erityishuomiota. Tiivis vaippa kasvattaa alipaineen kasvun mahdollisuutta. 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 korvaus- ja poistoilmaventtiilit 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 huonekohittaiset ulkoilmaventtiilit.

Koneellinen poistoilmanvaihto

- Koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetussa asunnossa on nykyisten määräysten mukaan poistoilmaventtiilit keittiössä ja pesutiloissa. Olohuoneessa ja makuuhuoneissa tulisi olla ulkoilmaventtiilit.
- Käyttöteho ja käyttöaika, tarkoitettu jatkuvasti käytettäväksi.
- Onko tuloilman saanti riittävää? Ulkoilmaventtiilit 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

- Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustetussa asunnossa on tuloilmaventtiilit oleskelu- ja makuuhuoneissa sekä poistoilmaventtiilit keittiössä ja pesutiloissa. Järjestelmä on varustettu lämpöä talteenottavalla keskusyksiköllä.
- Käyttöteho ja käyttöaika, tarkoitettu jatkuvasti käytettäväksi.
- Suodattimien säännöllinen puhdistus tai vaihto.
- Tulo- ja poistoilmavirtojen säätö, onko säätötyöstä mittauspöytäkirja? Ilmavirtojen suhde vaikuttaa alipaineisuuteen.

4 Radonimuri

4.1 Soveltuvuus

Radonimuria voidaan käyttää, jos lattialaatan alla on hiekkaa, soraa tai murskettä, jotka ovat hyvin ilmaa läpäiseviä maa- tai kallioaineiksia. Laatan alla tulee käyttää nykymääräysten mukaan vähintään 0,2 m paksua, kosteuden kapillaarisen nousun katkaisevaa kerrosta kuten sepeli- tai pesty singelikerros (Ympäristöministeriö 1998). Näin estetään kosteuden siirtyminen kapillaarisesti maaperästä rakenteisiin.

Radonimurin toimivuuteen vaikuttaa sekä rakennuspaikalle tuodut täyttömaat, laatan alla välittömästi oleva maa-aines sekä alkuperäinen rakennusmaa. Samat seikat ovat myös vaikuttamassa radonpitoisuuteen asunnossa.

Luvussa 4.16 on tarkasteltu ongelmatilannetta, jossa radonimuri toimii puutteellisesti. Jos lattialaatan alla on erittäin läpäisevää täyteainesta kuten karkeata sepeliä ja sepeliä on myös perusmuurien alla ja ulkopuolella, radonimuri ei pysty kehittämään alipainetta laatan alle kohtuullisilla ilmavirroilla.

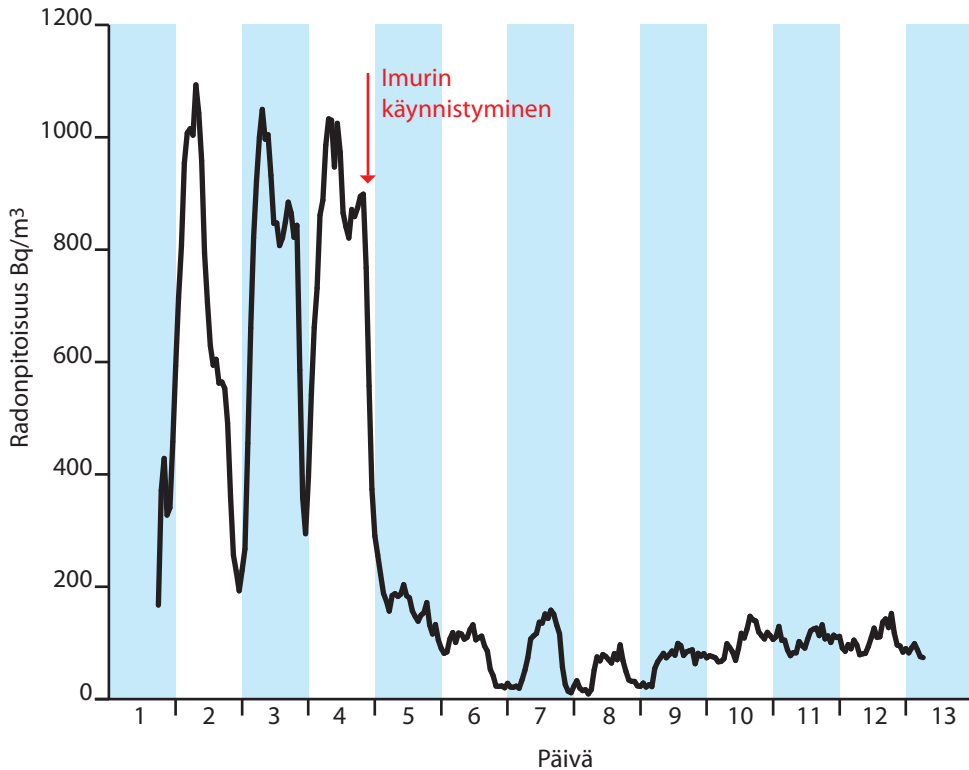
4.2 Radonimurin ohjeistus

Tässä luvussa on hyödynnetty paljon ympäristöministeriön julkaisemaa radonimuriopasta ”Pien- ja rivitalojen radontekninen korjaus, Imupistemenetelmä” (Ympäristöministeriö 1996). Opas antaa perustiedot radonimurin suunnittelusta ja antaa yksityiskohtaisia rakennusteknisiä neuvoja imurin toteutuksesta. Opas on laadittu erityisesti korjauksen suunnittelijoille ja korjausalan ammattilaisille mutta se soveltuu myös omatoimisille korjaajille. Siinä on esitetty myös kosteus- ja lämpötekniisten seikkojen vaikutus suunnitteluun. Tässä raportissa on pyritty esittämään vain tärkeimmät kohdat ympäristöministeriön oppaasta.

4.3 Toimintaperiaate

Radonimurilla saadaan aikaan alipaine lattialaatan alle. Alipaine vähentää ilman virtausta maaperästä asuntoon, pysäyttäen ilmavirtauksen onnistuneessa korjauksessa kokonaan. Alipaine saadaan aikaan puhaltimella, joka imee ilmaa yhdestä tai useammasta pisteestä lattialaatan alta. Radonimuri alentaa myös vuotoilmavirtauksen radonpitoisuutta. Imurin aiheuttama ilmavirta tuo maaperään radonvapaata ulkoilmaa, joka alentaa maaperän huokosilman radonpitoisuutta. Tämän vuoksi radonimuria kutsutaan joskus myös rakennuspohjan tuuletukseksi. Koska imu toteutetaan pistemäisesti eikä laatan alla olevan putkiston avulla (Uudisrakentaminen, luku 14), kutsutaan menetelmää myös imupistemenetelmäksi (Ympäristöministeriö 1996).

Koska radonimuri vähentää tehokkaasti radonpitoisen ilman virtausta maaperästä sisätiloihin, näkyy sen vaikutus radonpitoisuudessa nopeasti, kuva 4.1.



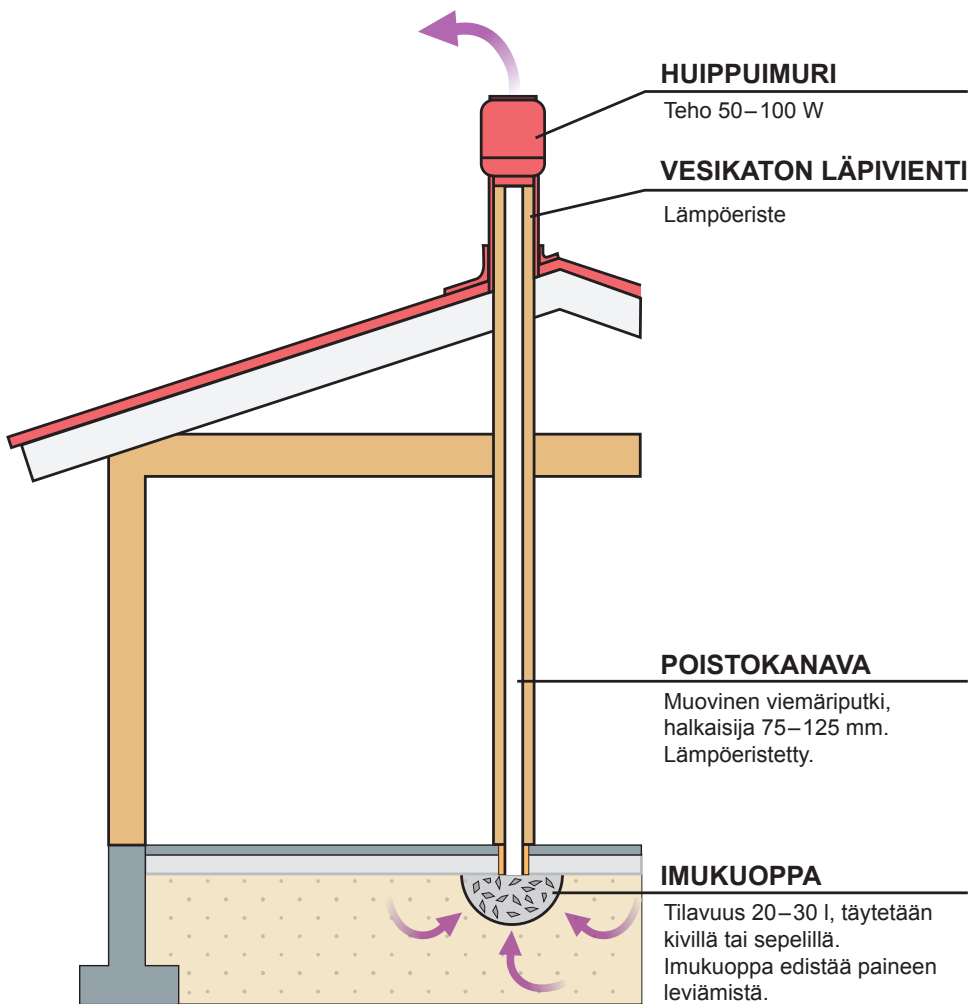
Kuva 4.1. Radonpitoisuuden aleneminen helsinkiläisessä paritaloasunnossa kun imuri kytkettiin toimimaan. Alkupäivien pitoisuusvaihtelu johtuu suuresta päivä-yöaikaisesta lämpötilavaihtelusta elokuussa.

Kuva 4.2 esittää radonimuria ja sen rakenneosia. Radonimuri toteutetaan imemällä ilmaa laatan alle tehdystä imukuopasta. Imukuoppa pienentää virtaukshäviöitä ja edesauttaa virtauksen leviämistä mahdollisimman laajalle alueelle. Imukuoppa voi olla matalatyypinen kuten kuvassa 4.2 tai syvämpi kuten kuvassa 4.5.

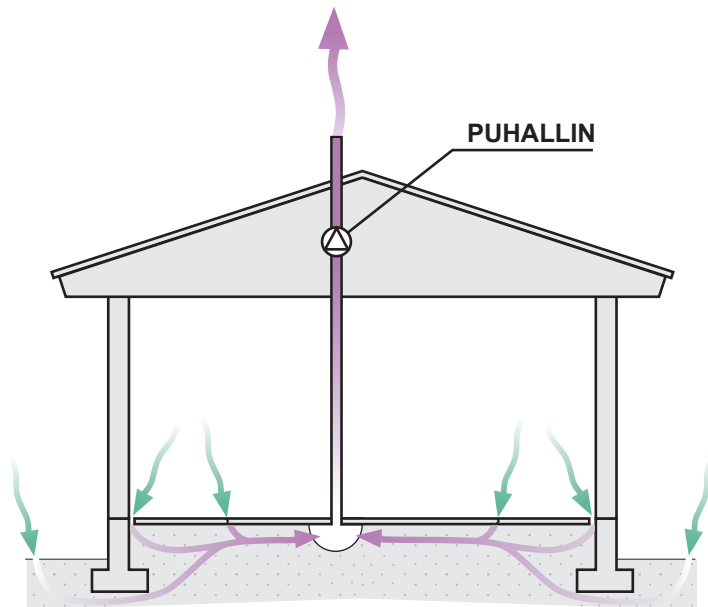
Kuva 4.3 esittää radonimurin toimintaperiaatetta matalaperustaisissa taloissa. Parhaimmillaan radonimuri kääntää alapohjan rakojen kautta tulevien vuotoilmavirtausten suunnan. Mikäli rakennuksessa on kantavia väliseiniä, jotka on rakennettu perusmuurin ja anturoiden varaan, ne voivat rajoittaa imurin vaikutuksen vain tiettyihin osiin perustusta. Kuva 4.4 esittää radonimuria

talossa, jonka perustus on monilohkoinen. Radonimurin vaikutus rajoittuu vain toiseen lohkoon.

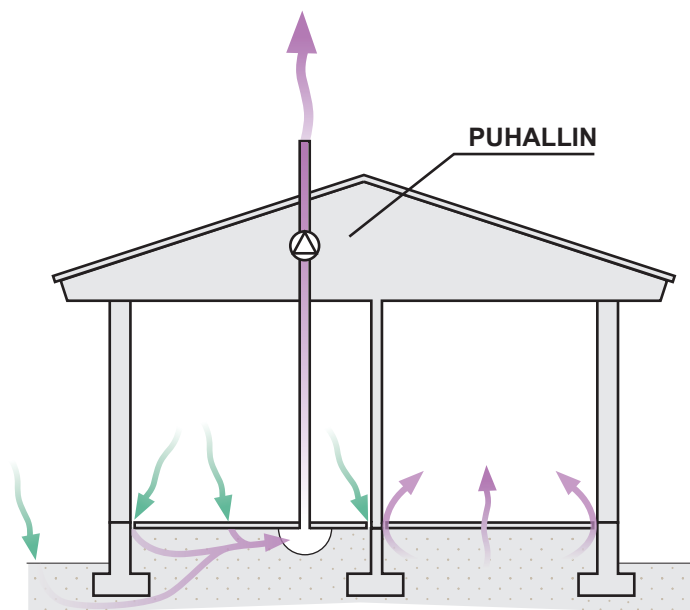
Kuva 4.5 esittää radonimuria kellarillisessa talossa. Tässä tapauksessa imuri on toteutettu ns. syvän imupisteen avulla. Syvä imupiste voidaan toteuttaa, jos maaperä on kyllin läpäisevää myös anturatasen alapuolella. Ratkaisun avulla imupisteen vaikutus leviää koko rakennuksen alalle kantavista väliseinistä huolimatta.



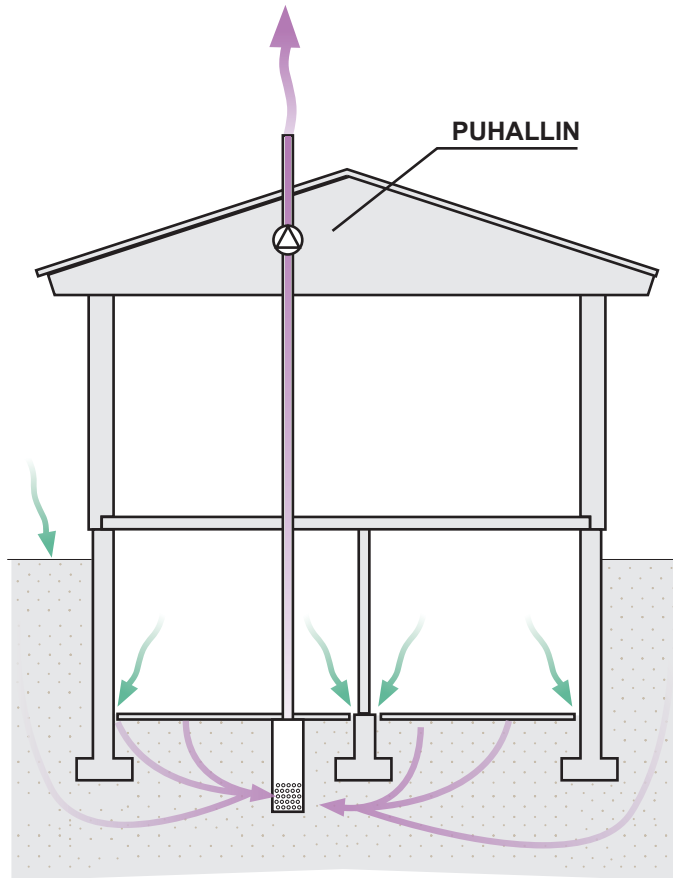
Kuva 4.2. Radonimurin toimintaperiaate ja rakenneosat.



Kuva 4.3. Radonimuri matalaperustaisessa talossa, jossa on yhtenäinen alapohja. Radonimurin vaikutus ulottuu parhaimmillaan koko laatan alueelle. Rakennuksen ulkopuolelta tuleva ilma alentaa maaperän ilman radonpitoisuutta.



Kuva 4.4. Radonimuri matalaperustaisessa talossa, jossa perustuksessa on useita lohkoja. Radonimurin vaikutus ulottuu vain siihen lohkoon, johon imupiste on asennettu. Korvausilmaa tulee vain rakennuksen toiselta puolelta.



Kuva 4.5. Radonimuri kellarillisessa talossa, jossa on monilohkoinen alapohja. Imuri on toteutettu ns. syvällä imupisteellä. Jos maaperä on läpäisevää myös anturatasen alapuolella, imupisteen vaikutus ulottuu koko rakennusalalle.

4.4 Radonimurin suunnittelu

Luvussa 3.2 esitettyjen perusselvitysten osalta on radonimurin suunnittelussa huomioitava erityisesti seuraavat seikat:

- Rakennuspohjan maalajit. Imupisteen tulee sijaita kyllin läpäisevässä maakerroksessa.
- Alapohjarakenteet ja kantavien väliseinien sijainti ja rakenne (luku 4.5). Suunnittelu on yksinkertaisinta, kun laatta on yhtenäinen ja suorakulmion muotoinen.
- Maanvaraisen lattiarakenteen tyyppi. Jos laatan päällä on koolattu puulattia, on huomioitava kosteusvaurioiden riski. Radonimurin toimiessa kostea sisäilma alkaa kulkeutua sisätiloista laatan alle. Ilman kohdatessa

- kylmät puiset lattiarakenteet ovat kosteusriskit mahdollisia. Tilannetta on arvioitava lämpö- ja kosteusteknistä asiantuntemusta avuksi käyttäen.
- Ulkoilmaan rajoittuvien rakenteiden läheisyydessä on myös arvioitava onko imurin vaikutuksesta syntyneellä virtausreitillä mahdollisuutta kosteuden tiivistymiseen.
 - Maanvastaisten rakenteiden tiivistämistarve ja -mahdollisuudet. Tiivistämistöillä voidaan tehostaa tarvittaessa imurin toimintaa. Radonimurilla on saavutettu hyviä tuloksia useimmiten kuitenkin ilman tiivistämistöitä tai vain vähäisillä tiivistämistöillä.
 - Alapohjassa olevien läpivientien tiivistäminen. Lähellä imupistettä oleva tiivistämätön läpivienti voi merkittävästi heikentää tulosta.
 - Käytännölliset mahdollisuudet sijoittaa imupiste.
 - Poistokanaviston ja poistopuhaltimen asennusmahdollisuudet.

4.5 Kantavien väliseinien vaikutus

Kantavat väliseinät vaikuttavat merkittävästi imupisteiden määrään ja sijoittamiseen. Tärkeitä seikkoja ovat:

- Betonilaatan yhtenäisyys kantavan väliseinän kohdalla vaikuttaa imupisteen sijainnin valintaan. Minimietäisyys seinän ja laatan väliseen rakoon on 0,5 m.
- Väliseinän (laatan alla oleva perusmuuri) ilmanläpäisevyys. Jos perusmuurin on hyvin ilmaa läpäisevää kevytsoraharkkoa, voi imupisteen vaikutus levitä myös perusmuurin toiselle puolelle.
- Kantavien väliseinien perustuksen korkeusasema tiiviiseen maaperään nähden. Jos väliseinien anturan ja tiiviin maan välillä on läpäisevämpää maata, voi imupisteen aiheuttama virtauskenttä levitä myös seinän toiselle puolelle. Jos väliseinien perustus on ylempänä kuin tiivis maa, voidaan hyödyntää syvää imupistettä laajemman vaikutusalueen saamiseksi (kuvat 4.4 ja 4.5).

4.6 Tiivistämistöiden tarve

Tiivistämistöiden tavoitteena on poistaa radonpitoisen ilman vuotoreittejä sekä radonimurin toiminnan tehostaminen. Tiivistämistöillä on mahdollista myös vähentää tarvittavien imupisteiden määrää. Tärkeimpiä tiivistämiskohteita ja työn toteutusta on tarkasteltu luvussa 6.

Tiivistystyöt ovat tarpeellisia mikäli vuotokohdat heikentävät imurin toimintaa. Useimmissa onnistuneissa imurikorjauksissa ei ole ollut tarpeen tehdä tiivistämistöitä.

Seuraaviin seikkoihin kannattaa kiinnittää huomiota:

- läpiviennit, luukut ja kanavat voivat toimia merkittävinä vuoreitteinä ja heikentää radonimurin toimintaa
- lattiarakenteissa olevat LVIS-järjestelmien tarkistusluukut
- luukut, joista on yhteys taloyhtiön lämpökanaviin
- kellarikuopat
- päävesi- ja sähköjohdon läpiviennit. Läpiviennit on yleisesti toteutettu läpimitaltaan suuremman putken avulla, joka toimii suorana yhteytenä maaperään. Jos läpivientinä on käytetty salaojaputkea, se voi koota radonpitoista ilmaa laajaltakin alueelta. Tällaiset merkittävät läpiviennit tulee aina tiivistää.

Joissakin harvinaisissa tapauksissa yhden tai muutaman läpiviennin tiivistämisellä on koko radonkorjaus jo suoritettukin, eikä imuria enää tarvitakaan. Esimerkki tällaisesta tilanteesta on esitetty tiivistämistöitä koskevassa luvussa 6.4.

Huoneet tai tilat, joissa on maalattia, toimivat merkittävinä vuoreitteinä ja voivat haitata imurin toimintaa. Valettaessa lattiaa tällaisiin tiloihin voidaan soveltaa uudisrakentamiselle annettuja radontorjunnan ohjeita (luku 14). Tällaiseen tilaan tehdyllä imujärjestelmällä voi olla radonpitoisuutta laskeva vaikutus myös laajemmalle alueelle. Joissain tapauksissa tällainen tila tarjoaa mahdollisuuden toimivan imupisteen asentamiselle. Tarvittaessa on valittava syvä imupiste.

Imupisteen läheisyydessä olevat saumat ja halkeamat on tiivistettävä aina 1,5–2 metriin saakka. Tiivistämättöminä ne heikentävät imurin toimintaa.

4.7 Poistokanaviston ja puhaltimen sijoituksen suunnittelu

Poistokanaviston toteutusta suunniteltaessa on huomioitava

- imupisteiden sijainti
- kanaviston läpivientimahdollisuudet
- puhaltimen sijoitusmahdollisuudet talon rakenteissa
- asumisviihtyvyys ja putkiston ulkonäkö
- mahdollisuus käyttää olemassa olevia putkistokotelointeja tai hormeja.

Poistokanaviston ja puhaltimen sijoituksessa noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Puhallin sijoitetaan aina asuintilojen ulkopuolelle, tällöin poistokanavan asuintilojen puoleinen osa on alipaineinen.

- Poistokanavan pää sijoitetaan kohtaan, jossa radonpitoinen ilma ei pääse takaisin huonetiloihin. Soveltuvin osin on syytä noudattaa Rakentamismääräyskokoelman osan D2 määräyksiä.
- Imuri ei saa aiheuttaa häiritsevää melua.

4.8 Imupisteiden sijainnin ja lukumäärän valinta

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.

Imupisteiden sijainnin valinnasta on yksityiskohtainen ohjeistus ympäristöministeriön oppaassa. Imupisteiden lukumäärää arvioitaessa noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Jokainen kantavien väliseinien (omat perustukset) jakama lohko tarvitsee oman imupisteen.
- Useimmiten kuitenkin näistä lohkoista yksi tai kaksi ovat asuintilojen radonpitoisuuden kannalta merkittävimpiä.
- Yksi imupiste on useimmiten riittävä pinta-alaltaan 120 m² tai pienemmälle yhtenäisen lohkolle.
- Yleensä imupistettä ei tarvitse sijoittaa asuintiloista ilmanvaihdollisesti erillään oleviin varastotiloihin.
- Käyttämällä syvää imupistettä voidaan imupisteiden määrää vähentää.

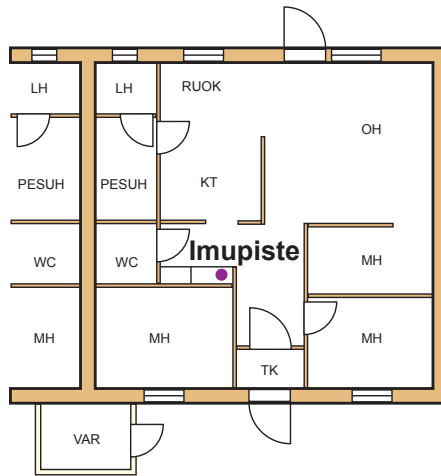
Kellarillisiin rakennuksiin suositellaan lisäksi imupisteen sijoittamista jokaiseen alapohjan virtaustekniseen lohkoon, jonka pinta-ala on yli 10 m², pinta-alaan lasketaan mukaan kellarin maanvastaisen seinän pinta-ala.

Jos kantavien väliseinien perustusrakenteet jakavat laatan useaan eri lohkoon 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. Kuvat 4.6 ja 4.7 esittävät esimerkkejä imupisteiden onnistuneesta valinnasta.

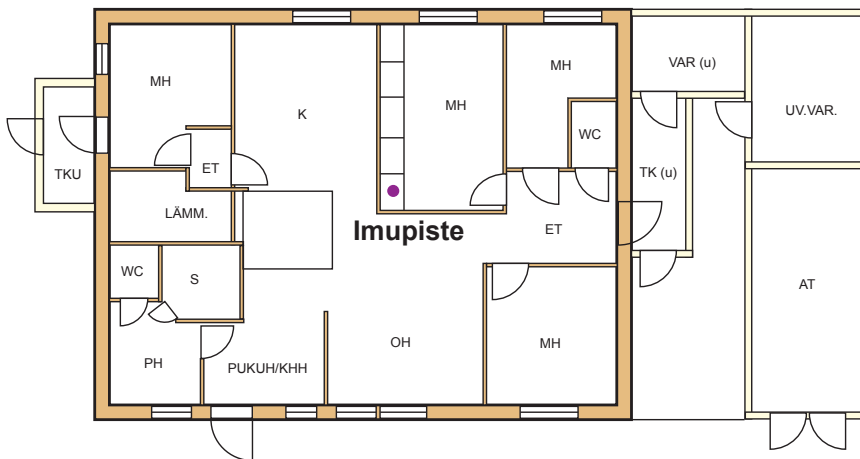
Syvä imupiste on suositeltava, jos

- rakennuspohja on monilohkoinen ja virtauksenjakokuoppa on mahdollista ulottaa läpäisevässä maassa perustusten alapuolelle. Maaperän perustuksen alapuolella virtauksenjakokuopan syvyydellä tulee olla kyllin läpäisevää, kuten soraa tai hiekkaa.

A



B



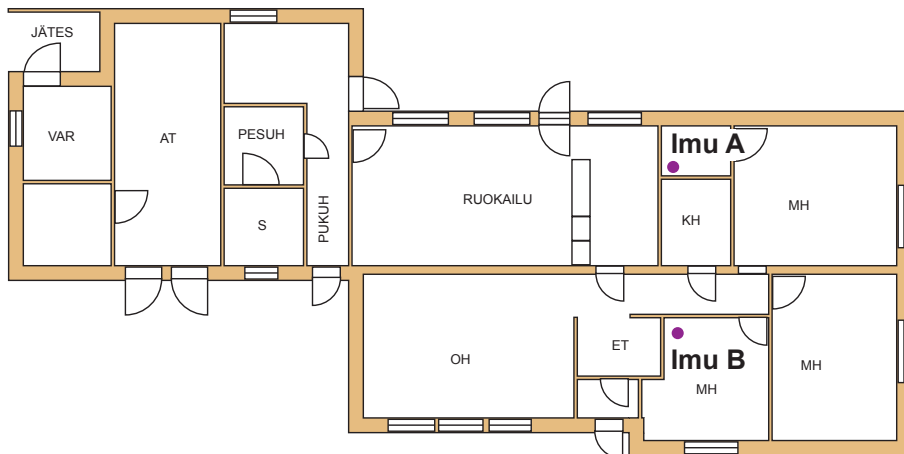
Kuva 4.6. Imupisteen sijainti yhtenäisellä suorakaiteen muotoisella laatatlla varustetussa rivitaloasunnossa (A) ja pientaloasunnossa (B).

Imupisteiden sijoituksessa noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Etäisyyden ulkoseinistä tulisi olla matalassa imupisteessä vähintään 1,5 m, syvälle imupisteelle 1,0 m.
- Etäisyys kantavista alapohjarakenteen läpäisevistä väliseinistä tai uunin perustuksista vähintään 0,5 m.
- Imupisteen paras paikka on kyseisen lattialohkon keskialueella.

Yksinkertaisimpia kohteita ovat yhtenäisellä suorakaiteen muotoisella laattalla varustetut rivi- ja pientalot (kuva 4.6), joissa imurin vaikutus pääsee esteettä leviämään laatan reuna-alueille saakka. Tällaisessa tapauksessa yhdellä imupisteellä on useimmiten saavutettavissa hyvä tulos 120 m²:n tai pienemmällä laattalla.

Rivitaloissa huoneistojen imupisteiden määrä mitoitetaan yllä olevien ohjeiden mukaisesti. Eri huoneistojen putkistot voidaan yhdistää yhteiseen imuriin ja kanavistoon Suomen rakennusmääräyskokoelman osa E7, ilmanvaihtolaitosten paloturvallisuus ohjeiden mukaisesti.



Kuva 4.7. Imupisteiden sijainti pientalossa, jossa kantava väliseinä jakaa pohjalaatan kahteen erilliseen lohkokoon.

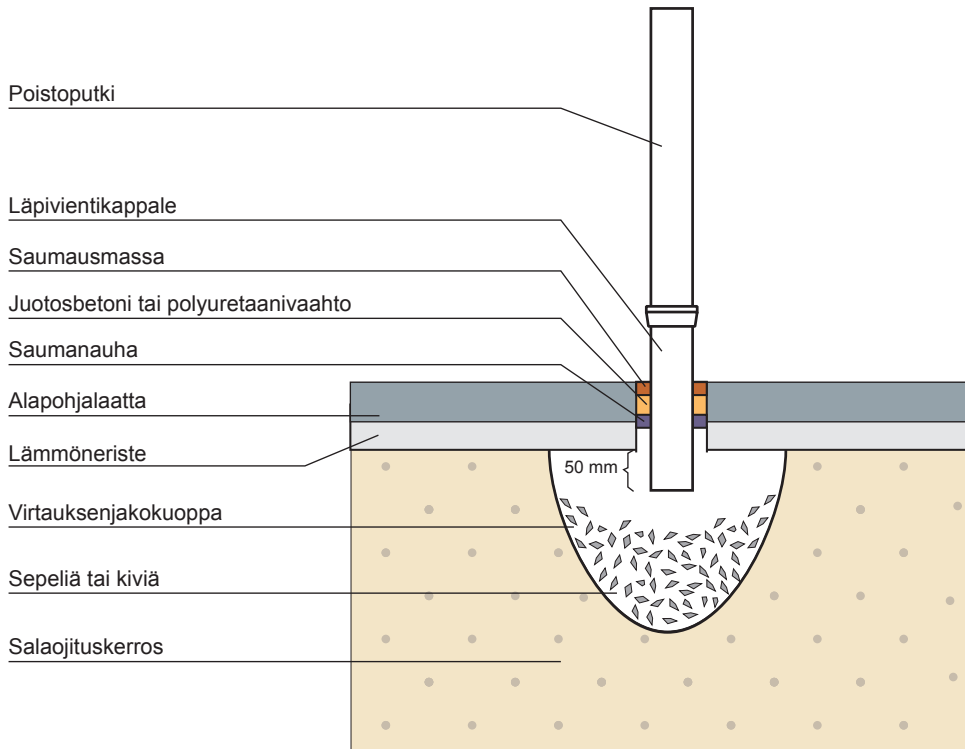
4.9 Imupiste ja läpivienti

Imukuoppa on tärkeä, koska se edistää alipaineen leviämistä laatan reuna-alueille saakka. Kuva 4.8 esittää imukuoppaa ja läpiviennin toteutusta. Maata poistetaan imukuopasta 20–30 litraa. Läpivientä varten tehdään alapohjalaattaan reikä.

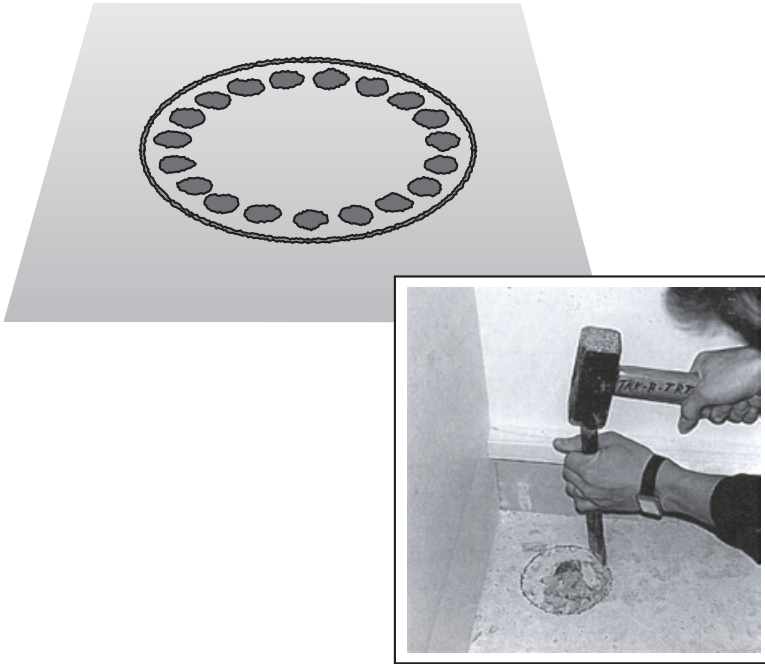
Lattiapinnoitetta poistetaan niin paljon, että läpiviennin ja laatan liitos on myöhemmin tiivistettävissä. Jos rakennuspohjasta löytyy suuria kiviä, on aukkoa tarvittaessa suurennettava kivien poistamiseksi. Läpiviennille tehty aukko ja siihen asennettu läpivienti on tällöin jälkivalettava ja tiivistettävä.

Läpivientikappale tehdään PVC-viemäriputkesta, jonka halkaisija on 75–125 mm. Metallinen läpivienti voi ruostua. Läpivientireikä tehdään 25–35 mm suuremmaksi kuin läpivientikappaleen halkaisija.

Reikä voidaan tehdä lattiapinnoitteen poistamisen jälkeen poraamalla betoniin pieniä reikiä sopivan kokoisen ympyrän kehälle ja sisälle. Työhön soveltuu tehokas iskuporakone ja esim. 8 mm kiviporanteri. Poraamisen jälkeen aukko tehdään kivitaltalla hakkaamalla, kuva 4.9. Betoniraudat voidaan katkaista rautasahalla. Reiän voi tehdä myös vuokraamosta saatavalla timanttiporalla. Kaluston vuokraaminen tai palvelun ostaminen tuo huomattavia lisäkuluja. Läpivienti kiinnitetään reikään esim. juotosbetonilla tai polyuretaanivaahdolla. Sauma on lopuksi tiivistettävä sopivalla elastisella massalla esim. polyuretaani-saumaaineella.



Kuva 4.8. Radonimurin imukuopan ja läpiviennin rakenne.



Kuva 4.9. Reikä läpiviennille voidaan toteuttaa poraamalla lattiaan reikiä ja piikkaamalla reikä auki. (Kaksi alinta kuvaa HT-Talo-Pojat Oy.)

Virtauksenjakokuoppa voidaan kaivaa käsin tai pientä kauhaa käyttäen tai imemällä soraa teollisuuspölynimurilla. Kuopan tilavuus voidaan arvioida poistetun soran määrän avulla. Kuoppaan laitetaan karkeata sepeliä tai kiviä kuopan seinämien sortumisen estämiseksi. Sepeliä ei tule laittaa läpivientikappaleen alareunaan saakka, jotta virtaus pääsee esteettä leviämään kuopan koko alalle, kuva 4.8.

Syvä imupiste voidaan toteuttaa työntämällä maaperään halkaisijaltaan 10–30 cm viemäriputki, kuva 4.5. Putken alaosa on syytä reiittää 10 mm poralla puolen metrin matkalta. Putkea voidaan työntää maaperään poistamalla putken alta maata joko kaivamalla tai teollisuuspölynimurilla. Putken pohjalle on syytä jättää karkealla sepelillä täytetty kuoppa. Ympäristöministeriön radonimurioppaassa on neuvottu vaihtoehtoinen menettely syvän imupisteen toteuttamiseksi. Alaosaltaan siiviläverkolla varustettu putki asennetaan apuputken ja teollisuuspölyimurin avulla imukuoppaan.

4.10 Poistokanavisto

Poistokanavisto on suositeltavaa rakentaa muovisesta viemäriputkesta, jonka halkaisija on vähintään 75 mm. Mahdollisten kondenssivesien hallinta on vaikeampaa, jos käytetään kierresaumattua ilmastointiputkea. Erityistilanteissa on mahdollista käyttää pienempääkin putkistoa tai putkiston osaa, jos virtausteknisin laskuin varmistutaan siitä, että putkistossa ei synny liiallista painehäviötä. Usein kanavisto on toteutettu 110 mm putkistoa käyttäen.

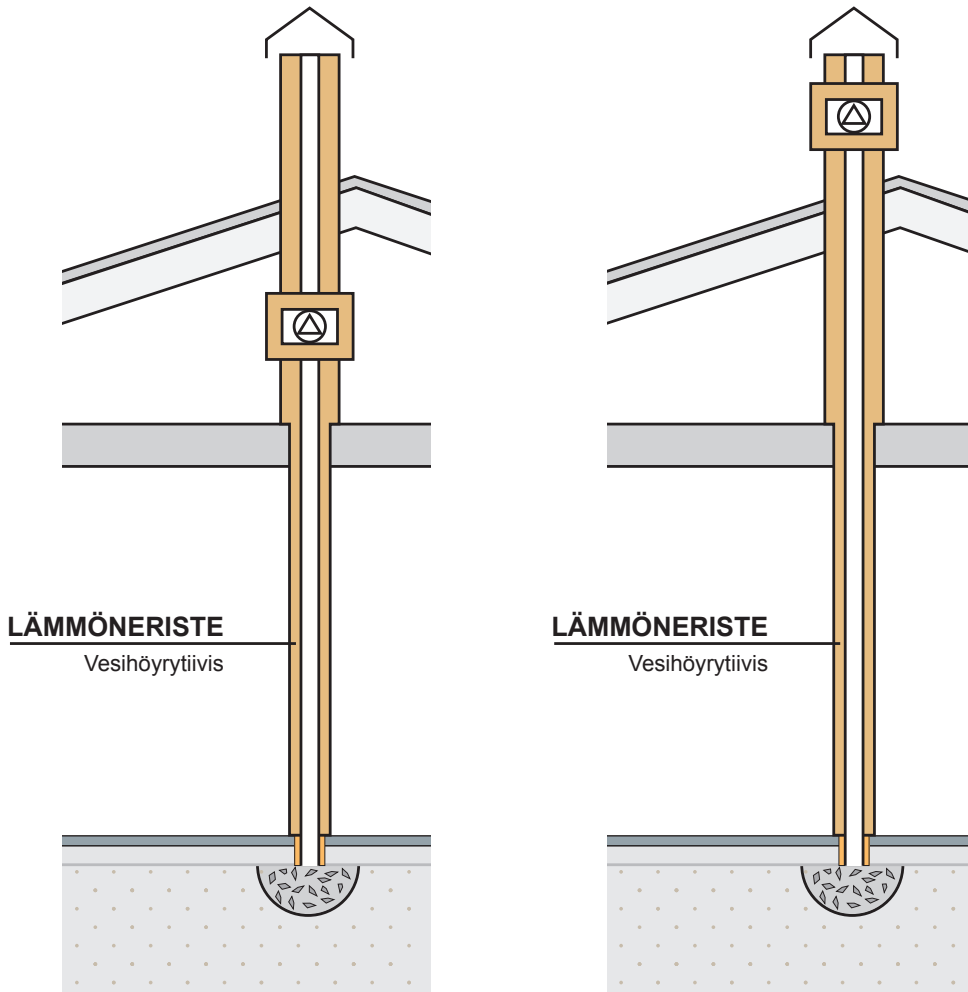
Puhallin tulee sijoittaa asuintilojen ulkopuolelle. Puhaltimien on todettu vuotavan esim. erittäin pienien sähköjohtojen liitosten kautta. Pienetkin radonpitoisen ilman vuodot asuintiloihin voivat merkittävästi heikentää imurin vaikutusta. Poistokanavan on oltava huonetilojen kohdalla alipaineistettu. Tämä toteutuu kun puhallin on asuintilojen ulkopuolella.

Laatan alta imettävä ilma on huoneilmaa kylmempää. Huonetilassa tai sen koteloissa kulkevat putket viilenevät ja niiden ulkopintaan voi tiivistyä kosteutta. Kosteuden tiivistyminen voi johtaa veden kertymiseen putkiston alaosiin ja lähellä olevien rakenteiden kosteusvaurioihin. Varmin tapa estää tämä on varustaa kanavisto riittävän vesihöyrytiivillä lämmöneristeellä. Vaihtoehtoisesti kanavistoa tulee voida tarkkailla ja se koteloidaan vasta kun kosteustekninen toiminta on todettu.

Kanaviston suunnittelussa ja asennuksessa on noudatettava ilmanvaihtokanaviston asennuksesta annettuja ohjeita. Vaakatasossa olevat putkiston osat tulee kallistaa siten, että niihin ei pääse kertymään vettä. Mahdollisen kondenssiveden tulee päästä poistumaan.

4.11 Puhallin ja sen sijoitus

Puhallin voi olla katolle sijoitettava huippumuri tai poistokanavan yläosaan sijoitettava kanavapuhallin tai keskipakopuhallin (kuva 4.10). Vesikatkon läpivientiin on saatavissa kullekin katteelle sopivia valmiita läpivientielementtejä. Puhallin voidaan vaihtoehtoisesti sijoittaa myös ulkoseinälle talon pätyyn. Suunnittelussa on tällöin huomioitava se, että kostea ilma voi aiheuttaa lähellä oleviin pintoihin kosteus- ja homevaurioita. Jos puhallin sijoitetaan lähelle makuuhuonetta, on syytä huomioida myös äänieristyskysymykset.



Kuva 4.10. Poistopuhaltimen sijoittaminen ja poistokanavan lämmöneristys.

Poistopuhaltimen sijoituksessa tulee soveltuvin osin noudattaa poistoilmapisteyden sijoituksesta annettuja ohjeita (Suomen Rakentamismääräyskoelma osa D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto). Pääperiaate on se että järjestelmästä poistuva erittäin radonpitoinen ilma ei saa päästä tuloilmakanavien tai -laitteiden kautta uudestaan asunnon sisätiloihin. Radonimurin poistopiste ei myöskään saa olla lähellä niitä piha-alueita, joissa oleskellaan merkittäviä aikoja. Poistopuhaltimen ilma laimenee erittäin nopeasti eikä oikein sijoitetun poistopisteen takaisinvirtauksilla ole radonpitoisuutta kasvattavaa merkitystä.

Sopiva pientalon tai yhden rivitaloasunnon radonimurin puhallinteho on 50–100 wattia. Pienempi puhallin tehoalueella on yleensä riittävä, kun imupisteitä on yksi. Suurempitehoinen puhallin tarvitaan kun imupisteitä useita. Useissa tapauksissa 60 watin puhaltimella on saavutettu hyviä tuloksia.

Kylminä pakkasjaksoina on huippuimureissa havaittu haitallista jään kertymistä. Maaperästä tuleva ilma on erittäin kosteata ja kosteus tiivistyy kylmille pinnoille. Ilman oma lämpö pystyy estämään jäätymisen vain tiettyyn lämpötilaan asti. Yläpohjaan tai vesikaton yläpuolelle sijoitetutulla lämpöeristetyllä kanavapuhaltimella on vältettävissä jäätymisriskit. Puhaltimen yläpuolella olevat putket on edelleen lämpöeristettävä hyvin. Poistoputken päässä oleva hattu on suunniteltava siten että putken pää ei pääse jäätymään umpeen.

Puhaltimen toiminta on syytä tarkistaa vähintään kerran vuodessa. Sähköpääkeskukseen tai muuhun sopivaan paikkaan voidaan myös asentaa merkkivalo tai hälytysjärjestelmä, jolla saadaan tarvittaessa tieto radonimurin puhaltimen vikaantumisesta.

4.12 Radonimurin poistoilmamäärän mitoitus

Liian voimakkaalla puhaltimella saatetaan rakennuspohjasta imeä liikaa ilmaa, jolloin ilmavirroilla on vaikutusta lattian lämpötilaan tai perusrakenteiden routimisriski kasvaa. Ilmavirtausta voi säätää sähköisen tehonsäätimen tai säätöpellin avulla. Muuntajatyypinen säädin on suositeltava.

Ympäristöministeriön radonimurioppaassa maaperästä imettävän ilmamäärän mitoitusarvo on 0,2 m³ tunnissa (0,05 dm³/s) laattaneliometriä kohti (Ympäristöministeriö 1996). Sadan neliömetrin laatan alta imettävä ilmamäärä on tällöin 20 m³ tunnissa (5 dm³/s). Kullekin virtaustekniselle lohkolle, jossa imupiste sijaitsee, on ilmavirta mitoitettava erikseen. Kellarillisissa rakennuksissa otetaan huomioon myös seinien pinta-ala niitä lähinnä olevan imupisteen mitoituksessa. Ympäristöministeriön oppaassa on esimerkkejä mitoituksen suorittamisesta.

Poistoilmamäärää voidaan kasvattaa taulukossa 4.1 olevien ohjeiden mukaisesti. Ilmamäärää voidaan kasvattaa jos varmistutaan siitä, että ilma-

Taulukko 4.1. Radonimurin poistoilmamäärän mitoitus.

Mitoitustilanne	Ilmamäärä rakennuksen maanvastaista lattia- ja seinäneliömetriä kohden (100 m ² kohden)	
	dm ³ /s tai l/s	m ³ /h
Mitoitusilmavirta	0,05 (5)	0,2 (20)
Toiminnan tehostus ilman virtaus-, lämpö- ja kosteusteknistä tarkastelua	0,08 (8)	0,3 (30)
Jos varmistetaan järjestelmän aiheuttaman virtauskentän tasaisuudesta	0,13 (13)	0,5 (50)

virta jakautuu tasaisesti järjestelmän alueelle. Jos järjestelmän aiheuttamasta ilmavirtauksesta suuri osa keskittyy perustuksen yhdelle osa-alueelle, on tällä alueella kylmähaittojen riski suurempi kuin muualla.

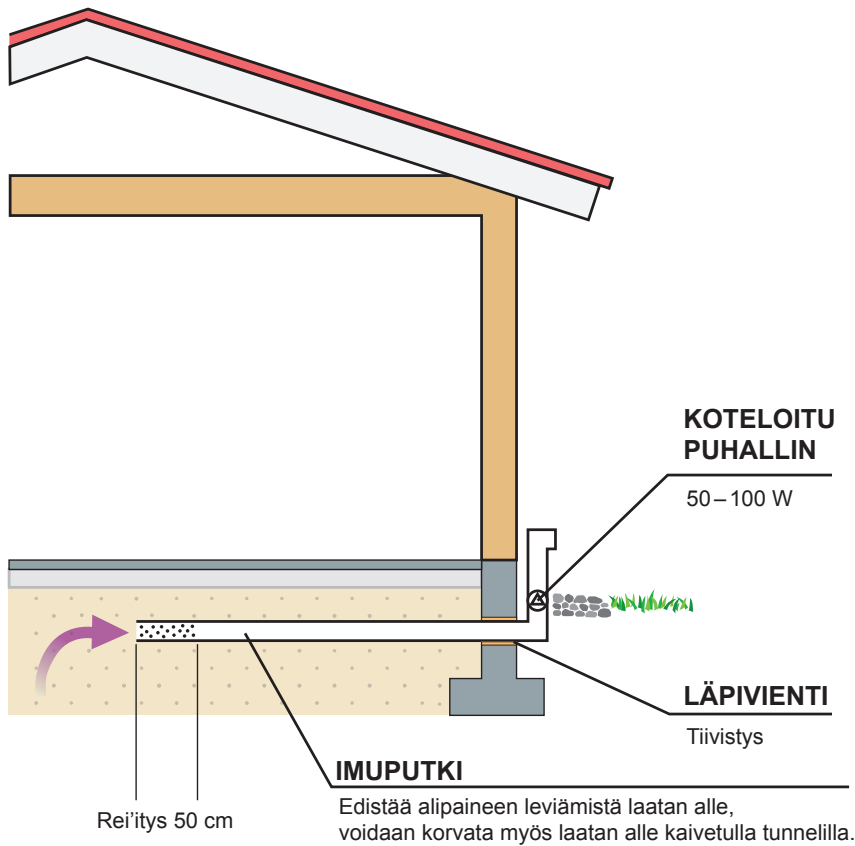
Virtausmäärä on karkeasti arvioitavissa ohutseinäisen 150 litran jätesäkin avulla. 20 m³:n virtaus tunnissa täyttää pussin 27 sekunnissa. Vastavasti virtauksen ollessa 50 m³ tunnissa pussi täyttyy 11 sekunnissa. Ilmavirtojen mittaukseen on erityislaitteita LVI-liikkeillä.

Jos tarkistusmittaus osoittaa, ettei pitoisuus ole laskenut halutulle tasolle, voidaan tilavuusvirtaa kasvattaa. Tällöin on kuitenkin muistettava, ettei rakennuspohjasta imettävä ilmamäärä saa ylittää 0,5 m³ tunnissa rakennuksen pohjapinta-alayksikköä (m²) kohti ilman tarkempaa lämpö- ja kosteusteknistä tarkastelua.

Säteilyturvakokeskuksen tietoon ei ole tullut kylmähaittoja kohteista, joissa on tyypillisiä alle 100 W puhaltimia. Radonkaivon lähistöllä on havaittu vesijohdon jäätymisriskin kasvua. Tällöin imuteho on ollut yli 100 W.

4.13 Radonimurin asennus sokkelin läpi

Radonimuri voidaan rakentaa myös sokkelin läpi. Ratkaisun etuna on se, ettei sisätiloissa tarvitse tehdä muutostöitä. Puhallin jää myös sokkelin viereen talon ulkopuolelle. Menetelmää on käytetty eniten kerros- ja rivitaloasuntojen korjauksissa. Tulokset ovat olleet parhaita rivitaloasunnoissa, joissa on yhtenäinen ja pinta-alaltaan 40–80 m² lattialaatta. Virtauskenttä leviää tällöin tehokkaasti laatan reunaankin sijoitetusta imupisteestä.



Kuva 4.11. Radonimurin toteutus sokkelin läpi. Suositeltavampi tapa on viedä lämpöeristetty poistoputki seinän vierellä räystääskorkeuden yläpuolelle tai sijoittaa puhallin erilliseen puhallinkaivoon ja viedä poistoputki kauemmaksi asunnosta sopivaan paikkaan.

Kuva 4.11 esittää sokkeli-imuria. Laatan alle työnnettävällä putkella pyritään siihen, että imurin vaikutus saadaan mahdollisimman hyvin ulottumaan tasaisesti koko laatan alueelle. Vaihtoehtoisesti on tyydytty vain sokkelin läpäisevään lyhyeen putkeen, jolloin sokkelin sisäpuolelle on jätetty imukuoppa poistamalla sieltä maa-ainesta. Tällöin imukuoppaa kannattaa syventää laatan keskustan suuntaan esim. pitkävartisella kapealla lapiolla.

Jotta imupiste saadaan lähemmäksi laatan keskialuetta, kannattaa pyrkiä asentamaan laatan alle 1,5–2 metrin pituinen putki, jonka viimeiset puoli metriä on rei'itetty. Esim. 110 mm viemäriputki soveltuu hyvin. Reiät varmistavat ilmavirran leviämistä vaikka putken pää tukkeutuisikin. Mikäli esim. kivet tai muut vaikeudet estävät näin pitkän putken asennuksen, on tyydyttävä lyhyempään ratkaisuun.

Paksun sokkelin läpäiseminen on vaativampi tehtävä kuin luvussa 4.9 kuvattu reiän teko lattialaataan. Reiän tekemiseen soveltuu timanttipora. Maa-ainesta voi poistaa sorakairalla tai teollisuusimurilla. Pitkävartinen kapea lapio tai kauha voi myös olla riittävä. Putkea käytettäessä tai kaivettaessa muuten imukuoppaa laatan keskiosia kohti saadaan syntymään laajempi virtauksenjakokuoppa ja edellytykset virtauksen leviämiselle tarvittavalle alueelle paranevat. Molemmissa edellä kuvatuissa toteutustavoissa on huomattava, että virtauskuoppa käytännössä ulottuu sokkelista kuopan tai putken etäisimpään kohtaan saakka. Myös putkea asennettaessa maa-ainesta poistuu useimmiten niin paljon että putken ja laatan väliin ja tyhjää tilaa, jota myöten virtaus etenee esteettä sokkelin suuntaan.

Sokkeli-imurin tapauksessa on erittäin tärkeitä, että kuopan lähistöllä (1,5–3 m) olevat raot sokkelin ja lattialaatan välillä tiivistetään huolella. Sama koskee lähistöllä olevia läpivientejä. Näistä raoista voi virrata ilmaa suuret määrät sisätiloista kuoppaan päin, mikä heikentää imurin toimintaa.

Lisätietoa ja esimerkkejä sokkelin läpi tehdystä radonimurista on kerrostalojen radonkorjauksia koskevassa luvussa 10. Ratkaisut pien- ja rivitaloisissa ovat käytännössä samanlaisia.

Sokkelin läpi toteutetusta radonimurista ja sen lämpötilavaikutuksista ei ole käytettävissä sellaista tausta-aineistoa kuin lattian läpi toteutetusta imupistejärjestelmästä (Ympäristöministeriö 1996). Edellä olevaa ilmavirtojen mitoitusta (luku 4.12) voidaan soveltaa myös sokkelin läpi tehtyyn järjestelmään. Tällöin on otettava huomioon että ilmavirtaus jakautuu todennäköisesti epätasaisemmin pohjapinta-alalle, koska imupiste sijaitsee laatan reunalla. Esimerkiksi imupisteen lähistöllä maaperässä kulkevien vesijohtojen jäätymisriski tai maaperän routimisriski voi kasvaa järjestelmän johdosta.

Uudemmissa pientaloissa käytetään erittäin läpäiseviä aineksia laatan alla ja joskus myös anturoiden alla. Tällöin kylmän ilman virtauksen mahdollisuus sokkeliin asennetun imurin lähistöllä kasvaa. Toisaalta tällaiset virtaukset heikentävät myös radonimurin tehokkuutta.

4.14 Radonimurin haittavaikutukset

Kosteus-, kylmä-, jäätymis- tai routimishaittoja on käsitelty luvuissa 4.4, 4.12 ja 4.13. Radonimurin puhaltimen sijoituksessa tulee noudattaa samanlaisia periaatteita kuin asuntoilmanvaihdon poistopuhaltimen asennuksessa äänihaittojen osalta. Resonanssiääniä voidaan vaimentaa esim. joustavilla liitoksilla. Huolellisesti suunniteltu ja asennettu radonimuri ei aiheuta äänihaittoja. Sokkelin läpi tehty radonimuri voi aiheuttaa äänihaittoja ilman äänenvaimennusta. Luvussa 10.9 on esimerkki hyvin suunnitellusta äänenvaimennuksesta. Sokkelin läpi

tehtävän imurin toteutuksessa on mahdollista sijoittaa puhallin maanpinnan alle huoltokaivoon ja viedä poistopiste maan sisällä esim. vajan seinustalle ja siitä räystäään yläpuolelle. Ulkoilmaan rajoittuvat ja lähellä maanpintaa olevat putkiston osat on lämpöeristettävä jäätymisen estämiseksi.

4.15 Radonimurin vaikutus sisäilmaan

Radonimuri estää kokonaan tai vähentää maaperän huokosilman virtausta sisätiloihin. Tämän vuoksi se vähentää samalla tavalla myös mahdollisten muiden maaperän ilmassa olevien haitallisten aineiden kulkeutumista sisäilmaan. Tällaisia haitallisia aineita voivat olla esim. mikrobikasvustojen aineenvaihduntatuotteita ja maaperään päässeitä kemiallisia saasteita. Radonimurin onkin todettu vähentävän maaperästä sisätiloihin tulevia tunkkaisia hajuja. Vastaavia järjestelmiä on asennettu asuntoihin ja suurempiin rakennuksiin nimenomaan hajujen torjumiseksi.

4.16 Hyvin ilmaa läpäisevät alapohjarakenteet

Radonimurin toiminta on suunniteltu olettaen että laatan alla on tyypillisiä salaojasoran vaatimukset täyttäviä sora-aineksia. Nykyisin on siirrytty käyttämään lattialaatan alla täyttöaineksena erittäin karkeita murskeita. Murskeita voidaan käyttää myös sokkelin alla ja sen ulkopuolella. Jos myös alkuperäismaa on karkeata ja hyvin ilmaa läpäisevää, radonimuri ei enää pysty hyväksyttävillä ilmavirtauksilla alentamaan radonpitoisuutta riittävästi. Jos radonimurilla ei saavuteta riittävää tulosta eikä myöskään radonkaivoa voida hyödyntää, jää ainoaksi vaihtoehdoksi tehdä huolellisia – ja mahdollisesti myös kalliita – tiivistämistöitä.

Karkeiden täyttöjen aiheuttamia ongelmia on havaittu myös uudisrakentamisen yhteydessä asennetun radonputkiston käyttöönotossa, luku 14.6.

Salaojasoraa ja karkeita sepelitäyttöjä käytetään kosteushaittojen välttämiseksi. Imurin toiminnassa havaittujen puutteiden vuoksi ei tule missään tapauksessa jättää noudattamatta näitä sora-ainesten laatua koskevia ohjeita.

4.17 Radonimurilla saavutetut tulokset

Radonimuri on tuloksiltaan parhaita korjausmenetelmiä. Radonpitoisuus on tavallisesti pienentynyt 70–90 % alkuperäisestä arvosta. Yli 80 %:ssa korjauksista on alitettu 400 Bq/m³. Radonimuria on käytetty keskimäärin hyvin korkean radonpitoisuuden asunnoissa, mikä on myös vaikeuttanut enimmäisarvon alittamista. Kuvan 2.1 ja taulukon 2.1 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
- läpäisevä täyttömaa laatan alla, mikä edistää painekentän leviämistä.

Imurin toimintaa vaikeuttaa

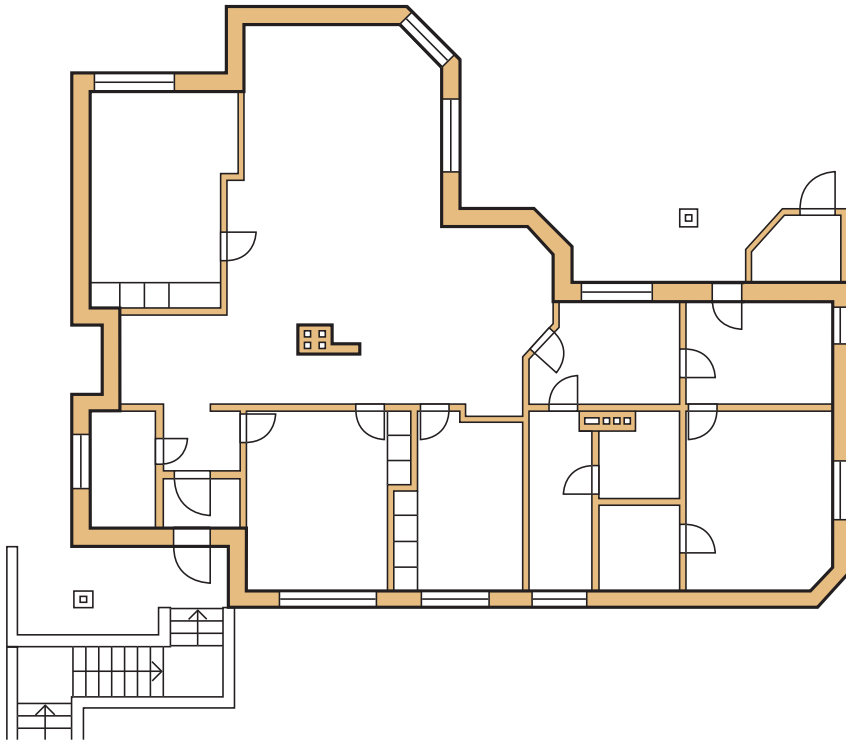
- laatan monilohkoisuus ja imupisteiden liian pieni lukumäärä
- imupisteen huono sijoitus laatan reuna-alueelle
- imupisteen sijoitus lähelle seinärakennetta (esim. tiivistämätön harkkoseinä), jolloin ilmaa virtaa huomattavasti seinän tai saumojen kautta ja alipaine laatan alla huononee
- koneellisen ilmanvaihdon aiheuttama suuri alipaine
- tiivis täytemaa, jolloin painekenttä ei leviä koko laatan alueelle
- liian ilmaa läpäisevä alapohjarakenne; tällöin laatan alle ei synny alipainetta, luku 4.16.
- Rinne- ja kellaritaloissa imurin kokonaistehokkuus alenee, koska virtauskentän vaikutus maanvastaisten seinien kautta tapahtuviin vuotoihin on puutteellinen.

4.18 Radonimuri kellarin seinän läpi, Järvenpää

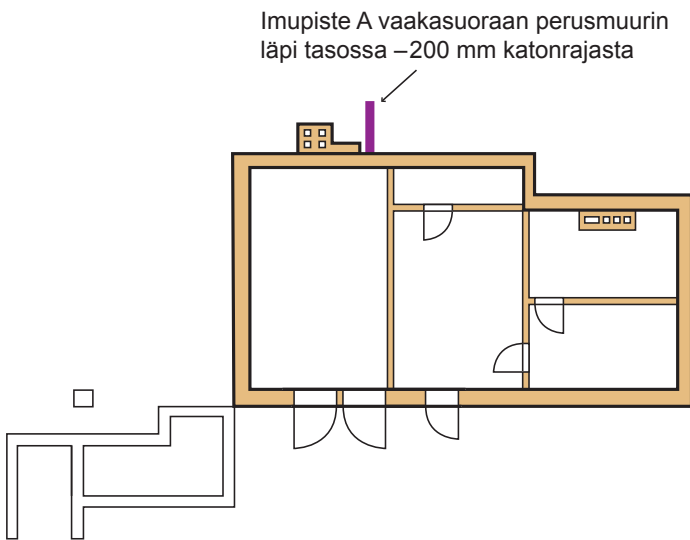
Esimerkkikohde on 1987 rakennettu omakotitalo, jossa on asuinkerroksen lisäksi osakellari. Käynti kellariin tapahtuu ulkokautta. Rakennuksen asuinpinta-ala on 170 m² ja kellarin pinta-ala on 66 m². Kellarin seinä on betonia ja asuinkerroksen kantavana seinämateriaalina on tiili.

Radonpitoisuus ennen radonkorjausta oli olohuoneessa 1 580 Bq/m³ ja yhdessä makuuhuoneessa 3 850 Bq/m³. Radonkorjausta yritettiin ensin asentamalla koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, jonka avulla radonpitoisuus putosi 750–950 Bq/m³ tasolle. Tämän jälkeen taloon rakennettiin radonimuri. Imupiste toteutettiin vaakasuoralla putkella kellarista perusmuurin läpi asuinkerroksen lattian alle. Imuputki ulottui noin metrin päähän perusmuurista tasossa –200 mm kellarin katonrajasta. Radonimurin asennuksen jälkeen radonpitoisuus oli 340–430 Bq/m³ pitkäaikaisella purkkimittauksella. Radonpitoisuuden alenema oli 54 %. Lyhytaikaisissa mittauksissa radonpitoisuus pieneni noin 80 % kun imuri kytkettiin päälle. Imurilla imettiin tällöin ilmaa 22 m³/h. Kasvattamalla ilmavirtaa imurin toimintaa voisi vielä tehostaa, jolloin radonpitoisuus todennäköisesti pienenisi.

A



B



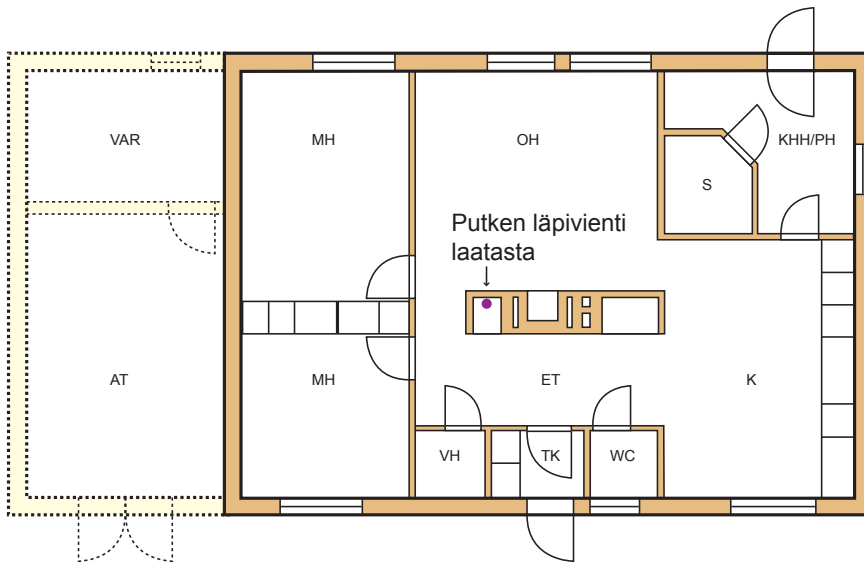
Kuva 4.12. Järvenpään esimerkkikohteen asuinkerroksen (A) ja kellarikerroksen (B) pohjapiirustukset.

4.19 Radonimuri, Lahti

Korjauskohteena oli yksikerroksinen omakotitalo Lahdessa. Talo on valmistunut 1988 ja sen asuinpinta-ala on 89 m². Siinä on koneellinen poistoilmanvaihto.

Radonimurin imupiste sijaitsee siivouskomerossa lähellä takan perustuksia. Imupisteen etäisyys takan perustuksista on noin 0,5 m. Lattialaataan tehtiin reikä piikkaamalla. Poistohormina käytettiin 110 mm viemäriputkea, joka johdettiin katolle siivouskomeron takaseinällä. Puhaltimena on käytetty 57 W huippuimuria katolla. Radonimurin toteuttivat asukas ja sähköasentaja. Mitattu ilmavirta oli noin 20 m³/h, joka on varsin lähellä mitoitusilmavirtaa (16 m³/h).

Radonpitoisuus ennen korjausta kevättalvella 2009 oli 1 000 Bq/m³ ja korjauksen jälkeen talvella 2010 se oli 90 Bq/m³. Radonpitoisuuden alenema oli 91 %. Radonpitoisuudet määritettiin yli kahden kuukauden purkkimittauksilla.



Kuva 4.13. Lahden esimerkkikohteen pohjapiirustus ja imupisteen sijainti.

4.20 Imupisteen syventäminen, Tampere

Tamperelaisessa soraharjulla sijaitsevassa talossa mitattiin 90-luvun alussa 2 000–4 000 Bq/m³ radonpitoisuuksia. Talo on kaksikerroksinen rinnetalo, jonka alimman kerroksen pinta-ala on lähes 200 m². Korkeimmat pitoisuudet mitattiin alakerrassa, josta on avoin porraskäytävä ylempään kerrokseen. Sekä alemmassa että

ylemmässä kerroksessa on makuuhuoneita ja työtiloja. Asuntoon asennettiin radonimuri, jonka imupesä sijoitettiin lähelle alemman kerroksen keskialuetta. Imuri jätettiin sisätiloihin ja poistoilma johdettiin olemassa olevaa tiilimuurin hormia myöten katolle. Korjauksen jälkeen asunnossa mitattiin kahtena vuotena 700–1 300 Bq/m³ radonpitoisuuksia. Säteilyturvakeskus alkoi syksyllä 2007 tutkia kohdetta yhteistyössä korjaustyöhön tilatun yrityksen kanssa.

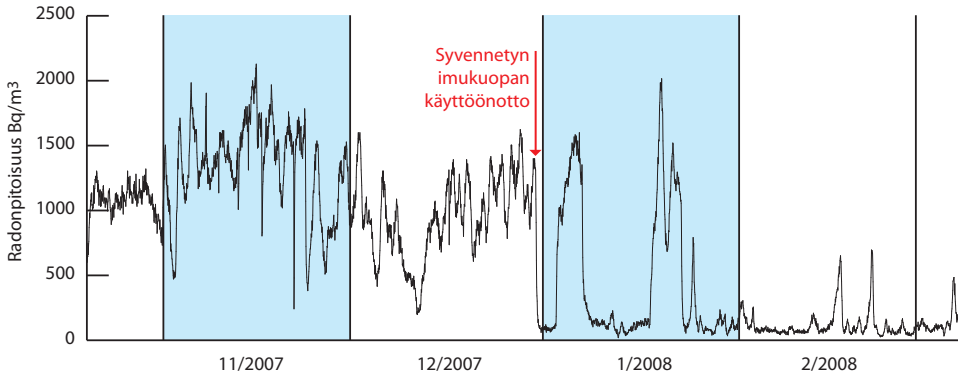
Tutkimuksissa havaittiin seuraavia korjausta heikentäviä seikkoja:

- Asunnon ilmanvaihto on toiminut puutteellisesti.
- Imuri on sijoitettu kellarissa sijaitsevaan tekniseen tilaan, ja imurin pienet ilmavuodot kasvattavat teknisen tilan radonpitoisuutta. Ilma leviää teknisestä tilasta muihin tiloihin.
- Imupiste on sijoitettu lähelle ilmanvaihtohormien ja tulisijojen perustuksia. Nämä ovat estäneet osaltaan virtauskentän leviämistä alakerran toisen päädyn suuntaan. Tässä suunnassa sijaitsee alakerran makuuhuone.

Tutkimuksissa edettiin poistamalla vanha sisätiloihin asennettu imuri ja sijoittamalla uusi 60 W huippuimuri piipun päälle. Samalla piipun tiilihormin sisälle asennettiin 110 mm viemäriputki siten, että poistohormiksi saatiin yhtenäinen viemäriputki imukuopasta huippuimuriin saakka. Tiilihormin käyttö poistohormina sellaisenaan ei ole suositeltavaa, koska maasta imettävä kostea ilma rapauttaa tiilihormin kylmiä osia. Uuden huippuimurin todettiin alentavan radonpitoisuutta sekä ala- että yläkerrassa monitorimittauksen perusteella vain 20–40 %.

Koska imukuoppa oli hyvin matala, vain 25 cm, päätettiin imukuoppaa syventää. Lattiavalua aukaistiin imukuopan ympäriltä ja lattian alle sijoitettiin alaosaan rei'itetty 175 cm korkea putki, jonka halkaisija oli 315 mm. Kuva 4.5 esittää vastaavaa ratkaisua kellaritalossa. Uuden imukuopan käyttöönoton jälkeen radonpitoisuus laski merkittävästi. Matalalla imukuopalla radonpitoisuuden keskiarvo 2 kk ajalta ennen korjausta oli yläkerrassa 480 Bq/m³ ja alakerrassa 1 120 Bq/m³. Syvällä imukuopalla pitoisuudet laskivat tasoille 40 ja 120 Bq/m³. Kuva 4.14 esittää radonpitoisuuden laskua korjauksen jälkeen. Radonimuri kytkettiin tutkimuksessa vielä kahdesti pois käytöstä. Nämä jaksot näkyvät mittauksessa selvästi tammikuussa 2008.

Tutkimuksessa testattiin vielä 270 cm syvän imuputken käyttöä. Eroa 175 cm syvän imuputken kanssa ei voitu havaita. Esimerkkitapaus korostaa sitä, että imukuoppa tulee sijoittaa paikkaan, jossa perustusrakenteet eivät estä virtauskentän leviämistä. Epävarmoissa tapauksissa virtauskentän jakokuopan syvyydellä voidaan varmistaa virtauskentän leviämistä.



Kuva 4.14. Imupisteen syventämisen vaikutus radonpitoisuuteen tamperelaisessa omakotitalossa.

4.21 Radonimuri ja normaali salaojaputkisto

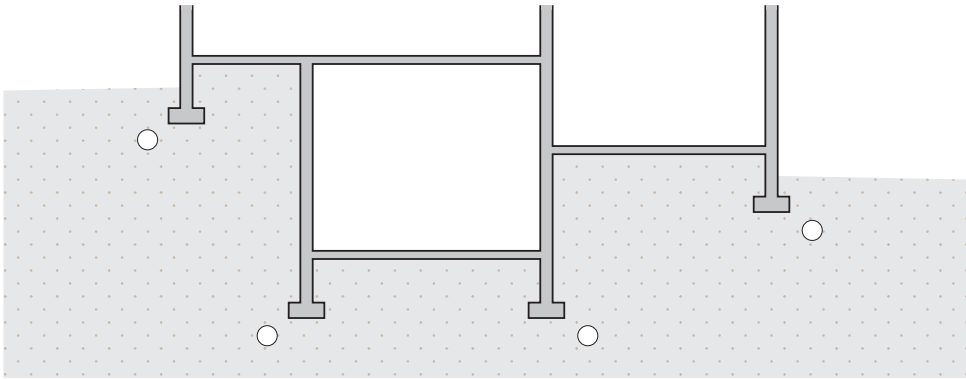
Radonkorjausten yhteydessä on hyödynnetty myös normaalia sokkelin ulkopuolelle asennettua salaojaputkistoa. Poistopuhaltimen kytkeminen salaojaputkistoon voi suotuisassa tapauksessa tarjota mahdollisuuden radonimurin toteuttamiselle. Säteilyturvakeskuksella on tiedossa kohteita, joissa näin on saavutettu merkittäviä radonpitoisuuden alenemia. Toisaalta joissakin tapauksissa tulokset ovat jääneet heikoiksi. Menetelmästä oleva tutkimustieto Suomen oloissa on niin vähäistä, että yksityiskohtaista ohjeistusta ei voida tähän oppaaseen kirjoittaa. Tässä luvussa kerrotaan kuitenkin saavutetuista tuloksista muutamissa esimerkkikohteissa.

Putkistoon kytketyn imurin käyttöä rajoittaa ilmavirran aiheuttamien kylmähaittojen mahdollisuus. Erityisesti, jos salaojaputkisto on matalalla ja sokkelin lähellä on karkeata sepeliä, ilmavirrat kulkeutuvat välittömästi ulkoa putkistoon. Tällöin vaikutus lattialaatan alle jää vähäiseksi ja kylmähaittojen riski kasvaa. Parhaat tiedossa olevat tulokset on saavutettu rinnetaloissa, joissa putkisto kulkee syvällä. Menetelmää on kokeiltu myös rivitaloissa päätyihin asennetun imurin avulla. Vaikutus oli suurin ja riittävä päädyissä mutta ulottui heikompana talon keskivaiheille.

Salaojaputkistoon kytketyn imurin aiheuttama ilmavirtaus voi alentaa sokkelin sisäpuolella olevan maa-aineksen huokosilman radonpitoisuutta. Mahdollisesti se voi myös kasvattaa alipainetta laatan alle. Salaojaputkiston tarkastuskaivojen ja putkistoon liittyvän muun viemärijärjestelmän tulee olla riittävän tiiviitä hyvän tuloksen saavuttamiseksi.

4.22 Salaojaputkistoon kytketty radonimuri, Lempäälä

Tutkimuskohteena oli paritalon toinen asunto Lempäälässä. Asunto on kolmitasoin rinneratkaisu, jossa ei ole yhtä yhtenäistä maanvaraista laattaa, vaan laatat ovat kolmella eri tasolla ja tämän lisäksi talossa on maanvaraisia seinärakenteita. Tästä monitasoisuudesta johtuen myös talon alimmaisesta betonilaatan anturoiden vierellä kulkee salaojaputket talon alitse, kuva 4.15.



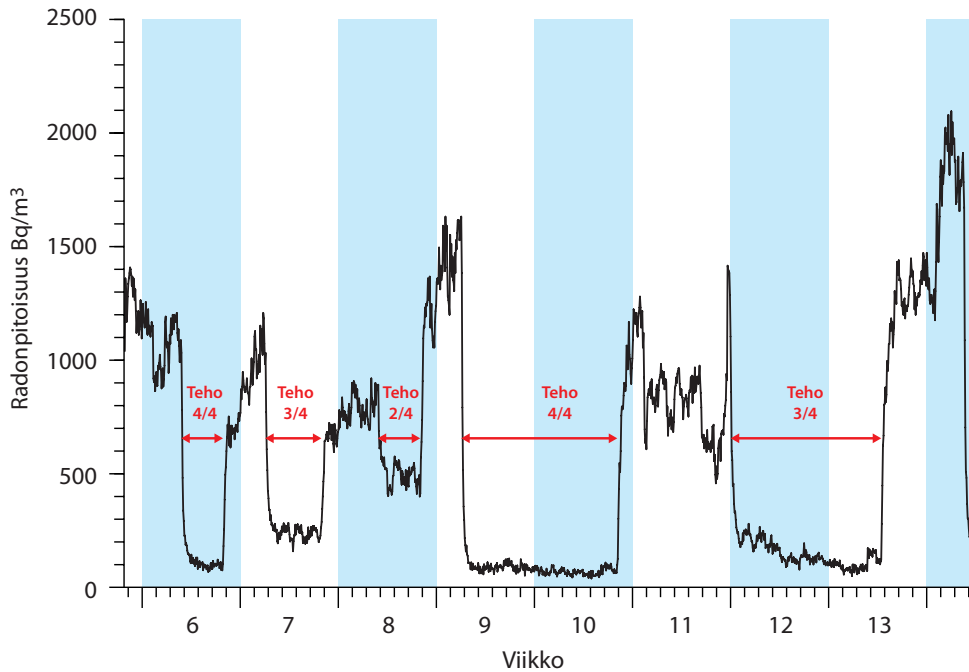
Kuva 4.15. Periaatepiirros anturoiden, laattojen ja salaojaputkien sijainnista leikkauksena, talon päädyistä katsottuna.

Tutkimuksen aikana huippuimuri oli kytketty salaojaan tarkastuskaivon kautta, joka oli kaivettu esille ja joka sijaitsee talon päädyssä. Huippuimurin tehoa voitiin säädellä neliportaisella sähköisellä säätömuuntajalla.

Radonpitoisuus tutkimusjakson aikana on esitetty kuvassa 4.16. Tähän on lisäksi merkitty ajanjaksot, jolloin imuri on ollut pois päältä tai päällä eri tehoilla. Kuvasta näkee selkeästi miten radonimurin eri käyttötehot vaikuttavat radonpitoisuuteen. Matalimmat pitoisuudet saadaan, kun imuria käytetään täydellä teholla. Kun imurin tehoa pienennetään, radonpitoisuus alkaa nousta ja muuntajan asennolla 2 radonpitoisuus on noin 510 Bq/m^3 . Kolmasennolla päästään noin 210 Bq/m^3 tasolle ja 4 asennolla noin 110 Bq/m^3 tasolle. Imurin ollessa pois päältä radonpitoisuus vaihteli välillä $500 - 2100 \text{ Bq/m}^3$. Koko mittausajan radonpitoisuuden keskiarvo oli 580 Bq/m^3 ja mediaani 470 Bq/m^3 .

Radonpitoisuuden keskiarvot ja keskimääräiset alenemat on esitetty taulukossa 4.2. Säätimen 4-asennolla radonpitoisuus laski 82–93 %. Kolmasennolla alenema oli 64–89 % ja 2-asennolla 31–61 %.

Puhaltimen mitatut poistoilmavirrat on esitetty taulukossa 4.3. Mitoitussilmavirta määritetään maanvastaisten lattioiden ja seinien yhteenlasketun pinta-alan mukaan. Paritalon yhden asunnon pinta-alat ovat 154 m^2 ja 57 m^2 ,



Kuva 4.16. Radonpitoisuus tutkimusjakson aikana 6.2.–8.4.2010. Imuri on välillä ollut päällä eri tehoilla ja näiden jaksojen välissä imu on ollut pois päältä.

Taulukko 4.2. Radonpitoisuuden keskiarvot ja keskimääräiset alenemat.

Imurin teho	Radonpitoisuus (Bq/m ³)		Alenema (Bq/m ³)	Alenema
	Imu pois	Imu päällä		
4-asento	1100	116	984	89 %
3-asento	955	215	740	75 %
2-asento	1025	510	515	46 %

Taulukko 4.3. Mitatut ilmavirrat.

Puhallinteho	Ilmavirta (m ³ /h)
2	50
3	108
4	202

mikä tekee yhteensä 211 m². Paritalon molempien asuntojen maanvastaisten rakenteiden pinta-ala on siis yhteensä 422 m². Tässä tapauksessa taulukon 4.1. mitoitusohjeita ei voi suoraan soveltaa, koska ilmavirtojen jakautumista salaojaputkistossa on vaikea arvioida. Imupisteen läheisyydessä maaperä ja perustukset voivat olla alttiimpia kylmähaitoille kovien pakkasten aikana kuin muu osa perustuksista. Joka tapauksessa ilmavirrat ovat aika suuria verrattuna yhden asunnon maanvastaisten rakenteiden pinta-alan mukaan laskettuihin mitoitusilmavirtoihin.

Salaojaan kytketty poistopuhallin alensi siis radonpitoisuuksia tehokkaasti, jos käytetään mitoitusohjeet ylittäviä ilmavirtoja. Myönteinen vaikutus radonpitoisuuteen johtuu luultavasti osittain ylimääräisistä salaojaputkista talon alla. Vuotovirtauksia salaojaputkiston poistoputken kautta ja tarkastuskaivojen kautta oli vaikea arvioida. Jos vuotovirtauksia on paljon, imurin vaikutus radonpitoisuuteen vähenee.

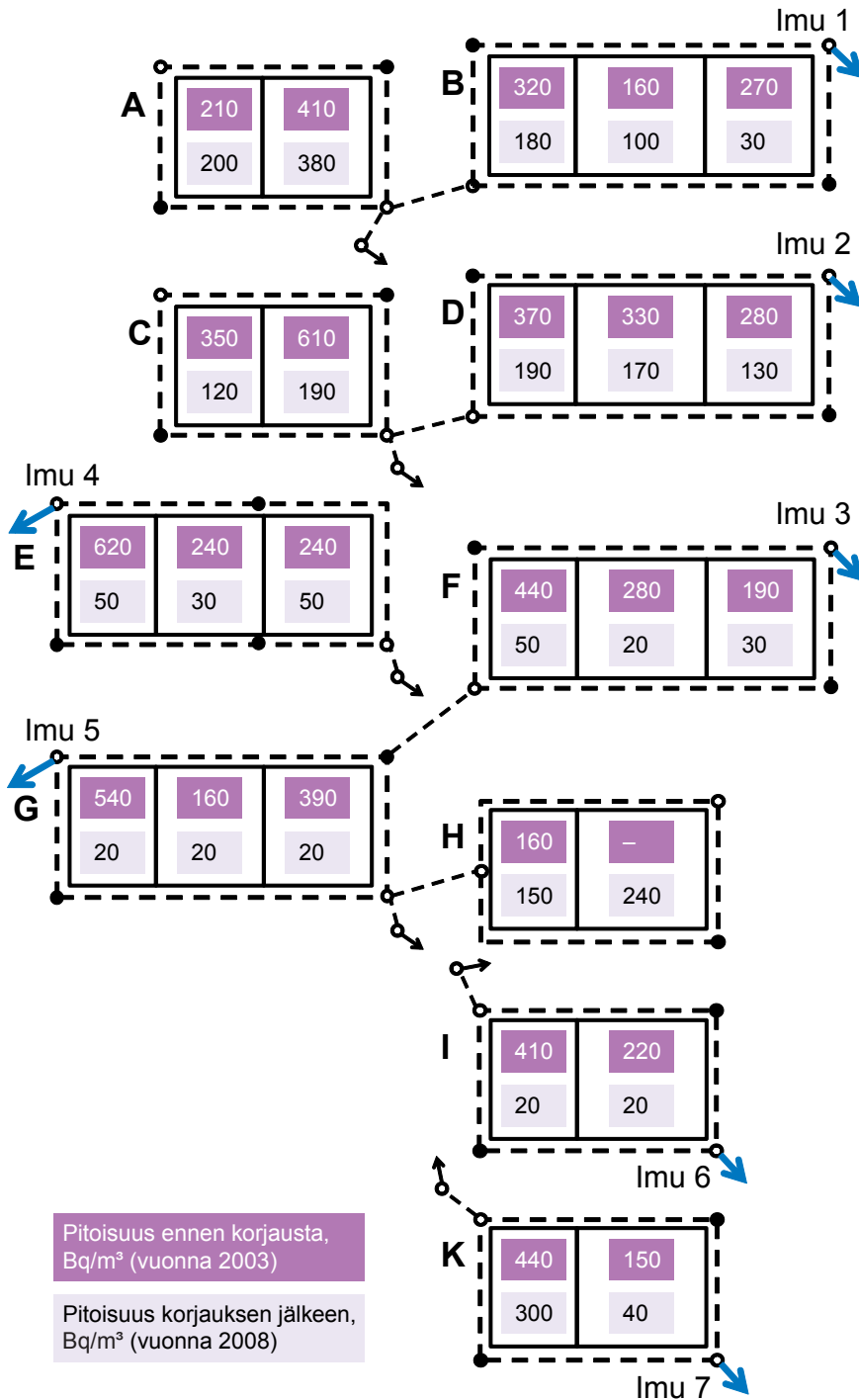
Radonpitoisuuden luonnollinen vaihtelu aiheuttaa näihin lyhytaikaisiin tutkimustuloksiin virhettä. Lopullinen radonpitoisuus valitulla imuteholla täytyy arvioida pitkäkestoisella mittauksella lämmityskautena.

4.23 Salaojaputkistoon kytketty radonimuri, Pirkanmaa

Esimerkkikohteena on rivitaloyhtiö, jossa on 10 talossa yhteensä 25 asuntoa. Talojen salaojien tarkastuskaivoihin kytkettiin seitsemän puhallinta, joilla imetään ilmaa salaojaputkistoista (kuva 4.17). Puhallin (teho 70 W) on upotettu maan alle kaivon renkaan sisään, josta poistoputki on viety maan alla kauemaksi talosta. Tarkastuskaivojen kannet on tiivistetty ilmatiiviiksi. Yhdestä poistoputkesta mitattiin ilmavirraksi noin 160 m³/h.

Radonpitoisuuden mittauksia on tehty viitenä eri kertana ja eri vuosina. Kuvassa 4.17 on esitetty radonpitoisuudet vuonna 2003 ja 2008 tehdyissä mittauksissa. Tulokset ovat vaihtelevia. Joissakin asunnoissa pitoisuus on pudonnut huomattavasti toisissa vähemmän. Esimerkiksi A-talon asunnoissa pitoisuudet ovat pysyneet melko samoina. Suurimmat radonpitoisuuden alenemat (yli 500 Bq/m³) ovat E- ja G-talojen päätyasunnoissa, jotka ovat lähinnä imureita.

Toiseen C-talon asunnoista asennettiin lisäksi radonimuri lattialaatan läpi, koska pitoisuudet eivät muuten laskeneet. Ennen radonimurin asentamista radonpitoisuus oli 610 Bq/m³ ja asentamisen jälkeen 190 Bq/m³.



Kuva 4.17. Radonimureita kytketty salaojaputkistoon Pirkanmaalla.

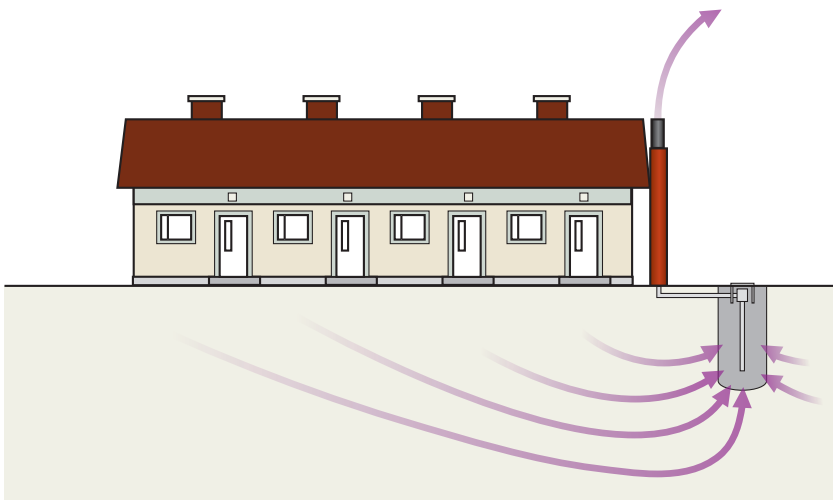
5 Radonkaivo

5.1 Toimintaperiaate

Radonkaivon avulla imetään ilmaa maaperästä. Radonkaivon toiminta perustuu ensisijaisesti siihen, että syntyvä virtaus alentaa asuntoon maaperästä virtaavan ilman radonpitoisuutta, kuva 5.1. Kaivon imemän ilman tilalle tulee ulkoilmasta radonvapaata ilmaa, joka laimentaa maan sisällä olevan ilman radonpitoisuutta. Vain kaivon välittömässä läheisyydessä kaivo voi synnyttää lattialaatan alle alipainekentän, joka vähentää myös radonpitoisen ilman virtauksen määrää.

Radonkaivon rakentamisessa tarvitaan kokemusta ja maaperäasiantuntemusta. Kaivon tehoon vaikuttavat mm. maaperän tiiviys, 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.

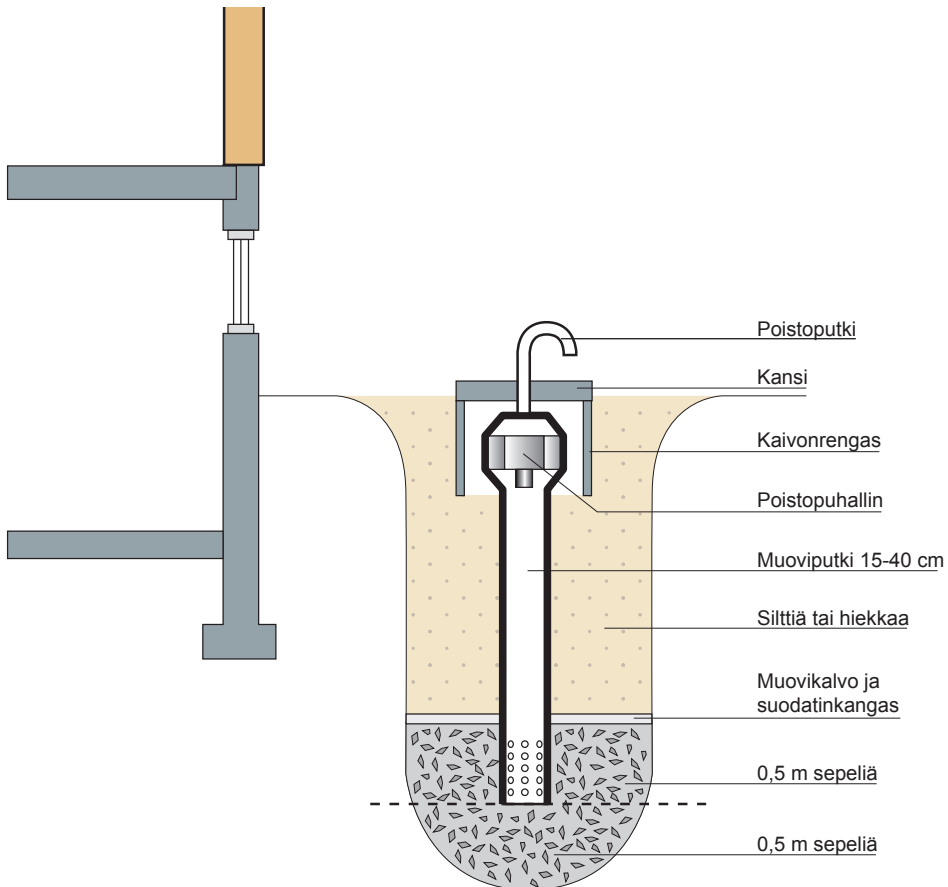
Asunnon korkea radonpitoisuus on merkki maaperän suuresta läpäisevyydestä. Radonkaivon toimintaedellytykset heikkenevät, kun korjattava pitoisuus on alle $1\,000\text{ Bq/m}^3$. Maaperä saattaa olla tällöin jo liian tiivistä. Hyviä tuloksia on kuitenkin saavutettu esim. tässä luvussa kuvatuissa rivitaloyhtiöissä, joissa useissa asunnoissa oli $500 - 1\,000\text{ Bq/m}^3$ pitoisuuksia.



Kuva 5.1. Radonkaivo synnyttämä ilmavirtaus pienentää maaperän huokosilman radonpitoisuutta laajalla alueella.

5.2 Radonkaivon toteutus

Kuvassa 5.2 on esitetty kaavakuva pientalolle soveltuvan radonkaivon rakenteesta. Imupiste pyritään sijoittamaan 4–5 metrin syvyyteen, syvemmälle kuin perustuksen anturat. Kaivon syvyys edistää virtauskentän leviämistä laajalle alueelle. 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 alipainekenttä leviää tehokkaasti. Tämän jälkeen lisätään vielä sepeliä. Karkean sepelikerroksen tarkoituksena on helpottaa ja varmistaa virtauksen leviäminen putken suulta.



Kuva 5.2. Radonkaivon rakenne.

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 täyte-
maan 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 kaivonrenkastakin.

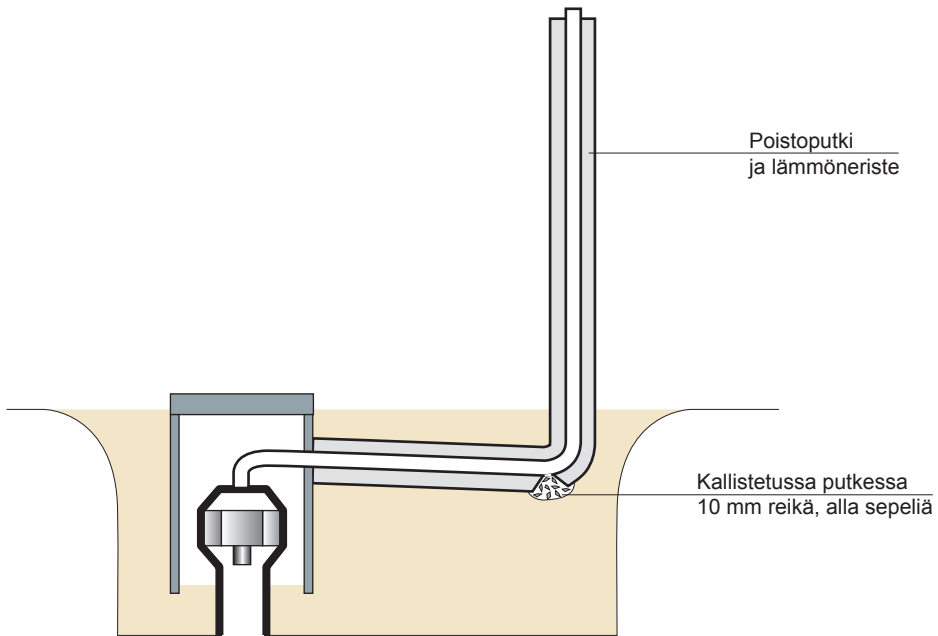
Poistoputki voidaan sijoittaa myös etäälle kaivon renkaasta maan sisässä kulkevan siirtoputken avulla (kuva 5.3). Siirtoputki on lämpöeristettävä. Myös maan sisällä kulkeva putken osa on lämpöeristettävä. Putken vaakaosaan voi kertyä kosteasta ilmasta tiivistyvää vettä. Tämän vuoksi putki kannattaa kallistaa poistohormia kohti. Vesi saadaan poistumaan putkesta laittamalla kulmaukseen 10 mm reikä. Reiän alle jätetään sepelipesä, jotta vesi pääsee poistumaan maaperään.

Radonkaivon poistoputken pää tulee sijoittaa siten, ettei radonpitoinen ilma pääse ilmanvaihtokanaviin tai tuuletusikkunoista sisään. Radonimurin poistopiste ei myöskään saa olla lähellä niitä piha-alueita, joissa oleskellaan merkittäviä aikoja. Jatkossa kuvatut esimerkkitapaukset esittävät vaihtoehtoisia poistoputkiratkaisuita. Kun kaivo on talon vieressä, on eräs mahdollisuus asentaa putki seinän vierustaa pitkin räystäään yläpuolelle (kuva 5.7). Poistoputken pää voidaan tarvittaessa viedä kauaskin, jotta äänihaitat jäisivät mahdollisimman pieneksi.

Yhden pientalon kaivoon sopiva puhallinteho on 150 W. Asentamalla puhalltimeen sähköinen tehonsäädin, sitä voidaan käyttää myös pienemmillä tehoilla. Tehovaatimus kasvaa, jos radonkaivon vaikutusaluetta halutaan laajentaa. Yhdellä sopivasti sijoitetulla ja tehokkaalla kaivolla on pystytty alentamaan rivitaloyhtiön yli kymmenen asunnon radonpitoisuus. Jatkossa olevissa esimerkkikohteissa suurin puhallinteho on ollut 370 W. Kaivon vaikutusalue on suotuisissa oloissa 20–40 metriä.

Jos korjattava talo on rinteellä, radonkaivon paras paikka on ylärinteen puolella ja talon keskivaiheilla.

Radonkaivon välittömässä läheisyydessä on mahdollista että sisäilma alkaa kulkeutua sisätiloista maaperään päin. Tällöin on huomioitava luvussa 4.4 mainitut puisten lattiarakenteiden kosteusriskit.



Kuva 5.3. Radonkaivon poistoputken asennus maaperään ja sen jälkeen pystyhormiin.

5.3 Radonkaivolla saavutetut tulokset

Kaivon vaikutuksesta sisäilman radonpitoisuus on tavallisesti pienentynyt yli 80 % alkuperäisestä arvosta. 400 Bq/m^3 on alittunut yleisesti, vaikka radonpitoisuuden lähtöarvot ovat olleet kaikkein korkeimpia.

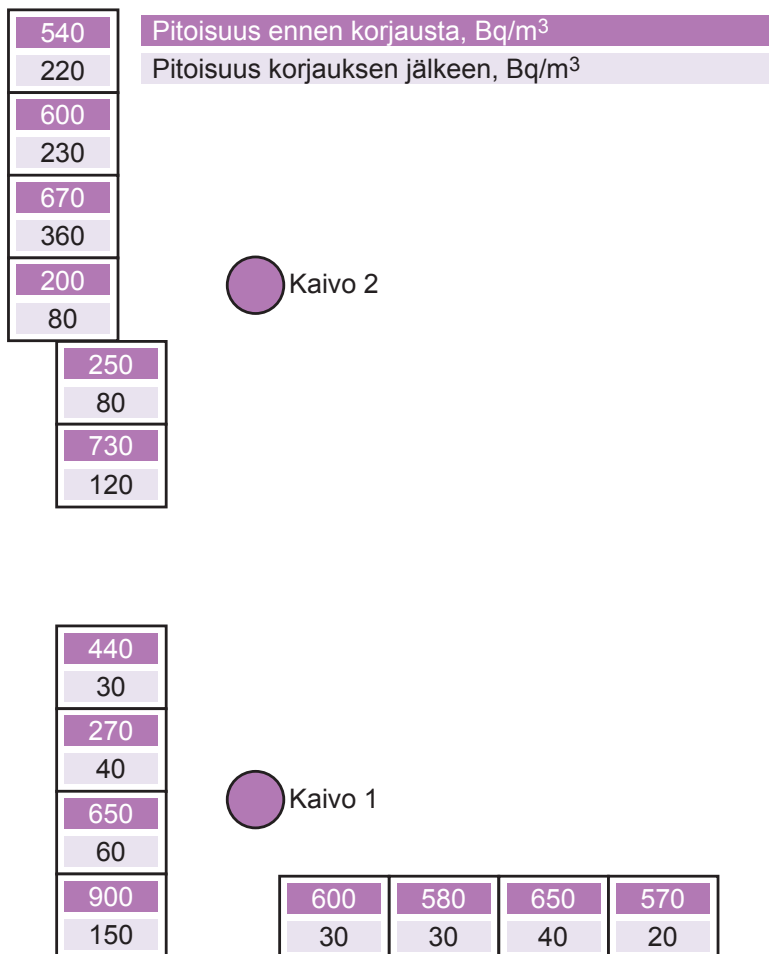
Radonkaivo voi epäonnistua seuraavista syistä:

- Kaivamisvaiheessa 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 lähisöllä maa saattaa jäätyä syvemmälle kuin ennen kaivon toimintaa. Matalalla kulkevat vesijohdot voivat jäätyä aikaisempaa herkemmin. Meluhaittoja voidaan pienentää sijoittamalla poistoilmaputki esim. talon pätyyn ja viemällä putken pää harjakorkeudelle saakka.

5.4 Radonkaivo harjualueella Hollolassa 1

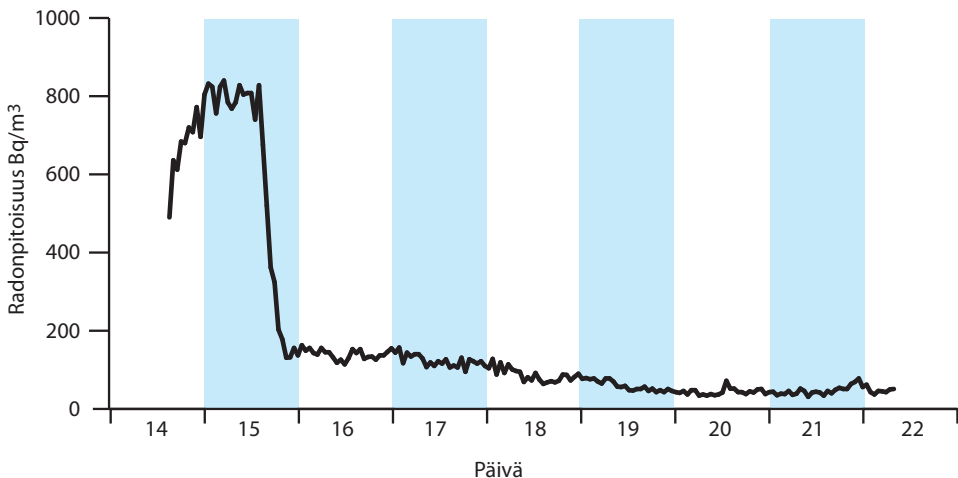
Kuva 5.4 esittää rivitaloyhtiön radonkaivoratkaisua ja tuloksia. Pihamaalle sijoitettiin kaksi radonkaivoa, joiden avulla radonpitoisuus laski merkittävästi kaikissa asunnoissa. Kaivoa 2 rakennettaessa tuli vastaa tiivis maakerros ja kaivo jouduttiin jättämään matalammaksi kuin kaivo 1. Tämän vuoksi tulokset kaivon 2 puolella ovat heikompia kuin kaivon 1 lähistöllä. Imurien tehot ovat 300 W. Ilmavirroiksi mitattiin kaivossa 1 70 l/s (250 m³/h) ja kaivossa 2 40 l/s (140 m³/h).



Kuva 5.4. Rivitaloyhtiön radonkaivojen sijoitus ja radonpitoisuuden muutokset asunnoissa.

Kaivoilla saavutetut tulokset olivat erittäin hyviä. Keskimääräinen pitoisuusalanema 14 asunnossa oli 79 %. Kaivon 2 puutteellinen toiminta heikensi tuloksia. Korkein alenema oli 96 %. Useimmissa asunnoissa pitoisuus laski alle 200 Bq/m³ tasolle ja monissa jopa alle 50 Bq/m³ tasolle. Kaivojen lähistöllä oleva naapuritaloyhtiö hyötyi myös kaivoista ja asensi myöhemmin omia kaivoja, joilla tämän yhtiön kaikkien asuntojen radonpitoisuudet alenivat tehokkaasti.

Kuva 5.5 esittää radonpitoisuuden laskua kaivon 1 lähellä olevassa asunnossa kun kaivo kytkettiin päälle. Radonpitoisuus laskee ensin nopeasti. Tämän jälkeen tapahtuu vielä hitaampaa laskua, joka johtuu siitä, että huokosilman radonpitoisuus alenee seuraavien päivien aikana hyvin laajalla alueella kaivon ympäristössä. Maaperän huokosilman radonpitoisuutta mitattiin yhdessä kohteista. Ennen kaivon käynnistymistä pitoisuus oli 40 000 Bq/m³. Kaivon käynnistyttyä pitoisuus laski neljässä päivässä 50 % ja jatkoi tämän jälkeen edelleen alenemista. Mittausten perusteella radonkaivon toiminta perustuu ensisijaisesti maaperän huokosilman radonpitoisuuden alenemiseen.



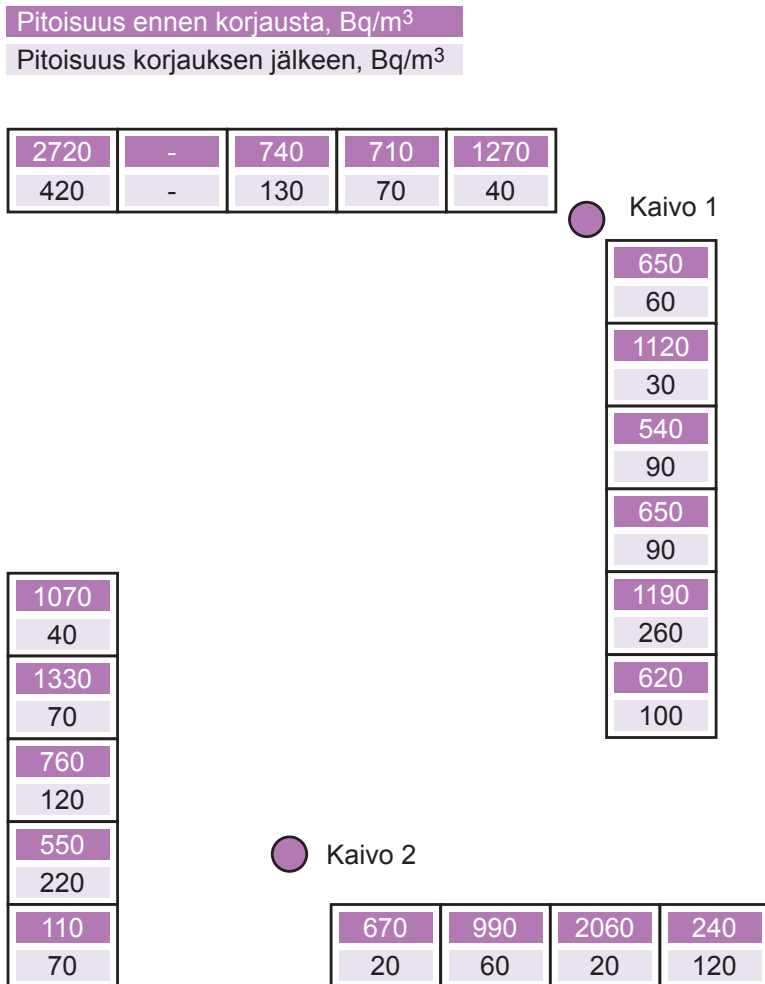
Kuva 5.5. Radonpitoisuuden aleneminen radonkaivon läheisyydessä olevassa asunnossa kaivon kytkemisen seurauksena.

5.5 Radonkaivo harjalueella Hollolassa 2

Kuva 5.6 esittää toisen harjalueella sijaitsevan neljän talon ja 20 asunnon rivitaloyhtiön radonkaivoratkaisua. Tavoitteena oli saavuttaa hyvä pitoisuuden alenema kahdella kaivolla. Kuva 5.7A esittää kaivonrenkaaseen sijoitettua 300 W poistopuhallinta, josta lähtee siirtoputki kohti talon päätyä maan sisällä. Kuva 5.7B esittää radonkaivon kantta ja poistoputkea, joka nousee talon räystäään

vierestä harjakorkeudelle. Lämpöeristetty putki varmistaa sen, että jäänmuodostus ei talvella sulje putkea. Korkea poistoputki siirtää radonpitoisen poistopuhalluksen piha-alueelta ja vähentää äänihaittoja asuntojen edustalla.

Kaivojen syvyys on 3,5 – 4 m. Radonkaivoista mitattiin ilmavirrat 68 l/s (ylempi kaivo, 250 m³/h) ja 58 l/s (210 m³/h). Tulokset olivat hyviä. Keskimääräinen radonpitoisuuden alenema korjausrajan 400 Bq/m³ ylittävissä 17 kohteessa oli 88 %. Paras alenema oli 99 %.



Kuva 5.6. Radonpitoisuuden alenema rivitaloyhtiön 19 asunnossa kahden radonkaivon käyttöönoton jälkeen.



Kuva 5.7. Kaivonrenkaaseen sijoitettu poistopuhallin (B) sekä kaivon kansi ja korkea räystäään yläpuolelle asti ulottuva poistoputki (A).

5.6 Radonkaivo Hyvinkäällä

Radonkorjaus suoritettiin vanhassa soramaalle rakennetussa kellarillisessa paritalossa. Rakennuksen kellaritila on myöhemmin laajennettu asuinkäyttöön, ja tässä yhteydessä on mm. perusmuurirakenteita jouduttu syventämään. Vanhan sokkelin betoni oli huokoista, ja siinä oli useita kaukolämpö-, vesi- ja viemäriputkien läpivientejä. Radonpitoisuudet olivat ennen korjauksia paritaloasuntojen kellarihuoneissa $1\ 300\ \text{Bq/m}^3$ ja $2\ 500\ \text{Bq/m}^3$ ja maanpintatasossa 600 ja $1\ 370\ \text{Bq/m}^3$. Aluksi kohteessa kokeiltiin imua salaojaputkistosta, mutta tämä ei toiminut. Syynä voi olla mm. se, että salaojaputkisto ei ole nykyisellä anturatasolla, vaan ylempänä.

Kohteeseen rakennettiin radonkaivo. Koska tarkoituksena oli ratkaista tämän kiinteistön radonongelma mahdollisimman varmasti, kaivo sijoitettiin keskelle taloa ja lähelle ulkoseinää, kuva 5.8. Radonkaivon syvyys on 4 m, kaivon putki tehtiin alkujaan 6 m pituisesta salaojakaivon tarkastusputkesta, jonka sisähalkaisija oli 270 mm ja ulkohalkaisija 315 mm. Kivipesään laitettiin 6–32 mm sepeliä. Suodatinkankaan ja muovin yläpuolella 2,2 m syvyydessä on ylimääräinen patolevystä tehty tiivistyskerros. Radonkaivoon asennettiin 190 W kanavapuhallin, ja kaivon poistoilmavirta on 50 l/s. Poistoilma siirretään maanalaisella ja lämpöeristetyllä siirtoputkella talon seinän vierestä lähelle katua ja puhalletaan n. 2 m korkeasta pystyputkesta ylöspäin. Poistoilman lämpötilat olivat +9 ja +14 °C välillä, ja usean päivän pakkasjaksollakin (–20 °C) poistoilman lämpö pysyi tasaisesti +9-asteisena.

Talvella tehdyissä tarkistusmittauksissa kellarikerrostilojen radonpitoisuudet olivat 370 ja 210 Bq/m^3 . Radonpitoisuutta tutkittiin myös talon päätyjen lähellä olevissa naapuritaloissa. Tässä tapauksessa radonkaivolla oli pieni vaikutus toisessa päädyssä olevaan naapuritalon radonpitoisuuteen, toisen päädyn naapuritalossa ei havaittu vaikutusta.

Kuva 5.12 esittää radonkaivon toteutusta.



Kuva 5.8. Radonkaivon poistohormi Hyvinkäällä olevan paritalon pihalla.

5.7 Radonkaivo Pispalanharjulla 1

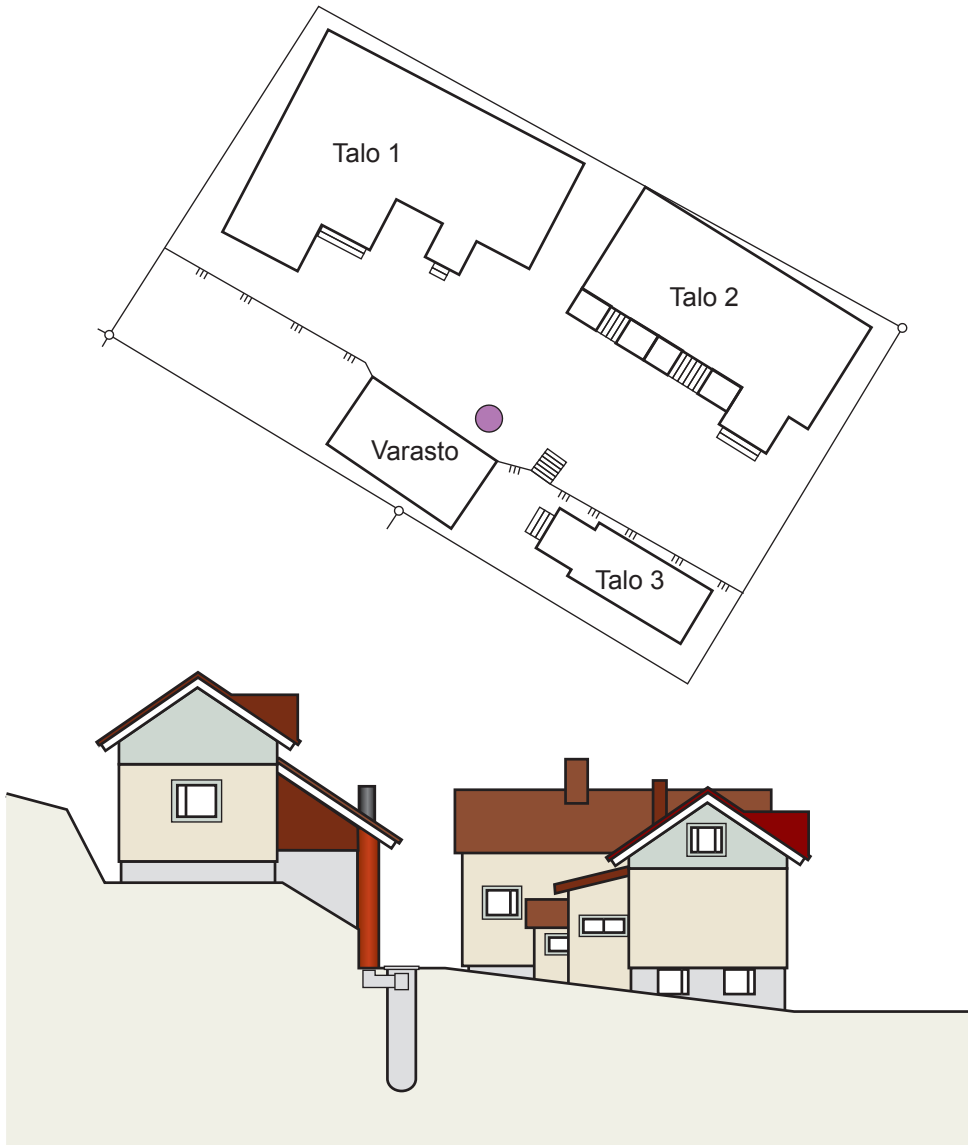
Pispalanharju on sitä ympäröivien järvien pinnasta yli 80 metriä nouseva sora-
muodostuma. Karkea sora sekä korkeassa harjussa tapahtuvat harjun sisäiset
ilmavirtaukset kasvattavat harjun lakialueen ja rinteiden keskiosien asuntojen
radonpitoisuutta merkittävästi (Arvela ym. 1994). Näillä alueilla radonpitoi-
suuden keskiarvo on yli 2 000 Bq/m³. Harjulla sijaitsevan taloyhtiön muodostaa
10 asuntoa, jotka sijaitsevat kolmessa eri rakennuksessa. Kuva 5.9 esittää raken-
nuksia. Yksi taloista on noin 3 metriä ylempänä kuin muut rakennukset. Pihalla
on yhteinen varastorakennus.

Taloyhtiön kaikissa rakennuksissa mitattiin useiden tuhansien Bq/m³
radonpitoisuuksia. Korkeimpia pitoisuudet olivat niissä asunnoissa, joissa on
asuintiloja kahdessa kerroksessa ja alin kerros on perustettu suoraan harju-
soralle.

Radonkorjauksena rakennettiin radonkaivo, joka sijoitettiin varaston
eteen talojen 1 ja 2 väliin, kuva 5.10. Radonkaivon poistopuhaltimen teho on 260
W ja poistoilmavirtaukseksi mitattiin 105 l/s (380 m³/h). Poistohormille raken-
nettiin lämpöeristetty suojuus joka varustettiin myös äänenvaimentimella.

Suurin radonpitoisuuden alenema mitattiin talossa 1 asunnossa, jossa
on asuintiloja myös kellarikerroksessa. Radonpitoisuus aleni asunnossa yli
10 000 Bq/m³:stä 100 Bq/m³:iin talvella tehdyn kuukauden pituisen monitori-
mittauksen perusteella. Toisessa saman talon kellarillisessä asunnossa radon-
pitoisuus laski tasolta 2 500 Bq/m³ tasolle 150 Bq/m³. Kaivon vaikutus
heikkeni talon 2 kaivosta kauimpana olevassa asunnossa. Radonpitoisuus laski
alimman kerroksen työhuoneessa tasolta 8 000 Bq/m³ tasolle 1 500 Bq/m³. Kella-
rikerroksen peruskorjauksen aikana lattian alle oli asennettu radonputkisto.
Tutkimuksessa kytkettiin putkistoon 60 W poistopuhallin, jolloin radonpitoi-
suus laski edelleen niinkin alas kuin 50 Bq/m³.

Radonkaivon vaikutus heikkenee kun rakennuksen korkeusero kaivon
imupesään kasvaa. Talossa 3, jonka perustukset ovat noin kolme metriä korkeam-
malla kuin taloissa 1 ja 2, radonkaivo laski pitoisuutta enää vain 50 %.



Kuva 5.9. Radonkaivon sijainti Pispalanharjulla olevan taloyhtiön pihalla.

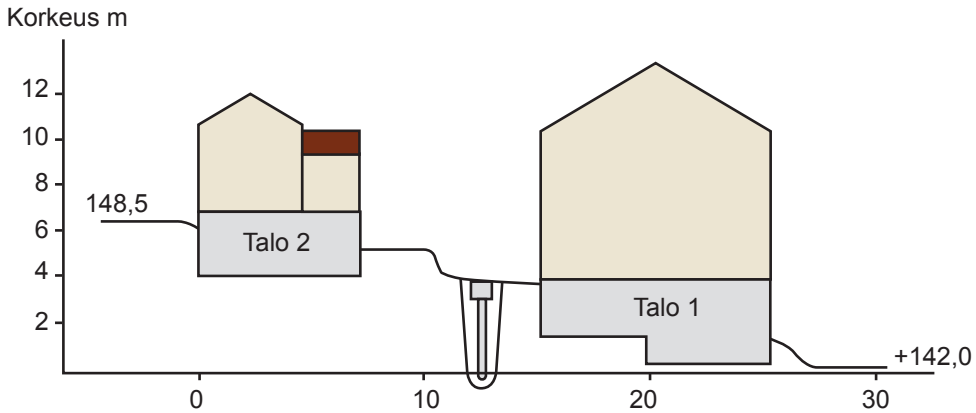


Kuva 5.10. Radonkaivon poistoputki vajan seinustalla Pispalanharjulla.

5.8 Radonkaivo Pispalanharjulla 2

Korjauskohde sijaitsee Pispalanharjun ylärinteellä. Taloyhtiöön kuuluu kaksi rakennusta. Näiden lisäksi seurattiin radonkaivon vaikutusta ympärillä oleviin naapurirakennuksiin. Kuvassa 5.11 näkyy rakennusten välillä oleva suuri korkeusero. Talossa 1 on useita asuntoja kolmessa kerroksessa, talo 2 ja naapuritalo 3 ovat yhden perheen asuntoja. Talo 3 sijaitsee talon 1 linjassa naapuritontilla talon 1 päädyssä. Talojen 1 ja 3 välinen etäisyys on vain kuusi metriä. Talon 2 ulkoseinä on ylärinteen puolella suoraan kapeassa kadussa kiinni. Korjauskohteen radonpitoisuuksia oli mitattu useampaan kertaan, ja talon 2 korkein mitattu radonpitoisuuden kuukauden keskiarvo oli ollut $40\,000\text{ Bq/m}^3$.

Korjausmenetelmäksi valittiin radonkaivo, koska radonpitoisuudet olivat hyvin korkeat, kohteet sijaitsivat hyvin läpäisevällä karkealla soralla, rakennukset olivat vanhoja ja niiden pohjarakenteet olivat hyvin vuotavia. Alimman kerroksen lattiat ovat tässä rakennuksessa osin maapohjaisia ja osin koostuvat useista huokoisista betonilaatoista. Talon 1 pohjarakenne on porrastettu, mikä lisää vuotoreittejä. Tarkoituksena oli ratkaista molempien talojen radonongelma yhdellä kaivolla. Kaivo sijoitettiin talojen väliin 2,5 m päähän talosta 1 ja 5,5 m päähän talosta 2. Pihan muoto ja siellä oleva isoilla kivillä pengerretty terassi vaikeuttivat muunlaista sijoittamista. Kaivon syvyudeksi tuli 4 metriä.



Kuva 5.11. Pispalanharjulla sijaitsevat rakennukset ja radonkaivon sijainti.

Melko tasarakeinen karkea sora aiheutti sen, että kaivettaessa kuoppa alkoi sortua reunoiltaan niin leveäksi, että pelättiin kivipengerryksenkin tulevan alas. Syventäminen olisi onnistunut vain tukemalla kaivantoa.

Radonkaivon huippumuriksi valittiin keskipakopuhallin, jonka moottoriteho on 370 W. Pienemmällä teholla ei saavutettu riittävää radonpitoisuuden alenemaa. Käynnistämisen jälkeen poistoilmavirtaus oli 1 200 m³/h. Kohteessa mitattiin radonkaivon melutaso kaivon ollessa vielä avoin. Metrin päässä kaivosta mitattiin 60 dB(A), ja viiden metrin päässä 52 dB(A). Sisätiloissa mitattiin 26 dB(A) taustan ollessa 25 dB(A). Kaivon käynnistyshetkellä poistoilman radonpitoisuus oli 120 000 Bq/m³.

Radonkaivolle ei pitkään aikaan rakennettu poistoputkistoa ja poistopuhallus tapahtui suoraan maanpintatasoon. Tämän vuoksi mitattiin myös piha-alueella ulkoilman radonpitoisuuksia. Mittauksissa radonkaivon poistoilman radonpitoisuus oli 80 000 Bq/m³. Radonkaivon vieressä ulkoilman radonpitoisuus oli n. 20 000 Bq/m³ ja 11 m päässä kaivosta 220 Bq/m³.

Taulukossa 5.1 on esitetty purkkimittauksilla saadut huoneilman radonpitoisuudet välittömästi ennen radonkaivon rakentamista ja tarkistusmittauksilla saadut radonpitoisuudet seuraavana talvena. Sisäilman radonpitoisuuden alenema kaikissa rakennuksissa oli 93–96 %.

Korjauskohteen rakennuksista radonpitoisuuden pienentäminen onnistui parhaiten talossa 1. Radonkaivo on siihen nähden oikeaoppisesti ylärinteen puolella ja lähes keskellä rakennusta. Talolle 2 kaivon imupiste on liian syväällä, ja radonpitoisuus jäi tasolle 700 Bq/m³ erittäin korkean lähtöpitoisuuden takia. Seurantamittauksissa havaittiin, että radonkaivo vaikutti vain rinteen suunnassa olevaan naapuritaloon 3. Tuloksista voidaan päätellä, että tässä kohteessa radonkaivon vaikutusalue ei ole ympyrä vaan rinteen suunnassa oleva ellipsi.



Kuva 5.12. Radonkaivon kuoppa, sepelitäyttöä, kaivoputken alaosan poraaminen sekä muovin asentaminen sepelitäytön ja suodatinkankaan päälle.

Taulukko 5.1. Radonpitoisuus aleneminen radonkaivon vaikutuksesta Pispalanharjun ylärinteellä.

	Huoneilman radonpitoisuus Bq/m ³	Huoneilman radonpitoisuus Bq/m ³	Radonpitoisuuden alenema
Mittauspaikka	Ei radonkaivoa	Radonkaivo toiminnassa	
Talo 1 as 1	7500	300	96 %
Talo 1 as 2	3000	200	93 %
Talo 2	14000	700	95 %
Talo 3 naapuri	2000	100	95 %

5.9 Porakaivotekniikalla toteutettu radonkaivo

Radonkorjaus suoritettiin soraharjun jyrkälle rinteelle rakennetussa kaksikerroksisessa omakotitalossa. Rakennuksen pohja on L-muotoinen ja pohjapinta-ala on 154 m² ja kokonaispinta-ala kahdessa kerroksessa 308 m². Radonpitoisuus vaihteli ennen korjauksia rakennuksen eri osissa 600 – 1 250 Bq/m³ välillä.

Radonkaivo on suositeltavaa tehdä rinnetalossa ylärinteen puolelle. Rinne oli kuitenkin niin jyrkkä, että normaalia radonkaivoa ei olisi saatu tehtyä kohtuullisin kustannuksin ylärinteelle. Siksi päädyttiin alarinteen puolelta, pieneltä tasaiselta pihalta tehtäviin radonkaivon ja syväimupisteen yhdistelmiin. Putket asennettiin laitteistolla, jota normaalisti käytetään kalliopora-kaivojen teossa (kuva 5.13).

Rakennuksen kummankin siiven alle kairattiin imuputket. Ne kairattiin 40° kulmaan vaakatasoon nähden etuseinän anturan ali, niin että putken alapää jäi rakennuksen alle, lähelle sitä linjaa, mikä saadaan, jos takaseinän perusmuuria jatkettaisiin alaspäin. Imuputken alaosaan asennettiin 2 m matkalle siiviläputkea, jotta alipaine jakautuisi tasaisemmin. Imuputken halkaisija oli 140 mm, putken koko pituus 7 m. Putken alaosa eli siiviläputken pohja oli 4,5 m syvyydessä ja siiviläputken yläosa 3,2 m syvyydessä piha-alueen tasosta.

Putket yhdistettiin pihalla betonisessa kaivonrenkaassa T-haaralla, hieman maanpintatason alapuolella, ja samaan kaivoon asennettiin myös 70 W kanavapuhallin kuvan 5.14 mukaisesti. Poistoilmavirta oli 84 m³/h. Poistoilman lämpötila oli ylimmillään kesällä +14 °C ja alimmillaan talvella +9 °C, kun ulkolämpötila oli alimmillaan –20 °C. Poistoilma ohjattiin maan alle kaivetulla lämpöeristetyllä viemäriputkella kauemmaksi piha-alueelta (kuva 5.15).

Korjauksen jälkeen radonpitoisuudet olivat neljässä mittauspisteessä 40–70 Bq/m³. Radonpitoisuuden alenema oli siten 88–94 %.



Kuva 5.13. Porakaivolaiteisto talon vierellä.



Kuva 5.14. Kahden erillisen imuhaaran liittymä ja kanavapuhallin kaivonrenkaassa.



Kuva 5.15. Radonkaivon lämpöeristetty poistoputki pihamaalla. Myös vaakaosuudet lämpöeristettiin.

6 Rakenteiden tiivistäminen

6.1 Toimintaperiaate

Tiivistäminen vähentää radonpitoisen ilman virtausta maaperästä asuntoon. Pahimpia vuotoreittejä ovat lattialaatan ja seinän välinen rako ja tiivistämättömät läpiviennit. Vuotoilmavirtaus etsii tiivistetyn raon sijasta uuden vuotoreitin. Tämän vuoksi tiivistämisellä saavutettu tulos on usein ollut puutteellinen, jos vuotoreittejä ei ole saatu lähes täydellisesti tiivistettyä. Mitä karkeampaa sora-ainesta tai murskettä lattialaatan alla on, sitä suurempia vaatimuksia asetetaan tiivistystyön laajuudelle ja työn laadulle.

6.2 Toteutus

Radonpitoisen ilman pahimpia vuotoreittejä on käsitelty luvussa 1.2.

Käsiteltävien rakojen on oltava kuivia ja puhtaita. Irrallinen pöly ja betoniaines on poistettava. Tiivistettävää rakoa on tarvittaessa suurennettava ja puhdistettava hyvän kiinnittyvyyden saamiseksi.

Betonisten saumojen tiivistämisessä on seuraavista elastisista saumausaineista hyviä kokemuksia ja soveltuvuutta tukevia tutkimustuloksia:

- polyuretaanipohjaiset saumausaineet (huom. saumausaine kertakäyttöpatruunassa, ei polyuretaanivaaho)
- kuumakumibitumi (käsitellään kuumana)
- vedeneristysmassat.

Läpivientien tiivistämisessä voidaan käyttää useita erityyppisiä aineita, joiden kiinnittyvyys ja kestävyys on kyseisessä tapauksessa riittävä. Saumausaineen valinnassa ja käytössä on huomioitava valmistajan antamat suositukset ja ohjeet.

Saumausaineilta vaaditaan hyvää kiinnittyvyyttä ja elastisuutta. Lattialaatta voi vuosien mittaan painua, jolloin saumauksen tulee pystyä venymään ja pysymään kiinni saumapinnoissa. Raon suurentaminen vähentää saumaan kohdistuvaa rasiitusta. Kahden millimetrin liike merkitsee millimetrin saumassa jo 200 % venymää, kun vastaava venymä kymmenen millimetrin saumassa on vain 20 %. Läpivientien tiivistämisessä ei normaalisti ole tällaisia venymävaatimuksia.

Polyuretaanipohjaiset saumausaineet kiinnittyvät betoniin hyvin, kun aineita käytetään ohjeiden mukaan. Ne kestävät hyvin myös sauman liikkeitä.

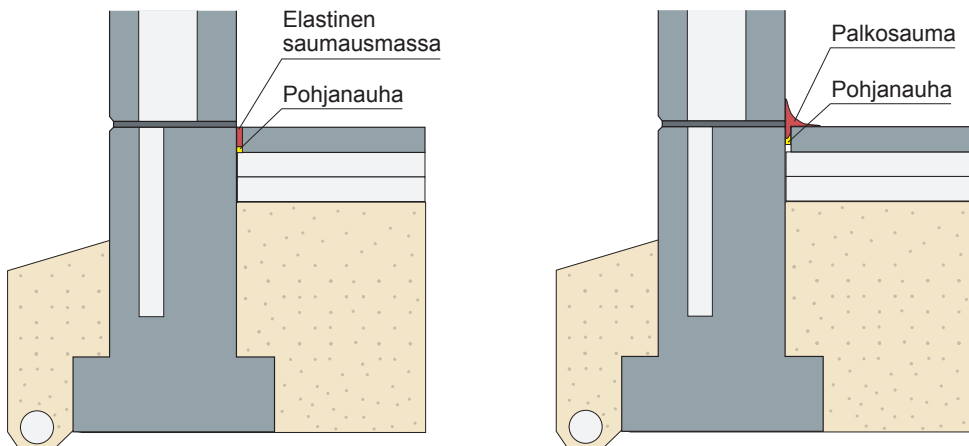
Saumausaineen hyvä kiinnittyvyys voi edellyttää valmistajan ohjeiden mukaista esikäsitelyä (primerit). Saumausaineita on saatavilla kertakäyttöpatruunoissa.

Kuumakumibitumin kiinnittyvyys betoniin ja elastisuus ovat korkeata tasoa. Sen sijaan sen käsittely ei ole helppoa. Kuumakumibitumin käsittely vaatii tulityöluvan. Bitumin tulee olla oikeassa lämpötilassa saumattaessa. Väärä lämpötila heikentää bitumin ominaisuuksia. Kaiken kaikkiaan kuumakumibitumin käyttö on vaikeaa ja vaativaa korjausrakentamisen yhteydessä.

Silikonipohjaisia saumausaineita ei pidä käyttää lattiasaumojen tiivistämiseen, koska ne eivät kiinnity hyvin betonipintaan. Silikonisaumausaineet on tarkoitettu saniteettitilojen saumojen käsittelyyn. Polyuretaanisaumauksessa on käytettävä tarvittaessa valmistajan ohjeiden mukaisia esikäsitteilyaineita.

Kosteuseristemassoja on käytetty menestyksellä lattian ja perusmuurin raon tiivistämiseen. Tämä tiivistysaine on juoksevaa ja se tunkeutuu hyvin pieneen rakoon. Aineita on käytettävä valmistajan ohjeiden mukaisesti. Hyviä tuloksia on saavutettu asentamalla saumaan vahvikenauha kahden käsittelyn välillä. Parhaan tuloksen saavuttamiseksi sokkelin ja lattian välistä rakoa on syytä tarvittaessa avartaa. Kaksikomponenttiset massat ovat suositeltavia, koska ne kuivuvat nopeasti ja tasaisesti sekä pinnalta että syvemältä. Elastinen vahvikenauha (esim. synteettistä kumia) lisää saumauksen kestävyyttä, jos lattialaatta vielä painuu seuraavina vuosina.

Kuva 6.1 esittää erilaisia saumausvaihtoehtoja. Jos tiivistettävä rako on syvä, on siihen syytä asentaa pohjanauha, joka estää sauma-aineen painumisen syvälle ja vähentää sen menekkiä. Kuvan 6.1B mukainen palkosauma on mahdollinen, jos saumalle on tilaa listan alla. Puhdistettujen tartuntapintojen tulee olla kyllin leveät hyvän saumauksen varmistamiseksi.



Kuva 6.1. Sokkelin ja laatan välisen sauman tiivistäminen.

Läpiviennit voivat olla merkittäviä vuotoreittejä. Niiden tiivistämiseen soveltuvat monet erilaiset saumausaineet. Jos asunnon päävesi- tai sähköjohto on tuotu esim. 100 mm putken sisällä lattialaatan läpi (kuva 6.2), on läpivienti-putken pohjalle laitettava ensin täyteainetta, esim. sopivasti leikattu solumuovin palanen. Tämän jälkeen lopullinen tiivistys voidaan tehdä pienellä määrällä elastista saumausainetta. Kuva 6.7 esittää ohuella tasoitemassalla suoritettua vesijohtoryhmän läpiviennin tiivistystyötä.



Kuva 6.2. Tiivistämätön päävesijohdon läpivienti.

Jo alle 0,1 mm levyinen betonilaatan läpi menevä halkeama lisää huokosilman virtausta laatan läpi. Halkeamien tiivistämiseen sopii hyvin injektioepoksi (kaksikomponenttinen epoksimuovia), joka painepuristettuna tunkeutuu jo 0,01 mm leveään rakoönkin. 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 1.3). Perusmuuri tiivistetään ohutrappauksella lattiasta välipohjaan saakka. Ohutrappaus alentaa harkon ilmanläpäisykykyä erittäin merkittävästi. Harkkoseinän tiivistämistä voivat vaikeuttaa ainakin seuraavat seikat:

- Harkkoseinässä ilma voi päästä liikkumaan myös pystysuunnassa. Seinän ulkopuolelta tai alaosista tuleva radonpitoinen ilma pääsee sisätiloihin seinän yläpinnan kautta.
- Rapatunkin harkon läpi pääsee jossain määrin radonia diffundoitumalla.

Tämän vuoksi uudisrakentamisessa suositellaan maanvastaisten seinien pinnoittamista ulkopuolisella bitumikermillä. Kermi myös varmistaa että seinään ei jää ilman virtausta mahdollistavia aukkoja.

Saumausaineiden valmistajien ohjeissa voi olla tässä luvussa esitetystä poikkeavia mutta hyviä ja toimivia ohjeita.

6.3 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. Seinärakenteista radonpitoinen ilma virtaa sisätiloihin. Tavallisesti nämä vuodot ovat merkittäviä, eikä laatan ja seinän välisen raon tiivistäminen tuota haluttua tulosta. Sen sijaan valubetonista tehdyn sokkelin ja lattialaatan välisen raon tiivistämiseen on hyvät edellytykset – mikäli rakoon päästään käsiksi.

Säteilyturvakeskuksen kyselytutkimuksen (luku 2) mukaan 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. Viime vuosina on saavutettu laajamittaisilla vedeneristysmassalla tehdyillä korjauksilla yli 50 % alenemia. Myös useissa erillistapauksissa, joissa tiivistämätön läpivienni on ollut merkittävä vuotoreitti, on saavutettu yli 50 % tuloksia.

Uusissa pientaloissa laatan ja sokkelin välinen liitos tiivistetään ohjeiden mukaisesti bitumikermillä (luku 14). Tiivistämättömät läpiviennit voivat tällöin olla merkittävin vuotoreitti. Joissakin kohteissa on saavutettu 50–90 % alenemia yhden ainoan merkittävän läpiviennin tiivistämisellä.

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/m³ radonpitoisuuksia. Saavutetut radonpitoisuuden alenemat vaihtelevat 20 ja 80 %:n välillä.

Luvussa 10 on esitetty tuloksia kerrostaloissa suoritetuista tiivistyskorjauksista.



Kuva 6.3. Epäonnistunut tiivistäminen, jossa lattialistan alla olevaa saumattavaa rakoa ei avarrettu ja puhdistettu.



Kuva 6.4. Vuotavan lattiarakon tiivistäminen vedeneristysmassalla ja -nauhalla.



Kuvat 6.5. Vedeneristysmassalla tehty tiivistystyö väliseinän sisällä. Kuvassa perusmuurin ja laatan välissä oleva solumuovinen eristysnauha ei estä radonpitoisen ilman vuotoja.

6.4 Esimerkkejä tiivistämisestä

Lattialaatan ja sokkelin välisen raon tiivistäminen vaatii huolellista valmistelua ja toteutusta. Kuva 6.3 esittää epäonnistunutta tiivistämistä, jossa lattialaatan alla olevaa saumattavaa rakoa ei avarrettu eikä puhdistettu.

Vedeneristysmassalla on tehty onnistuneita tiivistyskorjauksia. Kuva 6.4 esittää korjausta, jossa puhdistettuun ja avarrettuun saumaan on ensin laitettu vedeneristysmassaa. Sen jälkeen saumaan on laitettu vahvikenauha, jonka päälle on taas sivelty vedeneristysmassaa. Hyvän tuloksen saavuttamiseksi työ tuli ulottaa myös kevytrakenteisen seinän sisään avaamalla seinä ja poistamalla seinän tukirankaa, kuva 6.5. Kuvassa näkyvä laatan ja perusmuurin välissä oleva solumuovinen eristyskaista ei estä radonpitoisen ilman vuotoja. Kuvien esittämässä huoneessa radonpitoisuus aleni useita satoja Bq/m³ ja radonpitoisen ilman vuodot saatiin lopetettua kokonaan.

Kuvan 6.6 kohteessa on tehty koko asunnon kattava tiivistystyö vedeneristysmassalla. Pientaloon oli asennettu lattialaatan alle radonputkisto uudisrakentamisen yhteydessä (luku14). Radonputkistoon kytkettiin poistopuhallin. Erittäin karkeiden täyttöjen vuoksi laatan alle ei kuitenkaan saatu riittävää alipainetta kohtuullisilla ilmavirroilla. Imurin toimintaa jouduttiin tehostamaan kattavilla tiivistystöillä.



Kuva 6.6. Vedeneristysmassalla ja vahvikenauhalla suoritettu kaikkien lattiasaumojen tiivistäminen pientalokohteessa. Erittäin karkeiden täyttöainesten johdosta radonimuri ei toiminut kohteessa halutulla tavalla.



Kuva 6.7. Tiivistämätön läpivienti pientalossa vesijohtojen jakotukin yhteydessä. Suojaputkien välistä oli suora yhteys lämmöneristeeseen ja täyttösoraan (A). Tiivistystyö suoritettiin erittäin juoksevilla tasoitemassalla (B).

Kuvan 6.7 kohteessa lattialaatan ja sokkelin välinen sauma oli tiivistetty onnistuneesti jo rakennusvaiheessa. Vaatehuoneen ja olohuoneen välisen seinän sisällä oli vesijohtojen suojaputkien tiivistämätön läpivienti. Suojaputkien välistä oli suora yhteys laatan alapuolelle. Tiivistämistyö suoritettiin juoksevilla tasoitemassalla. Työn tuloksena olohuoneen radonpitoisuus laski tasolta 600 Bq/m^3 tasolle 60 Bq/m^3 . Kohteessa on lattialaatan alla karkeata sepeliä, joka kasvattaa vuotovirtauksen suureksi jo yhdestäkin tiivistämättömästä aukosta.

7 Ryömintätilaiset rakennukset

Ryömintätilaista perustustapaa (kuva 7.1) kutsutaan myös tuulettuvaksi alapohjaksi. Lattiarakenteet lepäävät perusmuurien varassa eivätkä suoraan maan päällä, kuten maanvaraisen laatan tapauksessa. Jos alapohja on tehty puusta, kutsutaan rakennetta myös rossipohjaksi. Maaperässä oleva radonkaasu kasvattaa myös lattiarakenteiden alla olevan ryömintätilan ilman radonpitoisuutta.

Ryömintätilaisissa rakennuksissa radonpitoisuudet ovat keskimäärin kaikkein alhaisimpia. Enimmäisarvojen 200 Bq/m³ ja 400 Bq/m³ ylityksiä esiintyy kuitenkin, erityisesti rakennuksissa, joissa sekä ryömintätilan ilmanvaihto että alapohjan tiiviys ovat puutteellisia. Alapohjassa olevien rakojen ja aukkojen kautta voi ryömintätilasta siirtyä huomattavia määriä ilmaa asuintiloihin.

7.1 Toimintaperiaate

Radonkorjaukset perustuvat joko ryömintätilan ilmanvaihdon parantamiseen tai alapohjan ilmavuotojen vähentämiseen tai molempiin samanaikaisesti. Ryömintätilan ilmanvaihdon parantamisella vähennetään ryömintätilan ilman radonpitoisuutta. Tällöin alapohjan läpi tapahtuvien ilmavuotojen vaikutus sisäilman radonpitoisuuteen vähenee.

7.2 Toteutus

Ryömintätilaisissa taloissa on keskimäärin pienempi radonpitoisuus kuin muulla tavalla perustetuissa taloissa. Ryömintätilassa maaperästä tulevan huokosilman korkea radonpitoisuus alenee ennen kuin ilma siirtyy asuntoon. Seuraavat tekijät voivat kuitenkin nostaa radonpitoisuuksia myös ryömintätilaisessa asunnossa:

- Ryömintätilan seinät ovat tiiviit, tuuletusaukkoja on liian vähän.
- Ryömintätilan tuuletusaukot suljetaan talveksi.
- Ryömintätila on matala.
- Asunnon alapohjassa on tiivistämättömiä aukkoja.
- Asunnon alapohja läpäisee kauttaaltaan hyvin ilmaa.

Ryömintätilan ilmanvaihtoa voi tehostaa aukaisemalla ryömintätilan tuuletusluukut ja venttiilit. Eläinten kulkeminen aukoista estetään verkoilla. Jos aukkojen määrä tai koko ei ole riittävä, on niiden lukumäärää tai kokoa kasvatettava. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa C2, Kosteus, (Ympäristöministeriö 1998) antaa seuraavia ohjeita ryömintätilan tuuletuksen järjestämisestä:

”Ryömintätila tuuletetaan yleensä sokkelin tuuletusaukkojen tai -putkien kautta ulkoilmaan. Ryömintätila voidaan tuulettaa myös koneellisesti tai painovoimaisesti esimerkiksi katolle vietävien tuuletusputkien kautta. Ryömintätilaan ei saa muodostua umpinaisia, väliseinien tai palkkien erottamia tuulettumattomia tiloja.

Ryömintätilan tuuletusaukkojen yhteispinta-alan tulee olla ainakin 4 promillea ryömintätilan pinta-alasta. Tuuletusaukon pinta-alalla tarkoitetaan suojaavan ritilän tai säleikön vapaata pinta-alaa. Tuuletusaukot jaetaan tasaisesti ulkoseinälinjalle siten, että koko ryömintätila tuulettuu. Aukkojen alareunan on oltava vähintään 150 mm maanpinnan yläpuolella, mutta mahdollisuuksien mukaan tätä korkeammalla. Aukkojen vähimmäiskoon on oltava 150 cm² sekä enimmäisvälin 6 m. Ryömintätilassa oleviin väliseiniin ja tilaa osastoihin palkkeihin tehdään vastaavat, mutta vähintään kaksi kertaa niin suuret tuuletusaukot kuin samalla virtausreitillä olevat ulkoilmaan avautuvat aukot.”

Ryömintätilan tuuletus toimii hyvin tuulisella säällä, kun taas tyynellä säällä ilma ryömintätilassa voi olla hyvin seisovaa. Tuulettimen käytöllä parannetaan tuloksia merkittävästi. Tuuletuksen järjestämiseksi voi käyttää kuvan 7.1 mukaisia järjestelyjä. Jos ryömintätilan pohjalla käytetään kosteuseristettä, se saattaa alentaa myös ryömintätilan radonpitoisuutta. Kosteuseristykseen käytöstä on vaihtelevia kokemuksia, se saattaa aiheuttaa myös homehtumista eristeen alapuolella. Ohjeita ryömintätilan kosteuden hallinnasta ja kosteuseristykseen suunnittelusta on annettu edellä mainitussa Rakentamismääräyskokoelman osassa C2.

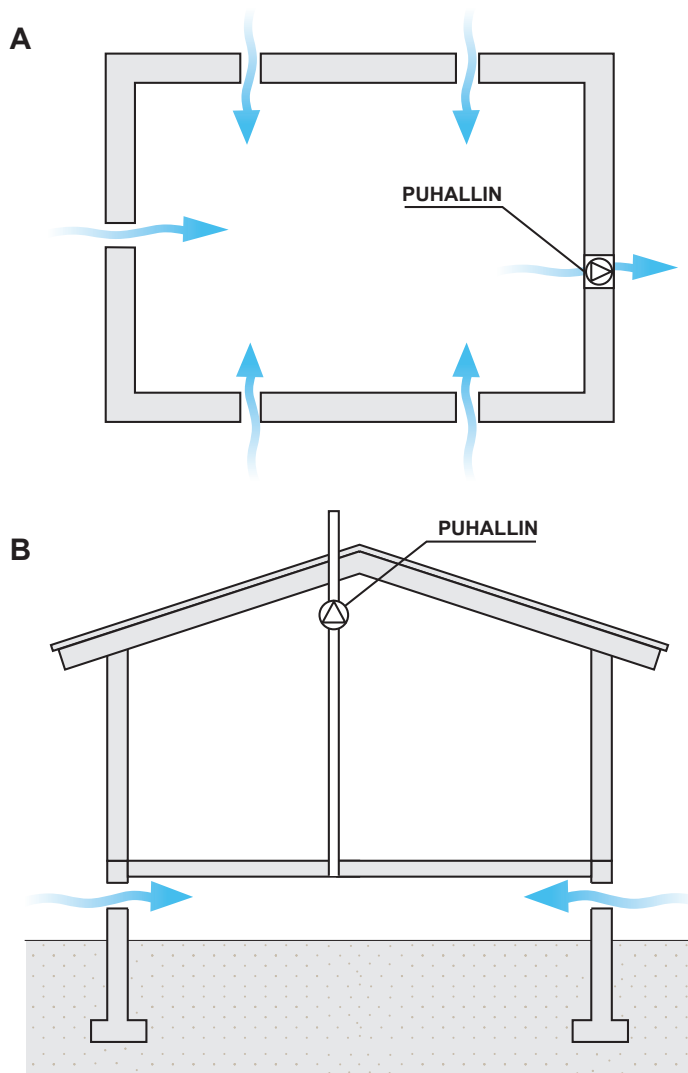
Seuraavat seikat on huomioitava tuuletusta järjestettäessä:

- Lisääntynyt ryömintätilan ilmanvaihto talvella vaikuttaa lattian kylmyyteen.
- Tuulettamalla ei saa aiheuttaa ryömintätilaan alipainetta. Alipaineen muodostumisen estämiseksi ulkoilma-aukkojen tulee olla riittävän suuria. Korjaus ei saa johtaa siihen, että asunnon kostea ilma siirtyy lattiarakenteisiin ja aiheuttaa kosteusvaurioita ja myöhemmin homevaurioita.
- Tuuletuksen suunnittelussa ja toteutuksessa on tarvittaessa käännettävä rakennusalan ammattilaisten puoleen kosteus- ja lämpötekniisten asioiden huomioimiseksi.

7.3 Tulokset

Ryömintätilan tuuletuksen vaikutuksesta on esitetty tulosten yhteenveto kahdeksasta kohteesta STUKin aikaisemmassa radonkorjausoppaassa (Arvela 1995b). Ryömintätilan tuuletusta parantamalla radonpitoisuus on alentunut 78 %:ssa

kohteista yli 50 %, parhaissa tapauksissa 80–90 %. Radonpitoisuuden keskiarvo kohteissa ennen korjausta oli 1 600 Bq/m³ ja korjauksen jälkeen 600 Bq/m³. Kohteiden vaativuudesta kertoo se, että puolessa tapauksista radonpitoisuus on ollut korjauksen jälkeen vielä yli 400 Bq/m³. Tuuletusaukkojen lisääminen ja avaaminen ovat olleet käytetyin menetelmä. Myös kuvan 7.1B mukaista passiivista tuuletushormia on käytetty. Hormiin on vain harvoin liitetty puhallin. Tulokset paranisivat useissa tapauksissa puhaltimen lisäämisellä.



Kuva 7.1. Ryömintätilan koneellinen tuuletus; tuuletin asennettu sokkeliin (A) ja katolle vievään poistoputkeen (B).

8 Asuintilojen ilmanvaihtotekniset korjaukset

8.1 Toimintaperiaate

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

8.2 Toteutus

Hyvä ilmanvaihto vaikuttaa koko asunnon viihtyisyyteen ja terveellisuuteen. Samalla se estää kosteus- ja homevaurioita rakenteissa. Hyvä ilmanvaihto pitää kaikkien sisäilman epäpuhtauksien pitoisuudet alhaalla. Rakentamismääräysten mukaan asunnon ilman tulisi vaihtua kerran kahdessa tunnissa. Ilmanvaihdolle asetettuja vaatimuksia ja ilmanvaihdon merkitystä radonpitoisuuteen on tarkasteltu luvussa 1.4. Ilmanvaihto on läheisesti kytköksissä asunnon alipaineisuuteen, jonka merkitystä on tarkasteltu luvussa 1.5.

Asunnon ilmanvaihtojärjestelmä ja sen toiminta tulee tarkistaa ennen radonkorjaukseen ryhtymistä. Ilmanvaihdon tarkistamista on käsitelty luvussa 3.4. 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.

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.

Koneellinen ilmanvaihto takaa riittävän ilmanvaihtuvuuden vain oikein suunniteltuna ja käytettynä. Koneellinen ilmanvaihto on suunniteltu jatkuvasti käytettäväksi.

Jos mitattu radonpitoisuus on yli 800 Bq/m³ 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/m³.

Ilmanvaihdon parantamisesta on annettu yleisiä ohjeita Asumisterveysoppaassa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009). Näitä ohjeita on hyödynnetty myös tässä luvussa.

Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen

Painovoimaista ilmanvaihtoa voi tehostaa asentamalla ulkoilmaventtiileitä tai aukaisemalla poisto- ja ulkoilmaventtiilit suurempaan asentoon. Painovoimaisten hormien puhdistus tai venttiilien vaihtaminen avarampiin saattavat tehostaa ilmanvaihtoa. Lisäämällä poistoilmahormien korkeutta tai hormien virtauspoikkipinta-alaa voidaan myös tehostaa ilmanvaihtoa. Usein korkeuden säätö ei ole mahdollista. Sen sijaan uusien hormien lisääminen on joskus tarpeen ja mahdollista. Painovoimaisen ilmanvaihdon puutteita on usein se, ettei ulkoilmaa tule kaikkiiin huoneisiin. Kaikissa makuu- ja olohuoneissa on oltava ulkoilmaventtiilit.

Koneellisen poistoilmanvaihdon tehostaminen

Liian pieni poistoilmavirta voi aiheutua siitä, että poistoilmapuhallin ei toimi tai siitä että puhallinta ei tarkoituksellisesti käytetä. Puhaltimen käyttönopeus voi myös olla liian alhainen. Yleinen syy ilmanvaihdon pienuuteen on väärä ilmanvaihdon käyttöaika ja -teho. Koneellista ilmanvaihtoa ei tule kytkeä pois päältä kokonaan.

Toinen syy koneellisen ilmanvaihdon pienuuteen voi olla se, että ulkoilmaventtiileitä ei ole kaikissa huoneissa. Makuuhuoneissa tulisi olla ulkoilmaventtiilit sekä ovirako joka mahdollistaa ilman siirtymisen muiden tilojen kautta pesu- ja muihin tiloihin, joissa on poistoilmaventtiileitä.

Koneellisen poistoilmanvaihdon ulkoilmaventtiilien avaaminen ja lisääminen vaikuttaa alentavasti radonpitoisuuteen. Tuloilmareittien lisääminen kasvattaa ilmanvaihtuvuutta ja alentaa asunnon alipaineisuutta. Alipaineisuuden aleneminen pienentää myös radonpitoisen ilman virtausta maaperästä asuntoon. Korvausilmaventtiilien asentamisella on saavutettu yli 50 % alenemia tiivisrakenteisissa koneellisen ilmanvaihdon asunnoissa, joissa ilmanvaihdon taso on ollut heikko.

Poistopuhaltimen pyörimisnopeuden kasvattaminen ei monestikaan alenna radonpitoisuutta. Poistoilmavirtojen kasvattaminen parantaa ilmanvaihtuvuutta, mutta samanaikaisesti myös asunnon alipaineisuus kasvaa. Siksi kokonaisvaikutus radonpitoisuuteen voi jäädä alhaiseksi. Ongelmallisimpia ovat erittäin tiivisrakenteiset asunnot, esim. betonielementeistä tehdyt rivitaloasunnot tai kerrostalojen alimman kerroksen asunnot. Säteilyturvakeskuksen tutkimissa kohteissa on havaittu myös radonpitoisuuden kasvua kun poistopuhaltimen käyttötehoa on kasvatettu. Näissä tapauksissa ilmanvaihtoa on käytettävä riittävällä mutta ei liian suuren teholla. Radonkorjausta on tehostettava tarvittaessa muilla menetelmillä.

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon tehostaminen

Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla varustetuissa taloissa ilmanvaihtuvuus on tavallisesti hyvää tasoa. Riittämätön ilmanvaihto johtuu useimmiten siitä, että puhallin ei lainkaan pyöri tai sitä käytetään liian alhaisella teholla. Toinen syy ilmanvaihdon riittämättömyyteen voi olla ilmavirtojen epätasainen jakautuminen huoneiden välillä. Tämä voidaan korjata perussäätämällä ilmavirrat tulo- ja poistoilmaventtiileitä ja säätöpeltejä käyttäen. Tukkeutunut suodatin voi heikentää järjestelmän toimintaa ja kasvattaa asunnon alipaineisuutta. Järjestelmän ulkoilmasäleikön verkko ja suodattimet on puhdistettava säännöllisesti valmistajan ohjeiden mukaisesti.

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon kokonaistuloilmavirta sekä kokonaispoistoilmavirta on 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. Ilmavirtojen säädön suorittaa alan ammattilainen.

Koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen

Uuden koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen yksin radonpitoisuuden alentamiseksi on harvinaista. Tavallisesti samassa yhteydessä tehdään myös asunnon ilmanvaihdon peruskorjaus, koska asunnon kokonaisilmanvaihto toimii puutteellisesti. Parhaat edellytykset radonpitoisuuden alentamiseen ilmanvaihtoteknisillä toimilla onkin tilanteissa, joissa ilmanvaihtuvuus alkutilanteessa on selkeästi liian alhainen tai asunnon alipaineisuus on merkittävän korkea. Alipaineisuuden merkitystä on tarkasteltu luvussa 1.5.

Asennettaessa koneellista poistoilmanvaihtojärjestelmää tulee asentaa riittävä määrä ulkoilmaventtiileitä. Venttiilien tulee olla portaattomasti säädettäviä ulkoilman hallitun virtauksen aikaansaamiseksi. Ulkoilmaventtiilejä on sijoitettava kaikkiin makuu- ja olohuoneisiin. Venttiilin oikea paikka on lämpöpatterin yläpuolella, jolloin kylmä ilmavirta sekoittuu patterista nousevaan lämpimän ilman virtaukseen. Vedontuntemuksen välttämiseksi voi vaihtoehtoisesti harkita ns. tuloilmalämmittimen asentamista. Radonvuodon pienentämiseksi tuloilmalämmitin kannattaa sijoittaa mahdollisimman alas. Tällöin vuodon aiheuttava alipaine pienenee eniten.

Korjaustulokset osoittavat että poistoilmanvaihtojärjestelmän asentamisella saavutetut radonpitoisuuden alenemat ovat melko alhaisia ja vain poikkeustapauksissa yli 50 %. Radonpitoisuus pysyy usein lähes ennallaan, koska alipaineisuuden kasvu vähentää parantuneen ilmanvaihdon vaikutusta.

Uuden koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon asentaminen on kallis toimenpide. Kun arvioidaan sen mahdollisesti tuottamaa radonpitoisuuden alenemaa, on tunnettava hyvin ilmanvaihtuvuus ja asunnon alipaineisuus lähtötilanteessa. Radonpitoisuuden kannalta on tärkeitä että alan ammattilainen säätää kokonaistulo- ja -poistoilmavirran ohjeiden mukaisesti.

Alipaineisuuden vähentäminen

Alipaineongelmat ovat merkittävimpiä koneellisen poistoilmanvaihdon asunnoissa ja erityisesti tiivisrakenteisissa taloissa. Betonielementeistä tehdyissä pien- tai rivitaloissa on ongelmia esiintynyt yleisimmin. Alipaineisuutta voidaan vähentää avaamalla ulkoilmaventtiileitä tai asentamalla niitä tarvittaessa lisää. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon asunnoissa alipaineisuuteen vaikuttaa järjestelmän ilmavirtojen säädöt.

Tiivisrakenteisissa pientaloissa alipaineongelma on samanlainen kuin kerrostalojen alimmissa kerroksissa. Kerrostaloista saatuja kokemuksia (luku 10) voidaan soveltaa myös pientaloihin.

8.3 Tulokset

Ilmanvaihdon tehostamisella on tyypillisesti saavutettu 10–40 % radonpitoisuuden alenemia (luku 2). Monessa tapauksessa vaikutus on ollut niin vähäinen, ettei radonpitoisuudessa näy normaalista vaihtelusta erottuvaa muutosta.

Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen on toteutettu avaamalla olemassa olevia venttiileitä tai lisäämällä uusia ulkoilmaventtiileitä. Usein ulkoilmaventtiileitä on lisätty huomattava määrä 4–6 kpl. Hormien nuohous ja ovien alaosassa olevien tuuletusrakojen lisääminen kuuluvat myös toimenpiteisiin.

Koneellisen poistoilmanvaihdon tehostaminen on toteutettu asentamalla uusia ulkoilmaventtiileitä, ryhtymällä käyttämään kokonaan pysähdyksissä ollutta puhallinta tai lisäämällä käyttöaikaa ja käyttötehoa. Joskus olemassa olevat ja tukkeutuneet ulkoilmaventtiilit on puhdistettu. Uusien venttiilien määrä on usein ollut merkittävä esim. 3–6 kpl. Vaihtoehtoisesti on myös poistettu 20 cm matkalta sisemmän ikkunan tiivisteitä ikkunan yläpuolelta. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa on tärkeitä, että pesutiloissa ja makuutiloissa on oven alla oviraot. Ovirakoja on lisätty joissakin tapauksissa.

Ulkoilmaventtiilien asentaminen tiivisrakenteisiin pientaloasuntoihin on usein auttanut merkittävästi. Erityisesti betonielementtirakenteisissa kerrostaloissa ja pientaloissa, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto, on saavutettu hyviä tuloksia. Ulkoilmaventtiilien asennuksella ei kuitenkaan normaalisti

saavuteta yli 50 % alenemia. Nämä ovat mahdollisia, jos asunnon ilmanvaihdon lähtötaso on huono.

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon tehostamisessa keskeisiä toimenpiteitä ovat olleet tavallisesti siirtyminen jatkuvaan käyttöön ja käyttötehon kasvattaminen. Toimenpiteiden joukkoon kuuluu myös koko hormiston puhdistaminen ja epäkuntoisen keskusyksikön perushuolto.

Parhaat tulokset on saavutettu asentamalla uusi koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä huonosti toimivan painovoimaisen ilmanvaihdon taloon. Radonpitoisuus on tavallisesti pienentynyt 20–50 % lähtötilanteesta. Mitä ilmeisimmin kohteissa, joissa alenema on ollut suurin, myös ilmanvaihdon taso on ollut lähtötilanteessa heikoin. Koneellisen poistoilmanvaihdon asentamisella on saavutettu selvästi heikompia tuloksia. Tyypilliset alenemat ovat 10–40 %.

Uuden ilmanvaihtojärjestelmän asentamisella saavutettaviin tuloksiin vaikuttaa voimakkaasti ilmanvaihto- ja alipaineisuustilanne ennen radonkorjausta. Uuden ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen on kallis toimenpide. Tämän vuoksi on tilanne arvioitava huolellisesti ennen korjaustavan valintaa – varsinkin, jos ainoa peruste valinnalle on radonpitoisuuden alentaminen. Yleensä valintaan on päädytty tilanteessa, jossa samanaikaisesti halutaan uudistaa asunnon heikosti toimivaa ilmanvaihtoa. Radonimuri ja radonkaivo ovat ensisijaisia ja keskimäärin tehokkaampia ja halvempia korjausmenetelmiä.

8.4 Ulkoilmaventtiilien asennus, Helsinki

Helsinkiläisen paritaloyhtiön 14 asunnosta neljässä radonpitoisuus ylitti enimmäisarvon 400 Bq/m³. Muissa asunnoissa pitoisuus oli 100–400 Bq/m³. 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 ulkoilmaventtiilit. Venttiilien aiheuttama alipaineisuuden pieneminen ja ilmanvaihtuvuuden kasvaminen alensivat radonpitoisuuksia 30–40 %. Kolmessa asunnossa suoritettiin lisäksi lattialaatan ja sokkelin välisen sauman tiivistämistä polyuretaani-saumaaineella. Tiivistämisen johdosta radonpitoisuus aleni selvästi vain kahdessa asunnossa kolmesta. Asuntoon, jossa tiivistäminen ei auttanut sekä toiseen asuntoon, jossa ulkoilmaventtiilien asentamisen jälkeen pitoisuus oli vielä yli 600 Bq/m³, asennettiin lisäksi radonimuri, jolloin radonpitoisuus näissä aleni selvästi 200 Bq/m³ alapuolelle. Kuva 4.1 esittää imurin vaikutusta toisessa asunnossa.

8.5 Alipaineisuus radonimurikohteessa, Keski-Uusimaa

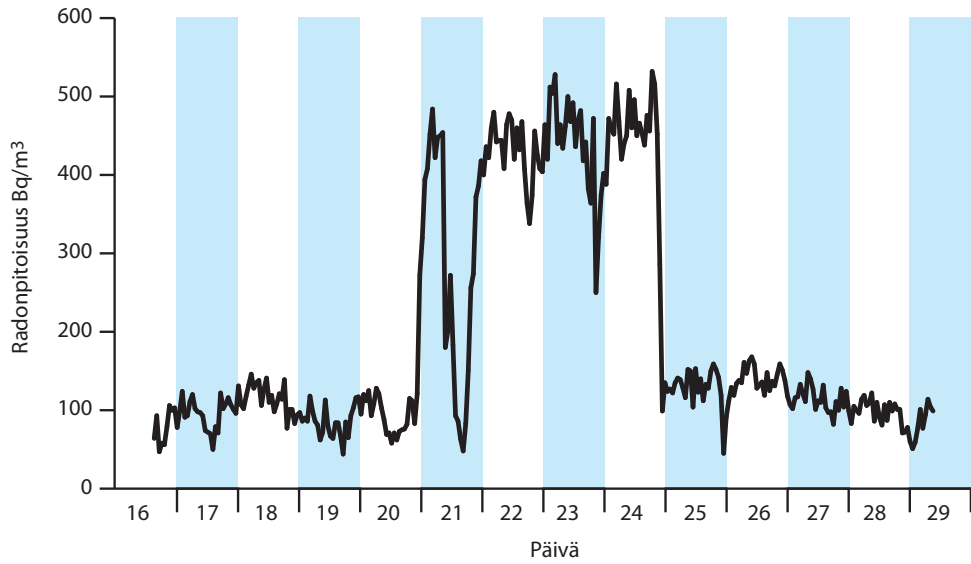
Alipaineisuuden vaikutusta ja tyypillisiä alipainetasoja pientaloissa on tarkasteltu luvussa 1.5. Seuraava esimerkissä alipaineisuuden merkitys tulee erityisen voimakkaasti näkyviin. Tutkimuskohde on kaksikerroksinen paritaloasunto, jonka pohjapinta-ala on 45 m² ja asuinpinta-ala kahdessa kerroksessa on 90 m². Asunnossa on koneellinen poistoilmanvaihto, jossa on neliasentoinen tehonsäätö. Asunnossa mitattiin alipainetaso alakerran tuuletusikkunan kautta sekä poistoilmanvaihdon kokonaisilmavirtaus katolla olevasta poistopuhaltimesta. Tulokset on esitetty taulukossa 8.1.

Koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetuissa asunnoissa alipainetasot ovat tyypillisesti 4–10 Pa (pascalia) normaaleilla ilmanvaihdon käyttöasunnoilla. Mitatut tulokset ilmanvaihdon tehoilla 1 ja 2 ovat tällä alueella. Asunnon seinät ja katto ovat betonielementtejä jotka ovat hyvin tiiviitä. Tiiviys näkyy alipaineen kaksinkertaistumisena kun ulkoilmaventtiilit suljetaan. Kuva 10.2 esittää käytettyä ulkoilmaventtiilityyppiä. Asunnon tilavuus on 225 m³. Mitatut ilmavirrat ilmanvaihdon asennoilla 1 ja 2 vastaavat ilmanvaihtuvuuksia 0,43 ja 0,70 1/h. Nämä ovat molemmat hyvää tasoa, kun suositusilmanvaihtuvuus on 0,5 1/h.

Kohteessa suoritettiin radonmittaus, jonka aikana ulkoilmaventtiilit olivat osan aikaa suljettuina. Kuva 8.1 esittää tuloksia. Venttiilien ollessa kiinni radonpitoisuus oli noin 400 Bq/m³ ja venttiilien ollessa auki vain 100 Bq/m³. Taulukon 8.1 mukaisesti alipaine asunnossa kasvaa yli kaksinkertaiseksi, kun venttiilit suljetaan. Suuri muutos radonpitoisuudessa johtuu siitä, että lattialaatan alla on radonimurin aiheuttamana alipaine alakerran huonetilaan nähden. Tämä radonimurin aiheuttama alipaine kilpailee asunnon oman alipaineisuuden kanssa. Ulkoilmaventtiilien ollessa kiinni asunnon oma alipaineisuus on selkeästi suurempi ja kasvattaa radonpitoisen ilman virtauksia maaperästä sisätiloihin.

Taulukko 8.1. Alipainemittaukset ilmanvaihdon ja ulkoilmaventtiilien eri asennoilla Keski-Uusimaalla olevassa paritaloasunnossa.

Koneellisen poisto-ilmanvaihdon säätöasento	Poistoilmavirta l/s (m ³ /h)	Alipaine Ulkoilmaventtiilit auki, Pa	Alipaine Ulkoilmaventtiilit kiinni, Pa
1	27 (97)	6	14
2	44,5 (157)	11	27
3	58,5 (211)	16	41
4 (max)	70 (252)	21	55



Kuva 8.1. Ulkoilmaventtiilien avaamisen vaikutus radonpitoisuuteen paritaloasunnossa, jossa on radonimuri toiminnassa, lokakuu 2007.

9 Kellarin ilmanvaihtokorjaukset

9.1 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.

9.2 Toteutus

Ilmanvaihtoa tehostetaan poisto- ja tuloilmakanavia avaamalla tai lisäämällä. Tarvittaessa kellariin asennetaan koneellinen ilmanvaihto. 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.

9.3 Tulokset

Kyselytutkimuksen kohteissa (luku 2) radonpitoisuus on tavallisesti pienentynyt 10–50 % alkuperäisestä arvosta. Alle 400 Bq/m³ on päästy noin 50 %:ssa tapauksista. Säteilyturvakeskuksen aikaisemmassa tutkimusaineistossa on alenema saattanut olla yli 70 %. Osassa korjatuista taloista kellari on pienempi kuin yläpuolinen kerros, jolloin osassa asuntoa on matalaperustainen maanvarainen laatta tai ryömintätila. Asunnon radonpitoisuutta 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. Radonimuri ja -kaivo ovat tehokkaina korjausmenetelminä varteenotettava vaihtoehto myös kellaritalojen ensisijaisena korjausmenetelmänä.

Yksinkertaisesti toteutettavat vuotoreittien tiivistämiset kannattaa toteuttaa kellareissa. Niillä tehostetaan muiden korjaustoimien vaikutusta.

9.4 Esimerkki kellarikorjauksesta

Vuonna 1986 rakennetun 120 m² kellarillisen pientalon asuinkerroksen radonpitoisuudeksi mitattiin 1 900 Bq/m³. 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 ulkoilmaventtiili.
- Portaikko kytkettiin asunnon poistoilmakanavistoon.
- Asuinhuoneisiin asennettiin ulkoilmaventtiileitä.

Korjausten seurauksena radonpitoisuus asuintiloissa laski tasolle 50 Bq/m³. Esimerkin tapauksessa radonpitoinen ilma tuli asuintiloihin kellarista ja suoritettut toimenpiteet johtivat erittäin hyvään tulokseen.

10 Kerrostalojen radonkorjaukset

Kerrostaloasunnoissa radonpitoisuudet ovat keskimäärin merkittävästi alempia kuin pientaloissa. Tyypilliset kerrostalopitoisuudet ovat 20–60 Bq/m³, kun 24 %:ssa pientaloista esiintyy 100–200 Bq/m³ pitoisuuksia ja 16 %:ssa radonpitoisuus on yli 200 Bq/m³.

Kerrostalojen ylemmissä kerroksissa betoniset seinät, katto ja lattia ovat merkittävin radonlähde. Kaikki kiviainesta sisältävät rakennusmateriaalit sisältävät uraania, joka erittää jonkin verran radonia. Normaalit maalit ja tapetit eivät estä radonin erittymistä betonirakenteista sisäilmaan. Normaalilla ilmanvaihdolla radonin erittyminen rakennusmateriaaleista nostaa vain harvoin radonpitoisuuden yli 200 Bq/m³ tasolle.

Kerrostalojen alimman kerroksen asuntojen radonpitoisuudet ovat merkittävästi korkeampia kuin ylemmissä kerroksissa. Syynä kohonneisiin pitoisuuksiin on maaperän radonpitoinen ilma, joka pääsee sisätiloihin erityisesti silloin, kun lattialaatan alla on välittömästi sora-aineksia.

Kerrostaloasunnot ovat erittäin tiivisrakenteisia. Tiiviys, koneellinen poistoilmanvaihto sekä ulkoilmaventtiilien puute yhdessä tekevät asunnoista alipaineisia. Alipaineisuus taas kasvattaa maaperästä sisätiloihin virtaavan radonpitoisen ilman määrää.

Radonpitoisuudeltaan korkeimpia alimman kerroksen asuntoja, joissa on maanvarainen lattialaatta, on noin 9 % kerrostaloasuntojen kokonaisuudesta (Mäkeläinen ym. 2009). Alimman kerroksen tilat ovat yleisesti myös muussa kuin asuinkäytössä, esim. varasto- ja saunatiloina. Kellarikerros katkaisee suoran yhteyden maaperästä kellarikerroksen yläpuolisiin asuintiloihin. Kellarikerros suojelee siten yläpuolisia asuntoja radonvuodoilta.

Alimman kerroksen maakontaktiasuntojen keskimääräinen radonpitoisuus ja enimmäisarvojen ylitykset vastaavat pientalojen tilannetta. Säteilyturvakeskuksen otantatutkimuksen perusteella 200 Bq/m³ ylittyy ainakin viidesosassa näistä asunnoista. Vastaavasti 400 Bq/m³ ylittyy ainakin joka kymmenennessä. Arvioita vaikeuttaa se, että asukkaiden täyttämän lomakkeen tietojen perusteella pystytään vain karkeasti arvioimaan missä asunnoissa on maanvarainen lattialaatta. Lisäksi kerrostalon asukas ei usein pysty arvioimaan luotettavasti talon perustustapaa. Karkealle soralle rakennetuissa kerrostaloissa muutaman tuhannen Bq/m³ pitoisuudet ovat yleisiä. Korkeimmat alimman kerroksen pitoisuudet ovat olleet yli 10 000 Bq/m³.

Enimmäisarvon ylitykset voivat olla mahdollisia myös ensimmäisen kerroksen yläpuolella olevissa asunnoissa. Erityisesti toisen kerroksen asunnon ja sen alapuolella olevan asunnon tai varastotilan väliset tiivistämättömät putkikanavat voivat toimia vuoreitteinä. Kerrostalossa alhaalta ylös saakka

kulkevat putkikanavat (ilmastointi, viemärit) voivat myös mahdollistaa ilman siirtymisen ylempiin kerroksiin, jos niitä ei ole kerrosten väliltä suljettu ja tiivistetty. Myös kellarillisen talon alimman kerroksen asunnoissa voi esiintyä kohoneita pitoisuuksia, jos kellarin ja asuinhuoneiden välillä on ilmavuotoja.

Tuulettuvalla alapohjalla varustetuissa taloissa saattaa esiintyä kohoneita pitoisuuksia alimman kerroksen asunnoissa. Asuinhuoneiden pitoisuudet kasvavat mikäli tuulettuvan tilan radonpitoisuus on riittävän korkea ja alapohjassa on vuotoja. Tuuletustilan puutteellinen ilmanvaihto kasvattaa pitoisuuksia. Soramailla riski on suurin. Kaikki asunnon alapohjan läpiviennit ja aukot voivat toimia vuotoreitteinä.

Uusien kerrostaloasuntojen tilannetta on tarkasteltu luvussa 10.15. Siirtyminen asuntokohtaiseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon kerrostaloissa alentaa radonpitoisuuksia.

10.1 Vuotoreitit kerrostaloasunnoissa

Merkittävin radonpitoisen ilman vuotoreitti kerrostalojen alimpien kerrosten asunnoissa on maanvaraisen laatan ja sokkelin välinen rako. Tilanne on samankaltainen kun maanvaraisen laatan pientaloissakin. Muita merkittäviä vuotoreittejä voivat olla

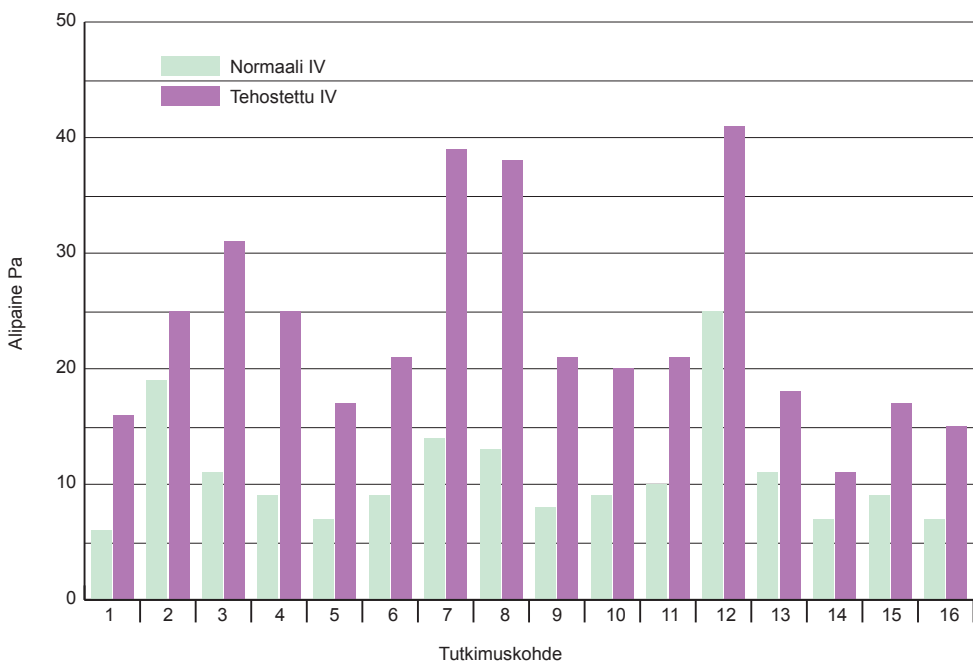
- tiivistämättömät läpiviennit maanvastaisissa lattiarakenteissa; rinteseen rakennetuissa taloissa myös maanvastaisissa seinissä
- liittymät laatan alla kulkeviin kanaviin, esim. kaukolämpökanava
- tuulettuvalla alapohjalla varustetuissa taloissa kaikki alapohjan läpiviennit.
- Korkea radonpitoisuus porraskäytävässä voi vaikuttaa myös asuintilojen pitoisuuksiin.

Ylemmissä kerroksissa kaikki kanavat, joita myöten maaperän tai alemman kerroksen radonpitoinen ilma voi siirtyä asuntoon, ovat mahdollisia vuotoreittejä.

Kerrostalotyypisissä suurissa rakennuksissa mitattavien huonetilojen omat radonvuodot ja ilmanvaihdon mukana alemmista kerroksista tuleva ilma voivat mutkikkaalla tavalla vaikuttaa mitattuihin pitoisuuksiin. Radonlähteiden vaikutus rakennuksen eri osissa voi merkittävästi muuttua ilmanvaihdon käyttötehon vaihdellella. Tällaisessa tapauksessa on rakennuksen vuotoreitit ja sisäiset ilmavirrat tutkittava huolellisesti.

10.2 Alipainemittauksia kerrostaloasunnoissa

Kerrostaloasuntojen betonielementit ovat rakenteeltaan hyvin tiiviitä. Koneellinen poistoilmanvaihto aiheuttaa asuntoihin merkittävän alipaineen. Alipainetta voidaan vain jossain määrin pienentää huolehtimalla ulkoilman saannista venttiilien kautta. Ulkoilmaventtiilit on vaadittu uusiin asuntoihin vasta 1990-luvun alusta alkaen. Tätä vanhemmissa kerrostaloissa ulkoilmaventtiilit ovat harvinaisia. Kuva 10.1 esittää alipainemittauksia 16 alimman kerroksen asunnossa, joissa Säteilyturvakeskus on suorittanut radontutkimuksia.



Kuva 10.1. Alipainemittauksia kerrostalon alimman kerroksen asunnoissa normaalilla ja tehostetulla ilmanvaihdolla.

Normaalilla ilmanvaihdolla alipaineiden keskiarvo oli 11 Pa ja tehostetulla ilmanvaihdolla 25 Pa. Korkein normaaliteholla mitattu alipaine oli 25 Pa. Tässä asunnossa oli ulkoilmaventtiilit mutta niiden toimintaa rajoitti ilmanakanavan ahtaus ikkunankarmin ulkopinnalla olevan pellin johdosta. Koneellisella poistolla varustetuissa pientaloissa alipaineet ovat keskimäärin selvästi alempia, normaalisti alle 10 Pa ilmanvaihdon alemmilla tehoilla. Koneellisella tulo- ja poistojärjestelmällä varustetuissa pientaloissa alipaineisuus on tyypillisesti vain 2–5 Pa.

Kerrostalojen tiivyyden ja ilmanvaihdon vaikutusta radonpitoisuuteen kuvaavat eräässä helsinkiläisessä kerrostaloasunnossa tehdyt mittaukset. Tehostetulla ilmanvaihdolla alipaine oli 25 Pa ja puoliteholla 11 Pa. Tehostettu ilmanvaihto on asunnossa toiminnassa muutaman tunnin vuorokaudessa. Ilmanvaihtuvuudeksi asunnossa mitattiin normaalilla ilmanvaihdolla 0,35 1/h ja tehostetulla ilmanvaihdolla 0,62 1/h. Siirtyminen tehostettuun ilmanvaihtoon kasvattaa suhteellisesti enemmän alipainetta kuin ilmanvaihtuvuutta. Jos maaperästä tuleva radonpitoinen ilma on merkittävin radonlähde, radonpitoisuus asunnossa on melko tarkasti suoraan verrannollinen alipaineeseen ja kääntäen verrannollinen ilmanvaihtuvuuteen. Ilmanvaihdon tehostaminen esimerkin tapauksessa ei alenna lainkaan radonpitoisuutta, vaan jopa kasvattaa sitä. Tässä asunnossa havaittiin alipaineen laskevan noin 20 %, kun sisempi ulko-ovi (estää äänien kuulumista porraskäytävästä) aukaistiin. Tämäkin kertoo asunnon tiiviystä, johon ulko-oven vuodoilla on suuri merkitys. Saman kerrostalon eri asuntojen välillä havaittiin useiden kymmenien prosenttien suuruisia eroja alipaineisuudessa. Alipaine-eroja voivat aiheuttaa erot ikkunoiden tiiviydessä mutta myös erot ilmavirtojen säädössä.

10.3 Normaali ja tehostettu ilmanvaihto

Kerrostaloissa on yleisesti käytössä tehostettu ilmanvaihto aamuisin ja illalla ruoanlaiton aikaan. Säteilyturvakeskuksen tutkimissa alimman kerroksen kohteissa radonpitoisuus ei merkittävästi muutu ilmanvaihdon eri tehoilla. Ilmanvaihdon kasvaessa kasvaa myös alipaineisuus ja radonpitoisen ilman virtaus maaperästä. Vaikutus radonpitoisuuteen jää vähäiseksi. Kerrostalojen ylemmissä kerroksissa rakennusmateriaalit ovat pääasiallinen radonlähde. Tällöin tehostettu ilmanvaihto alentaa radonpitoisuutta.

10.4 Ulkoilmaventtiilien asennus radonkorjauksena

Tyypillisesti ulkoilmaventtiilien asennuksella on saavutettavissa 20–50 % radonpitoisuuden alenemia. Samansuuruisia alipaineen muutoksia on mitattu Säteilyturvakeskuksen tutkimuksissa avaamalla asunnoissa jo olevat ulkoilmaventtiilit. Taulukko 10.1 esittää neljässä kerrostaloasunnossa saavutettuja tuloksia.

Teknillisen korkeakoulun LVI-laboratorio tutki vuonna 1999 ulkoilmaventtiilien käyttöä radonpitoisuuden alentamisessa (Kurnitski ym. 1999). Hankkeessa tutkittiin avaraa venttiiliratkaisua, jossa ulkoilma lämpenee ikkunan alla olevan patterin vaikutuksesta. Tulokset olivat samansuuntaisia kuin luvun 2 tutkimuskohteista saadut tulokset. Venttiilien asennuksella päästään vain poikkeustapauksissa yli 50 % radonpitoisuuden alenemiin, useimmiten tulos on alhaisempi.

Taulukko 10.1. Esimerkkejä ulkoilmaventtiilien asennuksella saavutetuista radonpitoisuuden alenemista kerrostaloasunnoissa. Alipaine on mitattu koneellisen ilmanvaihdon normaaliteholla.

Kohde	Alipaine ilmanvaihdon normaali-teholla, Pa	Radonpitoisuus ennen korjausta Bq/m ³	Radonpitoisuus korjauksen jälkeen, Bq/m ³	Radonpitoisuuden alenema
Vantaa	13	500	250	50 %
Hollola 1	5	1200	700	42 %
Hollola 2	9	1150	610	47 %
Hollola 3	10	1040	740	29 %

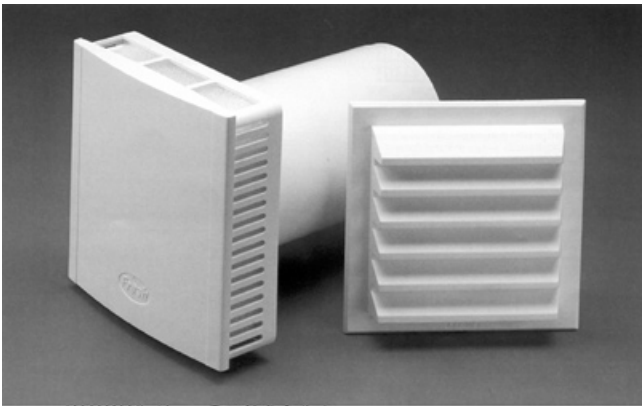
Ulkoilmaventtiilien käytettävyyden kannalta on syytä asentaa mieluummin useita venttiileitä eri huoneisiin, kuin pyrkiä saavuttamaan hyvä tulos yhdellä venttiilillä. Näin kylmään aikaan venttiileistä tuleva ilmavirta on vähemmän epämiellyttävä. Poikkeustapauksissa on asennettu aktiivisia lämmittimellä ja puhaltimella varustettuja tuloilmalaitteita, joiden avulla tuleva ilma saadaan miellyttävän lämpimäksi. Ulkoilmaventtiilien valinnassa ja asennuksessa palvelevat asiantuntevat LVI-liikkeet.

Ulkoilmaventtiilit voivat olla joko rakoventtiilejä tai seinään asennettavia putkimallisia venttiileitä. Rakoventtiilit ovat nimensä mukaisia rakomallisia venttiileitä, jotka on tarkoitettu asennettavaksi ikkunan yläpuolelle joko suoraan ikkunan karmirakoon tai sitten ikkunan karmiin porataan reikiä tai jyrsitään sopivankokoinen kolo, johon venttiilin runko-osa asennetaan. Venttiileitä on saatavana suodattimella ja ilman sekä myös äänieristettynä mallina. Ilmasuihkun nopeutta ja määrää voidaan säätää yleensä ulkoilmasuuttimen rakoa kasvattamalla tai pienentämällä. Kuva 10.2 esittää paljon käytettyä ikkunakarmissa olevaa rakoventtiiliä. Rakoventtiilit soveltuvat sekä uudistuotantoon että vanhoihin rakennuksiin. Tällä ratkaisulla vältetään varsinkin vanhoissa rakennuksissa läpivientien tekemiseltä seinäelementteihin.

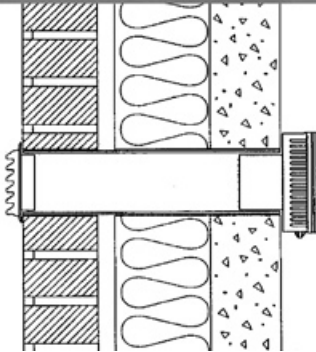
Pyöreät venttiilit asennetaan seinälle, joko ikkunan yläpuolelle tai seinälle ikkunan viereen. Venttiilit voidaan asentaa myös tuuletusikkunan luokkuun. Niiden seinän läpivientiosa on aina pyöreä, ja ulkosäleiköstä voidaan tehdä halutun muotoinen. Sisäpuoleinen venttiilin osa on yleensä varustettu suuntauslevyllä, jolla ilma suunnataan ylöspäin kattoa kohden. Näihin malleihin on verraten helppo asentaa suodattimet ja äänenvaimennusosat. Osaan malleissa on liitetty termostaattiosat, jotka pienentävät ulkoilmavirtaa silloin, kun ulkoilman lämpötila on alhainen.



Kuva 10.2. Ikkunakarmiin asennettu rakoventtiili.

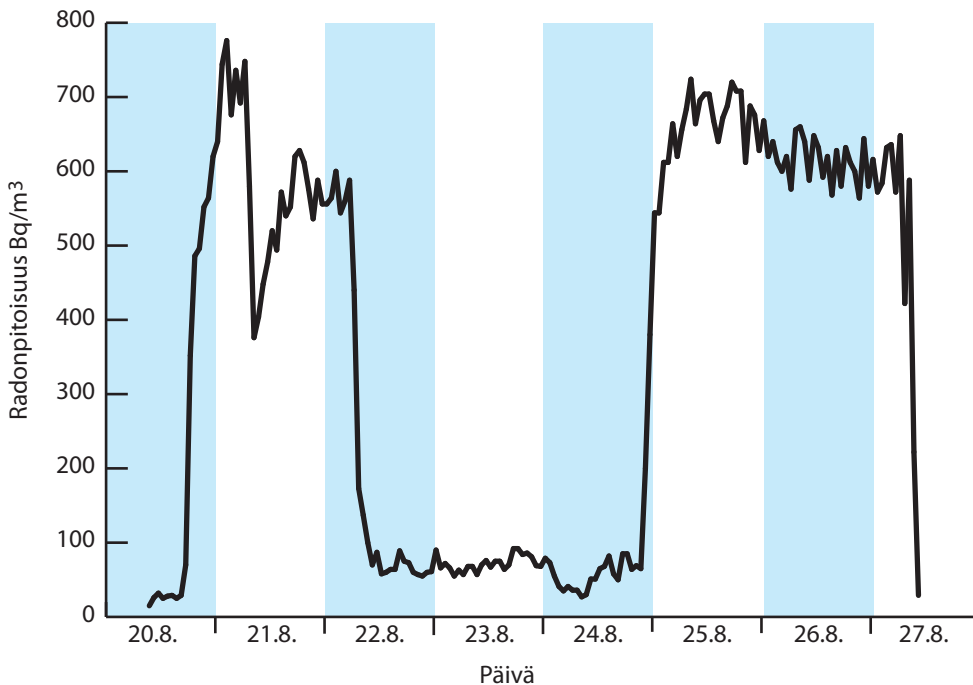


Kuva 10.3. Seinään asennettava ulkoilmaventtiili.



10.5 Esimerkki ulkoilmaventtiilien asennuksesta

Vantaalaisessa kerrostaloasunnossa mitattiin talvella 1994 radonpitoisuudeksi 440 Bq/m^3 . Asunnossa on maanvarainen lattialaatta. Lattian alla kulkee myös lämpöjohtokanava, josta on yhteys luukun kautta vaatehuoneeseen ja pesuhuoneisiin. Kanava kasvattaa osaltaan radonpitoisuutta. Ylemmissä kerroksissa pitoisuus vaihteli välillä $30\text{--}90 \text{ Bq/m}^3$. Ulkoilmaventtiilien vaikutuksen arvioimiseksi radonpitoisuutta mitattiin yli kahden vuorokauden aikana tuuletusikkunan ollessa vain alle senttimetrin verran raollaan. Elokuussa tehdyn mittauksen aikana radonpitoisuus laski tasolta 600 Bq/m^3 pitoisuuden 100 Bq/m^3 alapuolelle, kuva 10.4. Tutkimusten jälkeen ikkunoiden yläosasta poistettiin ikkunatiivistettä noin 20 cm:n matkalta. Tämän johdosta radonpitoisuus laski pysyvästi noin 300 Bq/m^3 :iin. Asuntoon asennettiin ulkoilmaventtiilit, jonka seurauksena radonpitoisuus laski vielä noin 20% tasolle 250 Bq/m^3 . Alipainemittausten perusteella tässä kohteessa ikkunatiivisteiden poistolla oli lähes samanlainen vaikutus kun ulkoilmaventtiilien asennuksella. Ulkoilmaventtiilien asennus on suositeltavampi toimenpide.



Kuva 10.4. Radonpitoisuuden aleneminen vantaalaisessa kerrostaloasunnossa kesäaikana, kun tuuletusikkunaa on pidetty raollaan. Ulkoilmaventtiilien asennuksen jälkeen pitoisuus laski tasolle 250 Bq/m^3 , ikkunoiden ollessa kiinni.

10.6 Tiivistämistyöt ja saavutetut tulokset

Tiivistämistöiden onnistumisen edellytykset kerrostaloissa ovat huomattavasti paremmat kuin pientaloissa. Koska sekä perusmuurit että seinäelementin alaosa on tehty tiiviistä valubetonista, ei radonpitoinen ilma pääse kulkeutumaan perusmuurin kautta seinärakenteisiin. Tällöin lattialaatan ja seinärakenteen välisen raon tiivistäminen voi tuottaa hyviä tuloksia. Puurakenteisissa pientaloissa tilanne on huonompi. Kevytsorasta tehdyn pientalon perusmuurin kautta radonpitoinen ilma pääsee seinärakenteisiin, eikä lattialaatan ja seinän välisen raon tiivistäminen estä vuotoja kokonaan. Kerrostaloissakin hyvän tuloksen saavuttamiseksi tiivistämisen tulee kohdistua kaikkiin vuotokohtiin, koska lähes sama määrä radonpitoista ilmaa saattaa kulkeutua sisätiloihin tiivistämättä jääneiden rakojen kautta.

Tiivistämistöissä käytettäviä saumausaineita ja työtapoja on käsitelty luvussa 6. Kerrostalojen tiivistämistöissä on saavutettu keskimäärin parempia tuloksia kuin pientaloissa. Tulokseen vaikuttaa se kuinka kattavasti raot on tiivistetty. Kerrostaloissa voi osa lattian vuotokohdista olla esimerkiksi pesutilojen ympärillä seinärakenteiden sisällä eikä niihin päästä ilman purkutöitä käsiksi. Tiivistettävä rako on saatava hyvin käsiteltäväksi esim. sahaamalla parketin reunaa pois. Raon avartaminen ja puhdistaminen ennen saumausta ovat tärkeitä toimenpiteitä, luku 6.

10.7 Tiivistämiskohde, Helsinki

Helsingiläisessä kerrostaloyhtiössä mitattiin 7:ssä alimman kerroksen asunnossa radonpitoisuus. Tulokset vaihtelivat välillä 100–630 Bq/m³, taulukko 10.2. Saman kerrostalon tai taloryhmän alimpien kerrosten asunnoissa voi olla suuria eroja radonpitoisuudessa. Nämä johtuvat eroista rakennusmaassa, täyttömaassa, alapohjien vuodoissa tai asuntojen alipaineisuudessa. Kolmessa asunnossa radonpitoisuuden enimmäisarvo 400 Bq/m³ ylittyi (550, 600 ja 630 Bq/m³). Näissä asunnoissa suoritettiin saumausalun yrityksen työnä lattiasaumojen tiivistäminen. Tiivistämisessä käytettiin polyuretaanipohjaista saumausainetta ja kaikki sekä kantavien väliseiniä että ulkoseiniin rajoittuvat saumat pyrittiin huomioimaan. Korjaustyö onnistui kahdessa asunnossa vain kohtuullisesti, yhdessä asunnossa tulos jäi puutteelliseksi.

Taulukko 10.2. Radonpitoisuus helsinkiläisen kerrostalon alimman kerroksen asunnoissa (asunnot 1–7). Asunto no 8 sijaitsee toisessa kerroksessa ja edustaa asuntoa, jossa maaperästä tulevat radonvuodot eivät vaikuta radonpitoisuuteen. Kolmessa asunnossa suoritettiin tiivistyskorjauksia.

Asunto	1	2	3	4	5	6	7	8
Radonpitoisuus ennen korjausta, Bq/m ³	550	600	230	270	630	100	120	90
Radonpitoisuus korjauksen jälkeen, Bq/m ³	300	430	–	–	260	–	–	–
Alenema	46 %	28 %			56 %			

10.8 Radonimuri kerrostaloissa

Radonimurin suunnittelu ja toteutus on esitetty luvussa 4. Kerrostaloasunnoissa on tavallista, että syvälle ulottuvat kantavat väliseinät jakavat alapohjan lohkoihin ja vaikeuttavat radonimurin toimintaa. Kerrostalojen radonimurit on lähes poikkeuksetta asennettu sokkelin kautta (luku 4.13), jolloin asunnon sisärakenteisiin ei ole tarvinnut koskea. Kerrostaloasunnoissa mahdollisesti vallitseva alipaine heikentää radonimurin toimintaa. Imurin synnyttämän alipaineen tulisi olla laatan reuna-alueillakin niin suuri, että maaperästä tulevan ilman virtaus vähenee.

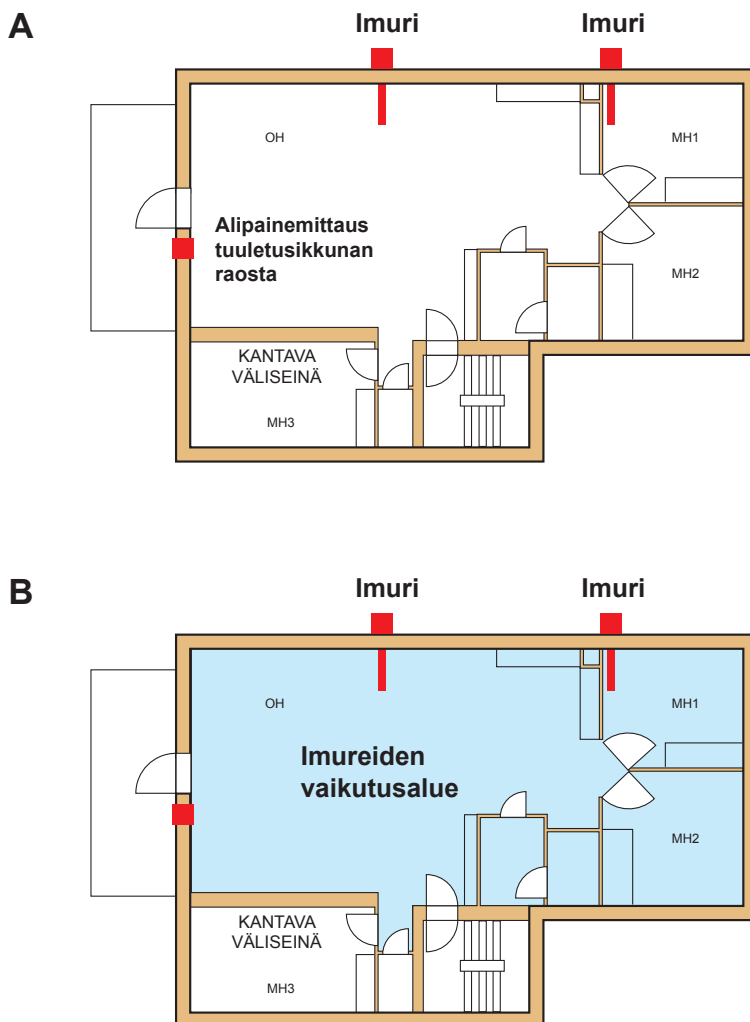
10.9 Imurikorjaus pääkaupunkiseudulla

Radonkorjausta tutkittiin 1980-luvulla valmistuneessa kerrostalossa. Kaksikerroksisen kerrostalon alin kerros on rakennettu rinteeseen. Sokkelin korkeus on alarinteen puolella metrin korkeampi kuin toisella puolella. Maanvaraisen laatan alla on paksu täyttösorakerros. 110 m²:n asunnossa on suuri olohuone–keittiö tila ja kolme makuuhuonetta, Kuva 10.5. Asunnossa mitattiin ennen korjausta talvella 1 900 Bq/m³ radonpitoisuus.

Asunnossa on kerrostaloille tyypillinen koneellinen poistoilmanvaihto ja hyvin tiiviit rakenteet. Ensimmäistä radonmittausta suoritettaessa asunnossa ei ollut ulkoilmaventtiileitä.

Radonkorjauksen päämenetelmäksi valittiin radonimuri, joka asennettiin sokkelin läpi. Tällöin ei tarvitse koskea lainkaan asunnon sisäpuolisiin

rakenteisiin. Lisäksi päätettiin asentaa ikkunoihin yhteensä 4 ulkoilmaventtiiliä sekä tiivistää lattialaatan ja seinän välisiä rakoja. Kuva 10.2 esittää asunnossa käytettyä ikkunakarmin asennettua rakoventtiiliä. Imureita asennettiin 2 kpl. Kuvassa 10.5 on imurien sijainti. Puhaltimet ovat 60 W kanavapuhaltimia, jotka on kytketty toimimaan puolella teholla. Imurit asensi yritys, jolla on aikaisempaa kokemusta sokkelin läpi toteutettavista radonimurikorjauksista. Kuva 10.6 esittää sokkelin lähelle asennettua poistopuhallinta ja imurin ympärillä olevaa tehokasta äänenvaimenninta.



Kuva 10.5. Kahden radonimurin asennus pääkaupunkiseudulla sijaitsevaan kerrostalo-asuntoon (A) ja radonimurien vaikutusalue (B).



Kuva 10.6. Sokkelin viereen asennettu poistopuhallin (A) ja puhaltimen ympärillä oleva tehokas äänenvaimennin (B).

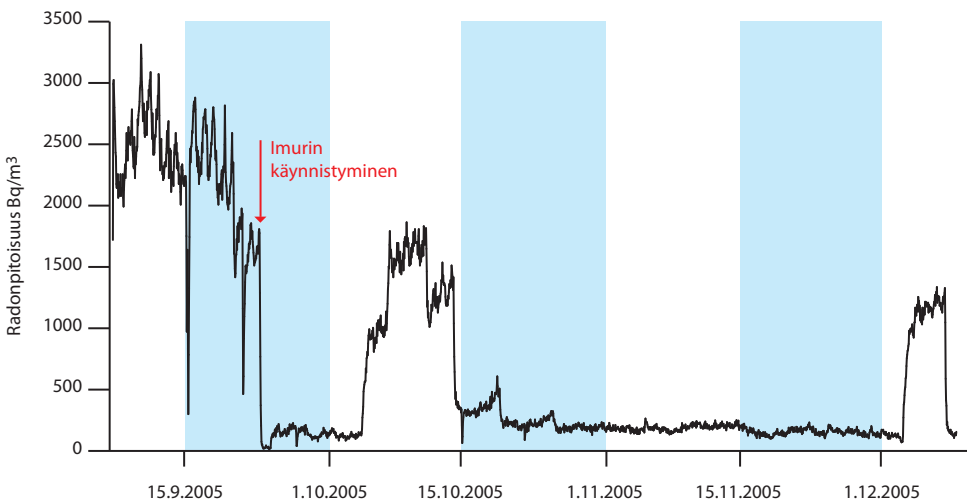


Asunnossa suoritettiin alipainemittaus tuuletusikkunan raosta asennetun putken avulla. Ulkoilmaventtiilien ollessa auki alipaine oli noin 7 Pa ja venttiilien ollessa kiinni 9 Pa. Ilmanvaihdon kytkeytyessä tehostetulle asennolle alipaineisuudet yli kaksinkertaistuivat. Likimain sama paine-ero vallitsee lattiatasossa ja pakottaa maaperän ilman virtaamaan kaikista raoista sisätiloihin.

Laatan läpi mitatut alipaineet osoittivat virtaussuunnan kääntyvän, kun radonimuri kytketään toimintaan. Alipaineet mitattiin vain yhdestä pisteestä. Savukokeet (kuva 12.3) osoittivat, että radonimurin vaikutus ei ulotu kuitenkaan kaikkialle imurien vastaiselle seinälle. Laatan rakojen tiivistämisestä huolimatta radonimuri imee sisätiloista niin merkittäviä ilmamääriä, että se näkyy myös asunnon alipainetasossa. Tuuletusikkunan kautta mitatut alipaineet kasvavat, kun radonimuri kytketään päälle.

Sokkelin läpi toteutettu radonimuri on tehokas radonkorjausmenetelmä. Tutkitussa kohteessa pitoisuuden alenema oli yli 90 %. Kuva 10.7 esittää radonkorjauksen yhteydessä tehtyjä mittauksia. Korjauksia edeltävänä talvena asunnossa mitattiin kahden kuukauden mittauksessa radonpitoisuudeksi 1 900 Bq/m³.

Imurien käyttöönoton yhteydessä tehdyissä mittauksissa radonpitoisuus aleni tasolta $1\,700\text{ Bq/m}^3$ tasolle 170 Bq/m^3 . Tätä aikaisemmin ulkoilmaventtiilien käyttöönotto oli jo alentanut pitoisuutta jo noin 300 Bq/m^3 . Ulkoilmaventtiilien vaikutusta testattiin vielä uudestaan radonimurien ollessa poissa käytöstä. Tällöinkin ne alensivat pitoisuutta noin 25 %, tasolta $1\,600\text{ Bq/m}^3$ tasolle $1\,200\text{ Bq/m}^3$. Mittausjakson lopussa todettiin radonpitoisuudeksi ilman imureita venttiilien ollessa auki $1\,150\text{ Bq/m}^3$. Laatan ja seinän välisten rakojen tiivistämisellä saattoi olla myös pienehkö radonpitoisuutta alentava vaikutus.



Kuva 10.7. Radonpitoisuuden tehokas aleneminen radonimurien kytkemisen yhteydessä pääkaupunkiseudulla olevassa kerrostaloyhtiössä.

10.10 Imurikorjaus Helsingissä

Kohde sijaitsee Helsingissä ja siihen kuuluu useita vuonna 1983 valmistuneita 2–3 kerroksisia pienkerrostaloja. Korkeita radonpitoisuuksia oli mitattu kellarittomien talojen pohjakerroksen asunnoissa. Rakennusalueen maalajina on pääasiassa hiekka, paikoin myös silttiä ja hiekkamoreenia. Anturat, perusmuuri ja kantavat väliseinät ovat paikalla valettuja betonirakenteita. Kantavat väliseinät jatkuvat alapohjalaatan läpi suoraan anturoille. Alapohja on maanvarainen ja sen yläpinta sijaitsee perusmuurin yläpinnan tasossa. Lattioiden alla on salaojatorakerros. Ilmanvaihtojärjestelmänä on koneellinen poistoilmanvaihto, joka on aamupäivisin ja iltaisin kytkettynä tehostetulle asennolle.

Asunto-osakeyhtiön vastaanottotarkistuksessa mitattiin 400 Bq/m^3 ylittäviä pitoisuuksia kymmenessä asunnossa, taulukko 10.3. Radonkorjaus

suoritettiin talon ulkopuolelta sokkelin läpi asennetun radonimurin avulla (luku 4.13). Kahdessa mitatussa kohteessa puhaltimen ilmavirrat olivat 11 ja 14 m³/h. Kolmessa kohteessa radonpitoisuus ylitti radonimurin kytkemisen jälkeen vielä 400 Bq/m³. Näissä kohteissa suoritettiin lattialaatan ja sokkelin välisen sauman tiivistämistä ja todettiin mittauksin radonpitoisuuden pudonneen alle 400 Bq/m³.

Taulukko 10.3. Radonimurikorjaus helsinkiläisessä kerrostaloyhtiössä. Korjaukset onnistuivat mutta asuntojen alipaineisuus ja imupisteiden puutteellinen määrä heikensivät tulosta.

Asunto	Radonpitoisuus ennen korjausta Bq/m ³	Radonpitoisuus korjauksen jälkeen Bq/m ³	Radonpitoisuuden alenema
1	950	280	71 %
2	2390	580 ¹⁾	76 %
3	1240	340	73 %
4	1120	230	79 %
5	1020	260	75 %
6	1020	490 ¹⁾	52 %
7	410	50	88 %
8	540	110	80 %
9	710	70	90 %
10	1310	410 ¹⁾	69 %

¹⁾ Tiivistämistöiden jälkeen pitoisuudet alle 400 Bq/m³

Asunnoissa on kantavia väliseiniä, jotka ovat heikentäneet imurin vaikutuksen leviämistä koko asunnon pinta-alalle. Myös asunnoissa vallinnut alipaine on heikentänyt tulosta. Radonimurin aiheuttama alipaine laatan alapuolella on pienempi kuin poistoilmanvaihdon aiheuttama alipaine laatan yläpuolella. Näin radonimuri pystyy vain osaksi vähentämään radonpitoisen ilman virtausta maaperästä sisätiloihin. Kohteissa päästiin enimmäispitoisuuden 400 Bq/m³ alapuolelle. Jos korjauksia halutaan tehostaa, voidaan tehdä seuraavia toimenpiteitä:

- asuintilojen alipaineisuuden vähentäminen asentamalla ulkoilmaventtiileitä
- lattian ja sokkelin liitosten tiivistäminen
- imurin ilmavirran kasvattaminen
- toisen imurin asentaminen.

10.11 Kerrostaloasunnot, joissa on puinen alapohja

Puisia alapohjia on erityisesti 1900-luvun alkupuolella rakennetuissa kerrostaloissa. Alimman kerroksen asunnon puisten lattiarakenteiden alla saattaa olla kalliota, täyttömaata, kellaritiloja tai holveja. Alustilasta voi olla yhteys kellarisiin tai laajoihin talon alustiloihin. Radonpitoisuutta asunnoissa on hyvin vaikea ennustaa. Säteilyturvakeskuksen tutkimuksissa on havaittu tällaisissa asunnoissa hyvin alhaisia pitoisuuksia esim. 40 Bq/m³ mutta toisaalta myös useiden tuhansien Bq/m³ pitoisuuksia. Tiiviin ja ehjän kallion tapauksessa pitoisuudet voivat olla alhaisia. Jos taas rakennusmaa on soraa tai moreenia, korkeiden pitoisuuksien mahdollisuus kasvaa. Radonkorjauksissa voidaan harkita seuraavia toimenpiteitä.

- Asunnon ilmanvaihdon kasvattaminen ja alipaineisuuden hallinta. Ilmanvaihto toimii vanhoissa kerrostaloasunnoissa osaksi edelleen painovoimaisesti. Ilmanvaihdon kasvattaminen tarjoaa korjausmahdollisuuksia, jos ilmanvaihdon taso on alhainen. Alipaineisuutta voidaan vähentää jossain määrin ulkoilmaventtiilien asennuksella.
- Alapohjan tiivistäminen. Väliseinien, komeroiden ja pesutilojen vuoksi tiivistäminen on erittäin vaativa tehtävä.
- Alapohjan alla olevan tilan alipaineistaminen. Jos tilasta on yhteys laajoihin talon alla oleviin tiloihin, menetelmän toimivuus voi olla huono. Imuri imee alapohjan alle jatkuvasti uutta radonpitoista ilmaa eikä alipainetta saada syntymään.
- Uuden tuulettuvan lattian rakentaminen. Uuden ja vanhan lattiarakenteen välinen tila tuuletetaan, jolloin radonpitoinen ilma ei enää siirry asuintiloihin. Kaupallisesti on tarjolla nystyrälevyjä ja ilmanvaihtomattoja. Nystyrälevyn tai alapuolelta uritetun maton avulla voidaan rakentaa tuulettuva lattia. Huoneilma ohjataan ilmanottoaukkojen kautta lattia-maton alle. Järjestelmä kytketään poistoilmanvaihtoon, jolloin lattia-rakenteen alta tulevat epäpuhtaudet eivät enää pääse asuintiloihin.

10.12 Radonkaivo kerrostalokorjauksissa

Radonkaivoa on käytetty menestyksellä harjuseuduilla kerrostalojen radonkorjauksiin. Radonkaivo soveltuu vain riittävän karkealle soramaalle ja sen rakentaminen vaatii kokemusta ja asiantuntemusta. Radonkaivon toimintaperiaate, suunnittelu ja toteutus on kuvattu luvussa 5.

Kuva 10.8 esittää esimerkkiä radonkaivokorjauksesta Hämeessä sijaitsevalla kerrostaloalueella. Laajalle 25 kerrostalon alueelle on rakennettu yhteensä 25 kaivoa jo 1980-luvulla. Kerrostaloissa on alimmassa kerroksessa asunto vain talojen päädyissä. Keskellä taloa on yhteisiä varasto- ja saunatiloja. Useimmat radonkaivoista on asennettu kahden talon päätyjen väliin, siten yksi kaivo alentaa molempien päätyasuntojen radonpitoisuuden. Alimpien kerrosten 24 asunnossa talvella mitattujen radonpitoisuuksien keskiarvo laski 4 200 Bq/m³:stä noin kymmenesosaan. Radonpitoisuuden vuosikeskiarvo laski kahden kaivon uudelleen sijoittamisen jälkeen kaikissa asunnoissa 400 Bq/m³ alapuolelle.

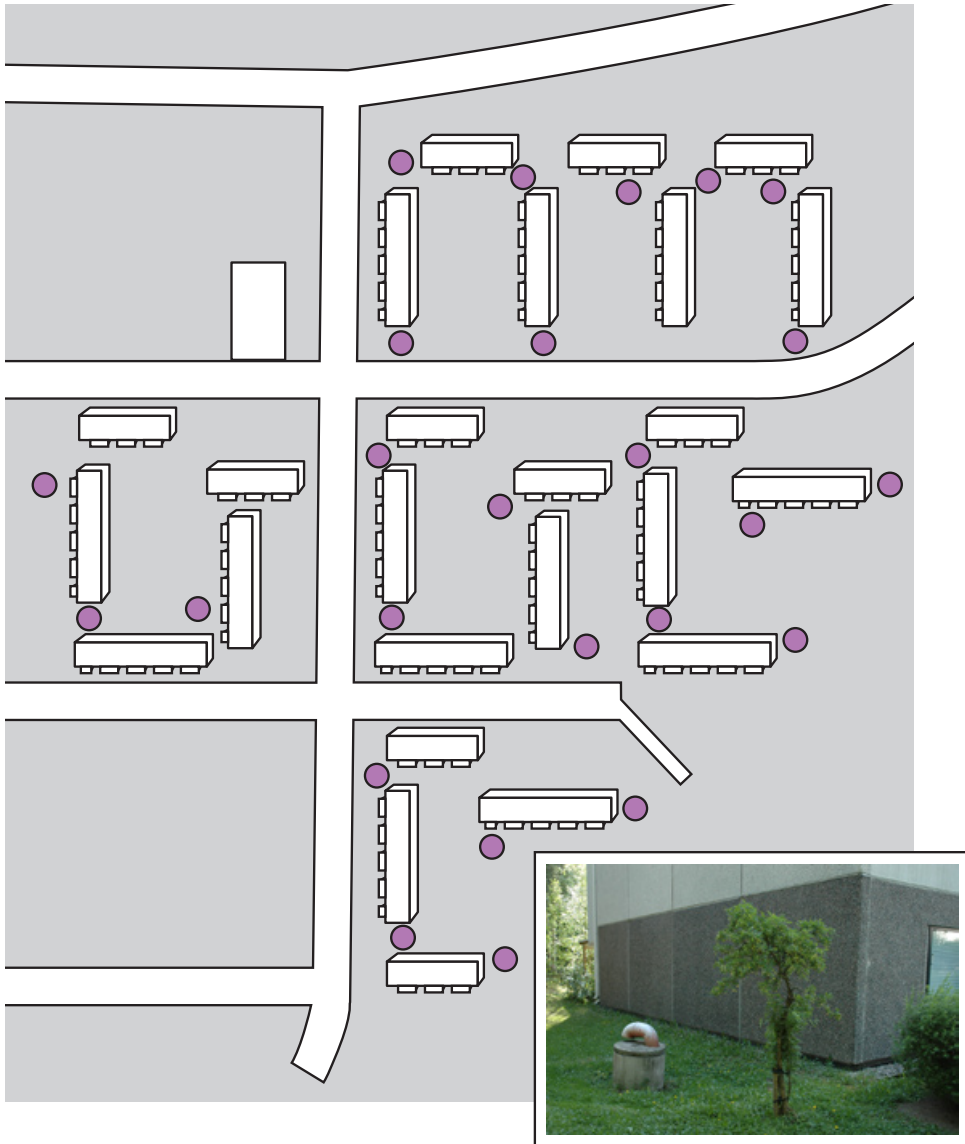
Imurikorjauksia suoritettaessa 80-luvulla ei kiinnitetty huomioita asuntojen alipaineisuuteen. Myöhemmissä tutkimuksissa havaittiin asuntojen olevan erittäin alipaineisia. STUKin tutkimassa kohteessa alipainetaso oli 12 Pa normaallilla ilmanvaihdon teholla. Ulkoilmaventtiilien asennuksella voidaan asunnoissa alentaa radonpitoisuutta vielä joitakin kymmeniä prosentteja. Alapohjan vuotoja tiivistämällä on myös mahdollista tehostaa korjausta.

10.13 Ylempien kerrosten radonkorjaukset

Enimmäisarvon ylityksiä on havaittu myös alimman kerroksen yläpuolisissa kerrostaloasunnoissa. Radonpitoinen ilma pääsee näihin asuntoihin erilaisia putkikuiluja pitkin. Harjuseuduilla voi kellaritilojen ilman radonpitoisuus olla erittäin korkea ja vaara enimmäisarvon ylityksiin on siellä suurin. Kellarikerroksesta tai ensimmäisen kerroksen varastotiloista radonpitoinen ilma siirtyy helposti yläpuolella olevaan kerrokseen putkikanavien kautta. Radonkorjauksissa on pyritty katkaisemaan ilmavirtaukset putkikanavissa. Kellari- tai varastotilan radonpitoisuuden alentaminen on vaihtoehtoinen tai täydentävä korjaustapa.

10.14 Tuulettuva alapohja kerrostaloissa

Kerrostalojen rakentamisessa käytetään paljon perustuksena tuulettuvaa alapohjaa. Enimmäisarvon ylitykset ovat näissä asunnoissa harvinaisia verrattuna maanvaraisen lattian asuntoihin. Maaperän radonpitoinen ilma laimenee merkittävästi, mikäli alapohjatilassa on riittävä ilmanvaihto. Alapohjatilasta voi päästä radonpitoista ilmaa yläpuolisiin asuntoihin esim. putkien läpivientejä pitkin. Aukkaat voivat tuntea nämä vuodot alapohjasta tulevana tunkkaisena hajuna. Alapohjarakenteiden ja putkikanavien tiivistäminen estävät radonpitoisen ilman virtauksia asuintiloihin.



Kuva 10.8. Laajalle kerrostaloalueelle asennetut 25 radonkaivoa, Lahti.

10.15 Uudet kerrostalot

Maanvaraisella laaatalla varustetuissa kerrostaloissa tulee soveltaa uudisrakentamisen radontorjunnasta annettua ohjeistusta, joka on esitetty luvussa 14. Alimmassa kerroksessa tulee laatan ja seinärakenteiden liitos tiivistää huolellisesti tarkoitukseen sopivilla elastisilla saumausaineilla. Rakennusyritysten käytännön toimenpiteet tiivistämisessä vaativat edelleen paljon kehittämistä. Säteilyturvakeskuksen tutkimuksissa on havaittu että torjuntatyö jätettiin yleisesti vielä 1990-luvulla radonputkiston asentamisen varaan.

Radonputkiston asentaminen alimman kerroksen maanvaraisen lattian alle on välttämätön toimenpide. Putkisto asennetaan nykyisin jo hyvin yleisesti kerrostaloasuntoihin. Kytkemällä putkistoon imuri saadaan radonpitoisuus alenemaan, mikäli tiivistystoimet eivät ole onnistuneet. Putkiston suunnittelussa voidaan noudattaa RT-ohjekortin RT 81-10791 (luku 14) periaatteita.

Uusien energiansäästöön liittyvien määräysten johdosta on vuoden 2003 jälkeen kerrostaloasuntoihin alettu asentaa lämmöntalteenotolla varustettuja ilmanvaihtojärjestelmiä. Käytössä on sekä asuntokohtaisia tulo- ja poistoilmanvaihtolaitteita että yhteisellä lämmöntalteenottolaitteella varustettuja laitteita. Uusilla laitteilla asuntojen alipainetasot jäävät huomattavasti alhaisemmiksi kuin koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetuissa asunnoissa. Alentuneet alipainetasot parantavat myös radonimurien toimintaedellytyksiä. Tämä uusi rakentamisen käytäntö laskee alimman kerroksen asuntojen radonpitoisuuksia mutta ei kokonaan poista ongelmaa. Alapohjan rakentaminen tiiviiksi, siten että maaperän ilma ei enää pääse asuntoon, tulisi olla myös osa hyvää rakentamiskäytäntöä.

10.16 Yhteenveto kerrostalojen radonkorjauksista

Kerrostalojen radonkorjauksissa tulee pyrkiä käyttämään kaikkein tehokkaimpia menetelmiä, radonimuria ja radonkaivoa. Radonkaivo soveltuu vain riittävän hyvin ilmaa läpäisevälle maaperälle. Asuntojen korkeat alipaineisuudet heikentävät menetelmien toimivuutta. Radonimurin ja kaivon toimintaa tulee tarvittaessa tehostaa alentamalla asunnon alipaineisuutta ulkoilma-venttiilien avulla. Kaivon ja imurin toimintaa voidaan tehostaa myös tiivistämällä alapohjan vuotoreittejä. Asuntokohtaisen tulo- ja poistoilmanvaihdon asentamisella voidaan alipainetasot hallita parhaiten. Ilmanvaihtotekniset korjaukset tai tiivistäminen ovat harvoin yksinään tuottaneet korkeita radonpitoisuuden alenemia.

11 Työpaikkojen ja suurten rakennusten radonkorjaukset

11.1 Työpaikkojen radonvalvonta, säädökset ja ohjeet

Työpaikkojen radonpitoisuuden toimenpidearvo säännöllisessä työssä on 400 Bq/m³. Toimenpidearvon ylittyessä, radonpitoisuutta on pienennettävä. Jokainen työnantaja on velvollinen selvittämään työtilojen radonpitoisuuden omatoimisesti, ilman viranomaisen erillistä kehotusta, jos on syytä epäillä, että toimenpideraja voi ylittyä. Tämä vaatimus perustuu säteilylakiin. Toimenpidearvon ylityksestä on ilmoitettava Säteilyturvakeskukseen Säteilyn käytön turvallisuus osastolle. Ilmoituksen voi tehdä esimerkiksi Säteilyturvakeskuksen Internet-sivuilta *www.stuk.fi*.

Työpaikkojen radonpitoisuus pitää selvittää alueilla, joissa radonpitoisuuden tiedetään olevan suuri. Säteilyturvakeskuksen Internet-sivuilla on luettelo kunnista, joissa radon on mitattava kaikilla työpaikoilla. Luettelo perustuu Säteilyturvakeskuksen asuntojen radonmittausten tietokantaan ja siihen on otettu ne kunnat, joissa 400 Bq/m³ ylityksiä on yli 10 %. Mittaukset on tehtävä myös julkisissa rakennuksissa, kuten esim. kouluissa ja päiväkodeissa. Kaikissa kunnissa Suomessa radonpitoisuus on mitattava sellaisilla työpaikoilla, jotka sijaitsevat harjuilla tai muilla hyvin ilmaa läpäisevillä sora- tai hiekkamuodostumilla. Radonpitoisuus pitää mitata myös kaikissa maan alla sijaitsevilla työtiloissa, joissa työskennellään pysyvästi. Työpaikkojen radonmittaus tehdään osittain tai kokonaan maan alla olevissa tiloissa ja maanpintatasossa olevissa tiloissa. Mittausta ei yleensä tarvitse tehdä työtiloissa, jotka sijaitsevat toisessa tai sitä ylemmissä kerroksissa.

Ensimmäinen mittaus tehdään lämmityskauden aikana marras–huhtikuussa ja mittaukset tehdään radonpurkeilla. Mittausaika on vähintään kaksi kuukautta. Toimistoissa riittää yksi mittauspurkki noin 200 m² kohti, teollisuushalleissa 1–2 purkkia on yleensä riittävä, kun halli on yhtenäistä tilaa. Jokainen erillinen rakennus on mitattava edellä olevien ohjeiden mukaisesti. Työpaikkojen radonmittauksiin käytettävien laitteiden ja menetelmien on oltava Säteilyturvakeskuksen tähän tarkoitukseen hyväksymiä.

Lisätietoja työpaikkojen radonvalvonnasta ja mittausmenetelmistä saa Säteilyturvakeskuksesta. Työpaikkojen radonia koskevat tarkemmat ohjeet ja vaatimukset on esitetty ohjeessa ST 12.1 Säteilyturvallisuus luonnonsäteilylle altistavassa toiminnassa. Ohje löytyy Säteilyturvakeskuksen Internet-sivuilta *www.stuk.fi* kohdasta Julkaisut ja määräykset/Viranomaisohjeet/Säteilyturvallisuus.

11.2 Työpaikkojen radonkorjausten menetelmät

Suurissa rakennuksissa käytetään samoja radonkorjausmenetelmiä kuin pien- ja kerrostaloissa. Merkittävin ero aiheutuu rakennusten suuresta pinta-alasta ja ilmanvaihtojärjestelmästä. Työpaikoilla ja julkisissa rakennuksissa ilmanvaihtuvuus on työaikana säädetty merkittävästi suuremmalle tasolle kuin yöaikana tai kuin pientaloissa.

Suurten rakennusten maanvastaiset lattiarakenteet koostuvat usein useista erillisistä laatoista, joiden väliset saumat lisäävät radonpitoisen ilman vuotoja.

Radonpitoisuus on pääsääntöisesti työaikana merkittävästi alempi kuin illalla ja yöllä. Pelkällä poistoilmanvaihdolla varustetuissa rakennuksissa alipaineisuuden ja ilmanvaihdon muutokset päivä- ja yöaikaan saattavat toisaalta aiheuttaa merkittävästi korkeamman radonpitoisuuden päiväaikana. Voimakkaat kohdepoistot voivat myös vaikuttaa merkittävästi. Ilmanvaihtuvuuden ja alipaineisuuden vaikutus maaperästä tulevaan radonpitoisen ilman virtaukseen eri vuorokaudenaikoina voi olla hyvinkin mutkikasta ja vaatia asiantuntijaselvityksiä.

Työpaikkojen radonimuriratkaisuissa on tyyppillisesti käytetty useita imupisteitä, jotka voidaan kytkeä yhteen tai useampaan poistopuhaltimeen.

Radonkaivoa on käytetty menestyksellä sora-alueille rakennettujen suurten rakennusten radonkorjauksissa. Laajojen rakennuksien ympärille on jouduttu asentamaan useita imureita, joiden tehot ovat tyyppillisesti 150–350 W. Lähtötasot ovat olleet tyyppillisesti useita tuhansia Bq/m³. Rakennukset ovat sijainneet karkeilla soramailla. Samoin kuin pientaloissa radonkaivon paras paikka on rinneratkaisuissa ylärinteen puolella.

Rakenteiden tiivistämistä on käytetty myös teollisuusrakennusten radonongelmien hoidossa. Esim. suurien hallien lattialaatat muodostuvat useista erillislaatoista, joiden liitokset on jätetty tiivistämättä. Lattian lävistävien pilarien ja laatan liitoskohtien saumat tulee myös tiivistää. Tiivistämistyötä edesauttaa se, että suurissa rakennuksissa lattiasaumamat ovat usein avoinna ja niitä päästään tiivistämään purkamatta rakenteita. Betonilaattojen saumaukseen on tarjolla enemmän ammattilaisten kokemusta kuin pientalojen lattiasaumojen käsittelystä.

Kuvat 11.1 ja 11.2 esittävät lattian halkeamien ja vuotavan tarkistuskaivon tiivistämistöitä suuressa yliopistorakennuksessa. Lattian halkeamien lisäksi tiivistettiin liikuntasauvoja sekä lattian ja seinien välisiä rakoja. Rakojen, halkeamien ja tarkistuskaivojen tiivistämisellä pystyttiin alentamaan merkittävästi suurten huonetilojen radonpitoisuutta.

Useimmat työpaikkojen radonkorjaukset on suoritettu säätämällä tai parantamalla olemassa olevaa ilmanvaihtojärjestelmää. Aikaistamalla tehos-

tetun ilmanvaihdon käyttöönottoa on saavutettu hyviä tuloksia useasti. Valtaosassa kohteita ajastus kolme tuntia ennen työajan alkua on ollut hyvä valinta. Ilmanvaihdon oikea-aikaisella käynnistämällä taataan se, että radonpitoisuus on alhainen jo työntekijöiden saapuessa aamulla töihin. Ongelmakohteissa radonpitoisuus on saattanut olla ensimmäisinä työtunteina vielä tuhansia Bq/m³, mikä nostaa työnaikaisen radonpitoisuuden keskiarvon yli toimenpiderajan.

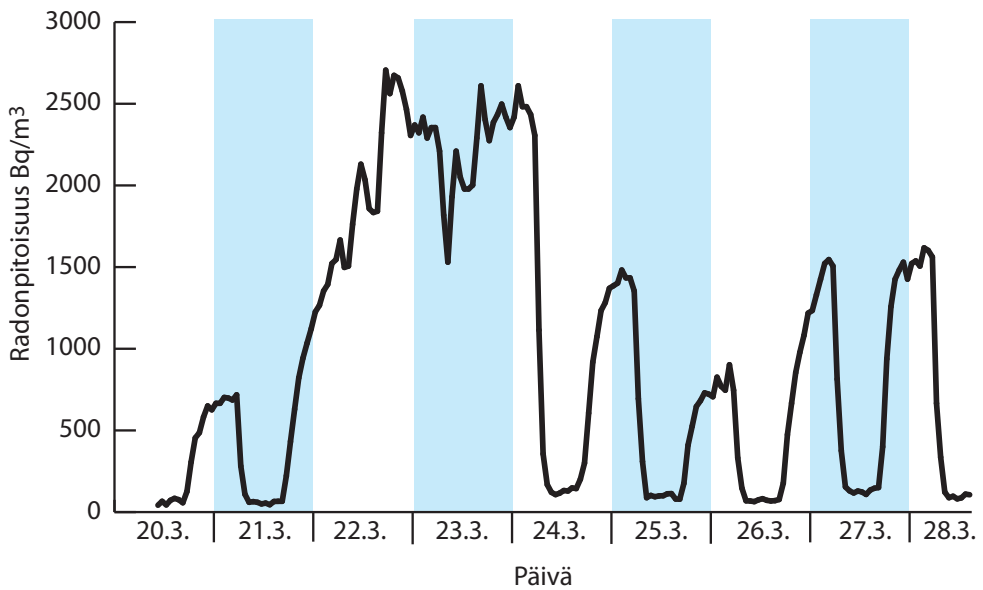
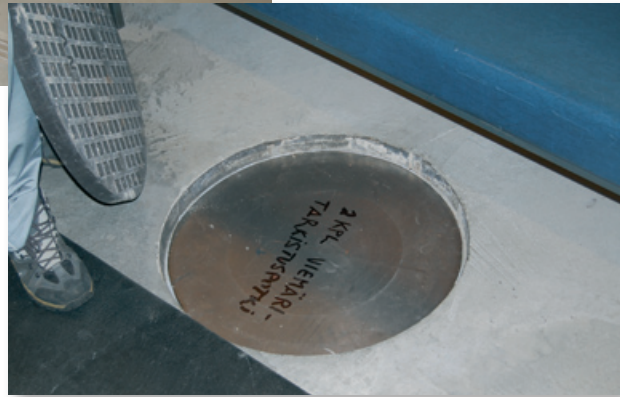
Kuva 11.3 esittää radonpitoisuuden voimakasta yö- ja päivävaihtelua työpaikalla, jossa mitattiin kaksi kuukautta kestäväällä mittauksella radonpitoisuuden keskiarvoksi yli 1 000 Bq/m³. Työpaikalla aikaistettiin tehostetun ilmanvaihdon aloitusaikaa aamulla kello viiteen. Tämän jälkeen suoritettiin kuvan mukainen tarkistusmittaus radonmonitorilla. Mittaus osoitti että klo 7 radonpitoisuus on noin 400 Bq/m³ ja työnaikainen pitoisuus klo 8–16 on 100 Bq/m³. Koko viikon mittaisen jakson keskiarvo on noin 1 000 Bq/m³, vaihtelualue 40–2 710 Bq/m³. Ilman käyttöajan aikaistusta työnaikainen keskimääräinen radonpitoisuus olisi ylittänyt enimmäisarvon 400 Bq/m³.

Kun työpaikan radonpitoisuuden keskiarvo ylittää 2 kuukautta kestävässä mittauksessa enimmäisarvon 400 Bq/m³, tutkimuksia jatketaan usein mittaamalla työnaikainen radonpitoisuus jatkuvasti rekisteröivällä radonmittarilla. Käyttöaikoja säättämällä on saavutettu alle 400 Bq/m³ pitoisuus useimmissa sellaisissa tulo- ja poistoilmanvaihdon kohteissa, joissa radonpitoisuus on ollut alle 1 500 Bq/m³. Koneellisen poiston kohteissa korjaaminen on ollut huomattavasti vaikeampaa.



Kuva 11.1. Yliopistorakennuksen kellarikäytävän lattian halkeamien tiivistäminen suoritettiin epoksi-pinnoitteella.

Kuva 11.2. Vuotava salaojien tarkastuskaivon kansi on kuvassa tiivistetty sulkemalla se tiivistetyllä metallikannella.



Kuva 11.3. Radonpitoisuuden voimakasta vaihtelua työpaikalla päivä- ja yöaikana.

12 Asunnon tutkimuksissa käytettävistä mittauksista

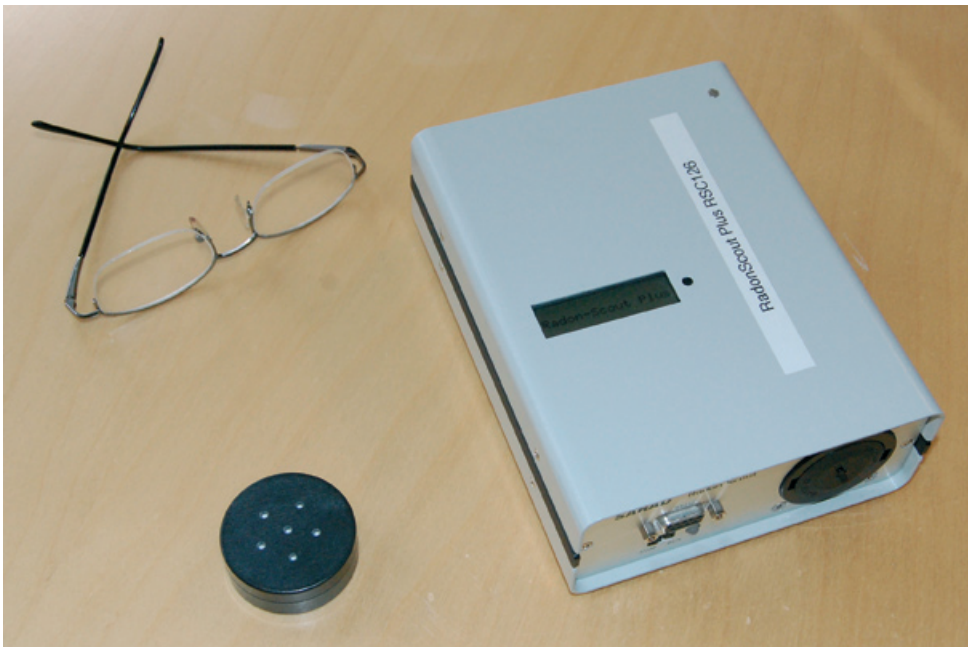
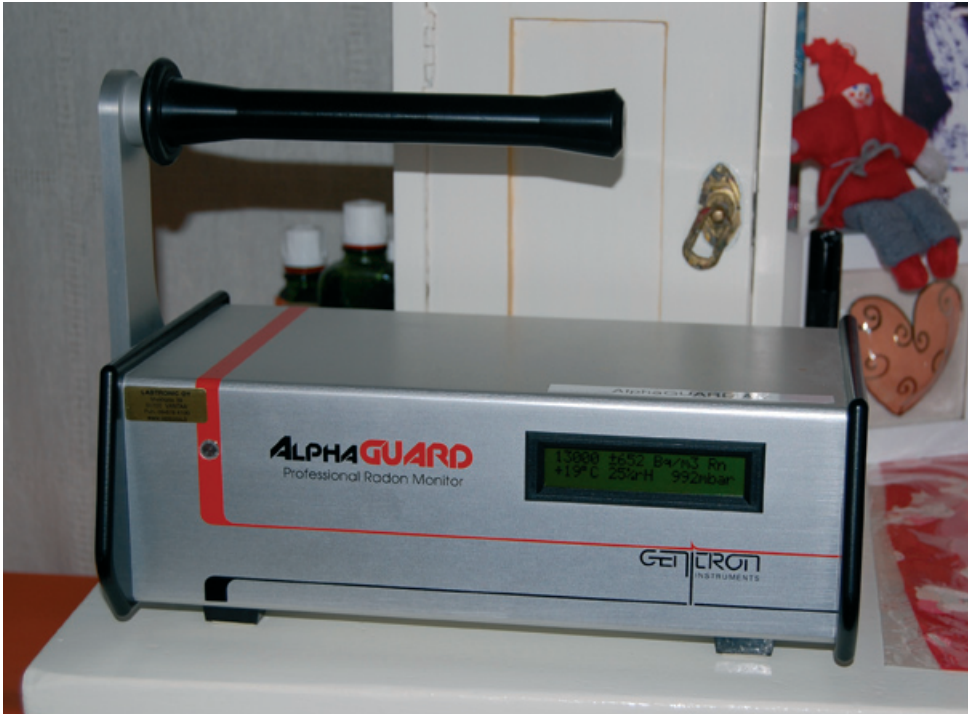
12.1 Radonpitoisuuden mittaaminen

Radonpitoisuus sisäilmassa vaihtelee. Vuodenaika, säätilojen päivittäinen vaihtelu ja asuminen talossa vaikuttavat merkittävästi pitoisuuteen. On tärkeätä, että radonpitoisuus ennen korjausta mitataan Säteil yturvakeskuksen 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 terveydensuojeluviranomaisilla, yrityksillä ja oppilaitoksilla on tällaisiin mittauksiin sopivia laitteita. Mittauksilla voidaan todeta, onko radonpitoisuudessa tapahtunut selvä muutos. Monet kuvat tässä raportissa, esim. kuva 11.3, esittävät tällaisen mittauksen tulosta, jossa radonpitoisuus on tallennettu tunnin välein keskiarvona. Kuva 12.1 esittää Säteilyturvakeskuksen käyttämiä jatkuvasti rekisteröiviä mittalaitteita ja postitse toimitettavaa radonmittauspurkkia.

Jatkuvasti rekisteröivällä mittauksella nähdään nopeasti onko selvää muutosta tapahtunut ja tulos voi auttaa korjauksen jatkosuunnittelussa. Nopeat mittaukset eivät kuitenkaan anna aina luotettavaa tulosta. Niiden tulkinta vaatii kokemusta ja ammattitaitoa. Esim. radonkaivon tapauksessa radonpitoisuuden aleneminen voi kestää yli viikon ajan. Säätilan muutokset voivat myös sekoittaa havaintoja. Voimakkaimpia muutokset ovat harjualueilla, joilla radonpitoisuus voi muuttua tekijällä 10 kymmenen tunnin aikana tuulen suunnan muuttuessa. Korjaustoimen vaikutus on aina varmistettava Säteilyturvakeskuksen hyväksymällä menetelmällä, vähintään kahden kuukauden mittauksella lämmityskautena.

Harjualueet voivat olla ongelmallisia radonpitoisuuden poikkeavan vuosi-vaihtelun vuoksi. Jyrkkämuotoisen harjun lakialueella 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.



Kuva 12.1. Jatkuvasti toimivia radonmittalaitteita sekä postitse toimitettava radonmittauspurkki, jota käytetään radonpitoisuuden pitkän ajan keskiarvon määrittämiseen.



Kuva 12.2. Alipaineen mittaamiseen käytettäviä mikromanometrejä. Alipaine ulkoilmaan nähden mitataan ikkunan raosta kulkevan ohuen putken avulla.

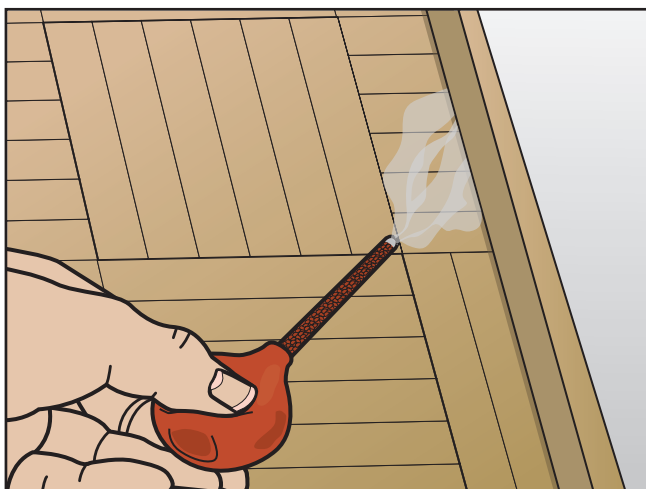
12.2 Alipaineisuuden mittaaminen

Asunnossa vallitseva alipaine on tyypillisesti 1 – 10 Pa (pascalia). Tämä on pieni alipaine verrattuna normaaliin ilmanpaineeseen, joka on 100 000 Pa. Toisaalta jo yhden pascalin alipaine on niin suuri, että se pakottaa maaperän radonpitoisen ilman virtaamaan sisätiloihin. Näin pienien paineiden mittaamiseen tarvitaan erityinen mittalaite, jota kutsutaan mikromanometriksi. Kuva 12.2 esittää Säteilyturvakeskuksen käyttämiä laitteita. Paine-ero mitataan tavallisesti tuuletus-ikkunan tai ulko-oven raosta. Mittauksen aikana ovien ja ikkunoiden tulee olla suljettuina, koska raollaan oleva ikkuna laskee alipaineen tehokkaasti. Alipainemittari mittaa paine-eron sisäilman ja ulkoilman välillä mittariin kytketyn ohuen kuparisen tai muovisen putken avulla. Mittausputken tulee olla niin ohut, että se mahtuu ikkuna raosta ulos. Ikkuna tulee saada kunnolla kiinni vaikka mittausputki jää ikkunan ja karmin väliin.

Alipaine vaihtelee voimakkaasti, jos sää on tuulinen. Tällöin tuulen puolella voi vallita huomattavasti erilainen alipaine kuin asunnon toisella puolella tuulen alapuolella. Jos sää on tuulinen, on usein parasta tehdä mittaus uudestaan tyynen sään vallitessa.

12.3 Merkkisavun käyttö

Merkkisavulla voidaan tutkia ilmavirtauksia asunnon eri osien välillä mutta myös alapohjan kautta tapahtuvia ilmavirtoja. Kaupallisesti on tarjolla sekä kemiallisiin reaktioihin että palamiseen perustuvia merkkisavuja. Joskus ilmavirran suunta on nähtävissä jo tulitikun avulla saatavalla ”kertasavulla”. Kuva 12.3 esittää kumisella ilmapumpulla varustettua merkkisavulaitetta.



Kuva 12.3. Merkkisavulaitteen käyttöä lattialaatan ja sokkelin välisen raon ilmavirran havaitsemisessa. Kuvan esimerkissä asunnossa oli radonimuri ja merkkisavu virtasi raon kautta lattialaatan alle.

12.4 Merkkiainetutkimukset

Perustusten alta virtaavan maaperän radonpitoisen ilman vuotoja voidaan erikoistapauksissa tutkia myös merkkiainemenetelmällä. Suomessa tällaisissa tutkimuksissa on käytetty merkkiaineena 5 % vetyä ja 95 % typpeä sisältävää kaasua. Tutkimuksissa kaasu on johdettu lattialaatan alle laskemalla kaasua laatan alle asennettuun radonputkistoon. Mikäli radonputkistoa ei ole käytettävissä, sokkeliin on porattu reikiä merkkikaasun saamiseksi laatan alle. Radonputkistoon merkkikaasu on mahdollista johtaa runsaan ilman kanssa kytke-mällä putkistoon kanavapuhallin. Tällöin kaasu leviää nopeasti ja tasaisesti putkistoon ja siitä laatan alle täyttösoraan.

Sisätiloissa vuotoa tutkitaan kannettavalla vetyilmaisimella kuvan 12.4 esittämällä tavalla. Mittausmenetelmä on hyvin herkkä ja pystyy havaitsemaan myös vuotoja, jotka eivät radonpitoisuuden kannalta ole merkittäviä. Lattian ja sokkelin välisen raon kautta tapahtuvat vuodot on menetelmällä helppo todeta, jos kaasu saadaan leviämään laatan alle. Menetelmällä voidaan löytää kote-loiden sisällä olevia tiivistämättömiä läpivientejä.



Kuva 12.4. Vuodon etsintää lattian ja putkistokanavan liitoksesta (A). Myös lattian ja seinän välinen rako oli vuotava. Vesi- ja viemäriputkikanava osoittautui merkittäväksi vuotoreitiksi. Putkikanava on yhteydessä ilmanvaihtokotelointiin, jota myöten radon-pitoinen ilma leviää muihin tiloihin (B).

13 Radonkorjausten hinta

Radonimurin hinta muodostuu suunnittelu-, rakennus- ja sähkötyökustannuksista sekä laite- ja tarvikkekuluista. Valmis lämpöeristetty noin 70 cm poistoputkella varustettu katolle asennettava huippumuri maksaa 250–300 euroa. Huippumurille tarvitaan myös katteen mukaan valittava läpivientisarja, joiden hinnat ovat 50–150 euroa. Poistohormiksi sopiva viemäriputki maksaa ostettavien osien pituudesta riippuen 3–6 euroa metri. Sokkelin läpi toteutetun radonimurin hintaan vaikuttaa ratkaisevasti sokkelin läpäisyyn ja putken asennuksen työkustannukset. Läpivientiin asennettava koteloimaton huippumuri maksaa noin 200 euroa. Sekä katolle että sokkeliin asennettava imuri kannattaa varustaa sähköisellä tehonsäätimellä, jonka hinta on noin 100 euroa. Kokonaiskulut yhden imupisteen imurille ovat tyypillisesti 1 700 – 3 000 euroa.

Radonkaivoon sopivat 150–350 W kanavapuhaltimet maksavat 150–300 euroa. Kaivoputkeksi soveltuu hyvin esim. salaojien tarkastuskaivoksi tehty halkaisijaltaan 315 mm oleva putki. Kuuden metrin putki maksaa 70–100 euroa. Puhaltimen liitäntäosat kaivo- ja poistoputkeen saa LVI-alan yrityksiltä. Tarvittaessa poistoputki kannattaa sijoittaa korkealle ja etäämmäksi kaivosta vaikka työt lisäävätkin kustannuksia. Poistoputken lämmöneristys ja tarvittaessa myös äänenvaimennin on huomioitava. Kustannuksia tulee myös sepelistä ja kaivon täyttemaasta. Työkustannuksia aiheutuu kaivinkoneen käytöstä, maa-aineksien kuljetuksesta, putkiston asennuksesta, lämmöneristystyöstä ja sähköasennuksesta. Kokonaiskulut ovat tyypillisesti 2 500 – 4 500 euroa.

Ilmanvaihtoteknisten korjausten hinta vaihtelee suuresti. Ilmanvaihtokoneen käyttöajan lisääminen, poiskytketyn laitteen käynnistäminen tai tuloilmaventtiilien avaaminen eivät aiheuta välittömiä kuluja. Kallein toimenpide taas on uuden tulo- ja poistoilmanvaihtolaitteiston asentaminen.

Yhden ulkoilmaventtiilin tarvikehintaa on 30–50 euroa. Asennettuna ulkoilmaventtiili yhteen asuntoon maksaa tyypillisesti 150–200 euroa. Taloyhtiöissä, joissa korjataan useita asuntoja, hinnat voivat olla alhaisempia.

Poistoilmanvaihtojärjestelmän asentaminen painovoimaisen ilmanvaihdon taloon maksaa tarvikkeiden osalta tyypillisesti 1 000 – 1 500 euroa. Tarvikkeisiin kuuluu katolle asennettava huippumuri, kätteeseen sopiva läpivienti, säätimellä varustettu liesikupu, kanavisto ja venttiilit. Työkulut ovat tyypillisesti 1 000– 2 000 euroa ja tätä enemmän, jos rakenteita avataan ja koteloidaan runsaasti.

Uuden tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän tarvikkeisiin kuuluu lämmön talteenottava ilmanvaihtolaite, ulospuhallushajottaja katolle, kattoläpivienti, äänenvaimentimet, kanavisto ja venttiilit. Tarvikkeiden osuus kuluista on 3 000 – 4 500 euroa. Kokonaiskulut ovat tyypillisesti 8 000 –12 000 euroa.

Korjausten ylläpitokulut

Radonimurin ja -kaivon osalta korjausten ylläpitokuluihin vaikuttavat sähkönkulutus, huolto ja radonpitoisuuden tarkistusmittaukset. Radonimurin puhaltimen tehon ollessa 50 W vuotuiset sähkökustannukset ovat 50 euroa (sähkön kokonaishinta 0,11 euroa/kWh). Vastaavasti radonkaivon 150 watin puhaltimen käyttö maksaa 150 euroa vuodessa. Huoltokuluja voidaan arvioida olettamalla puhaltimen uusimistarpeeksi kerran kymmenessä vuodessa. Radonkaivojen puhaltimista saatujen käyttökokemusten perusteella vaihtoväli on huomattavasti suurempi kuin kymmenen vuotta. Radonpitoisuuden tarkistusmittaus on syytä tehdä ainakin kerran viidessä vuodessa.

Taulukko 13.1. Radonkorjausten tarvike- ja kokonaiskuluja, arviot perustuvat vuoden 2012 alun hintatasoon.

Korjausmenetelmä	Tarvikkeet euroa	Kokonaiskulut, hinta-alue euroa
Radonimuri lattian läpi, yksipisteimuri	500–650	2000–3500
Radonimuri lattian läpi, monipisteimuri	550–800	2200–5500
Radonimuri sokkelin läpi	250–450	2200–4500
Radonkaivo	500–1000	2800–5000
Vuotojen tiivistäminen	50–200 ¹⁾	¹⁾
Ulkoilmaventtiilien asennus, 4 venttiiliä	150–250	700–1000
Tulo- ja poistoilmanvaihto, järjestelmän asennus	3500–5000	9000–15000
Poistoilmanvaihtojärjestelmän asennus	1100–1700	2800–6000

¹⁾ Tiivistystöissä rakenteiden purkamisen tarve vaihtelee suuresti. Tarvikekulut ovat arvio tyyppillisistä saumaustarvikkeiden kuluista matalaperustaisessa talossa, jossa tiivistetään lattian ja sokkelin välistä rakoa. Läpivientien tiivistämisen voi toteuttaa pienemmillä tarvikekuluilla. Maanvastaisten rakenteiden tiivistämistä ohutrappauksella ja niihin liittyviä purku- ja uudelleenrakennustöitä ei ole arvioitu.

14 Radonin torjunta uudisrakentamisessa

14.1 Määräykset ja ohjeet

Uutta taloa rakennettaessa voidaan merkittävästi vaikuttaa sisäilman radonpitoisuuteen yksinkertaisilla ja hinnaltaan edullisilla toimenpiteillä. Uudisrakentamisen tavoitteena on päästä mahdollisimman alhaiseen radonpitoisuuteen. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 (Ympäristöministeriö 2012), Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto sekä sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen perusteella uudet rakennukset tulee suunnitella ja rakentaa siten, että sisäilman radonpitoisuus on alle 200 Bq/m³. Vuonna 2004 voimaan tulleen Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B3 (Ympäristöministeriö 2004), Pohjarakenteet, määräysten mukaan rakennuspaikan radonriskit on otettava huomioon suunnittelussa ja rakentamisessa. Ohjeen mukaan radontekninen suunnittelu voidaan jättää tekemättä vain, jos paikkakuntakohtaiset radontutkimukset selkeästi osoittavat, että radonpitoisuus asunnoissa alittaa enimmäisarvon säännönmukaisesti. Mikäli radonia ei huomioida suunnittelussa, kirjalliset perustelut tästä on liitettävä rakennuskohteen suunnitelmasiikirjoihin.

Useiden kuntien rakennusjärjestyksissä on esitetty vaatimus radontorjuntatoimista uudisrakentamisesta koko kunnan alueella. Näillä päätöksillä on selkeytetty tilannetta ja saatettu vaatimukset vastaamaan rakentamisesta ja sisäilman radonpitoisuudesta annettuja määräyksiä.

Radonturvallisesta perustuksesta on julkaistu vuonna 2003 ohjekortti RT 81-10791 Radonin torjunta (Rakennustieto 2003). Ohje antaa perustiedot radonturvallisen perustuksen toteutuksesta. Kortti korvaa vuonna 1994 julkaistun ympäristöministeriön aikaisemman oppaan (Ympäristöministeriö 1994), jonka ohjeita on tarkistettu tutkimushankkeiden ja kokemusten pohjalta.

Rakennuttajan kannattaa vaatia suunnittelijalta ja rakentajalta radontorjunnan suunnittelua ja työn toteutusta RT-ohjekortin mukaisesti. Radonteknisten ratkaisujen tulee näkyä rakennuslupa-asiakirjoissa. Pientalotoimittajilta kannattaa vaatia RT-ohjekortin mukainen ratkaisu perustuksen mallikuviin.

14.2 Perustustavan vaikutus

Radonpitoisuuteen voidaan vaikuttaa perustustavan valinnalla. Perustusratkaisu vaikuttaa myös kohteessa tarvittavien radonteknisten ratkaisujen määrään. Alueilla, joilla on mitattu erittäin korkeita radonpitoisuuksia, perustusratkaisun valinnalla on suuri merkitys radontorjunnan onnistumiseen. Ratkaisevaa on,

kuinka hyvin perusratkaisulla estetään maaperän radonpitoisen ilman pääsy rakennuksen sisätiloihin. Radonturvallisia perustapoja ovat

- tuulettuva alapohja (ryömintätilainen perustus)
- yhtenäinen saumaton laattaperustus
- maanvarainen laatta, jossa laatta valetaan erillisenä perusmuurin sisään, jos laatan ja sokkelin liitoksen tiiviyydestä huolehditaan.

Tuulettuvalla alapohjalla ja yhtenäisellä maanvaraisella laattalla varustetuissa taloissa esiintyy huomattavasti vähemmän radonpitoisuuden ylityksiä kuin perusmuurin sisään erikseen valetulla maanvaraisella laattalla varustetuissa taloissa.

Tuulettuva alapohja

Tuulettuvassa alapohjassa maaperästä tuleva radonpitoinen ilma laimenee, mikäli tuuletuksessa on ilmanvaihtoa. Ilmanvaihdon riittävyys saavutetaan noudattamalla tuuletusaukkojen koosta annettuja määräyksiä. Ilmanvaihdon varmistamiseksi on mahdollista asentaa tuuletukselta avoin pystyhormi vesikatkon yläpuolelle. Tuulettuvan alapohjan radontekniseen toimintaan vaikuttaa tuuletuksen riittävyys ja alapohjan tiiviys. Rakenteessa on kiinnitettävä erityistä huomioita alapohjarakenteen ja sen liitosten sekä läpivientikohtien tiiviyyteen. Parhaimmillaan puurakenteisissa tuulettuvan alapohjan taloissa radonpitoisuus jää hyvin pieneksi, alle 20 Bq/m³.

Uusissakin tuulettuvalla alapohjalla varustetuissa taloissa on mitattu enimmäisarvon 200 Bq/m³ ylityksiä. Syynä on ollut mm. seuraavia puutteita:

- Alapohjassa on avoin aukko talotekniikan putkille ja johdoille.
- Yksittäisiä läpivientejä ei ole tiivistetty.
- Matala ryömintätila tuulettuu huonosti ja hengittää kauttaaltaan puisten lattiarakenteiden läpi.

Yhtenäinen laattaperustus

Yhtenäisen saumattoman laatan etuna on se, että siihen ei synny rakoja perusmuurin ja laatan liitokseen. Ratkaisua kutsutaan myös reunavahvistetuksi laataksi. Se tarjoaa sellaisenaan tiiviin ratkaisun, eikä siinä tarvita laatan ja sokkelin liitoksen erityisiä tiivistystoimia. Korkealaatuinen lattialaatta ei päästä merkittävästi radonia lävitseen, jos siinä ei ole liitoskohtien rakoja tai halkeamia. Reunavahvistetussa laatasta tarvitaan paljon raudoitusta, mikä lisää kuluja ja on vähentänyt sen käyttöä. Reunavahvistetussa laatasta ainoaksi radonlähteeksi voi jäädä siten itse laatan betoniaines, jonka vaikutus on normaalisti vain noin 20 Bq/m³.

Läpivientien tiivistäminen on tärkeitä myös tässä ratkaisussa. Laadukkaasti toteutettuun reunajykistettyyn laattaan ei synny halkeamia, jotka saattavat lisätä ilmavuotoja maaperästä.

Yhtenäiselle laattaperustukselle rakennettavat maanvastaiset seinät saattavat kasvattaa radonvuotoja. Näiden torjunnassa on noudatettava RT-ohjekortin suosituksia.

Perusmuuri ja maanvarainen alapohja

Maanvarainen laatta, joka valetaan erikseen perusmuurin sisäpuolelle, on tullut viime vuosikymmeninä kaikkein käytetyimmäksi perustustavaksi pientaloissa. Tällaisen alapohjan liitosten kautta tapahtuva radonpitoisen ilman virtaus on merkittävin asuntojen radonlähde. RT-ohjekortissa keskitytäänkin suurelta osin juuri tämän perustustavan radonturvalliseen toteutukseen. Ohje sisältää kolme keskeistä toimenpidettä:

- Maanvaraisen laatan ja sokkelin liitosalue tiivistetään asentamalla yhtenäisen kaista kumibitumikermiä sokkelin päälle ja laatan reuna-alueen alle.
- Läpiviennit tiivistetään huolellisesti.
- Lisäksi laatan alle asennetaan salaojaputkisto. Jos radonpitoisuus ylittää valmiin asunnon tarkistusmittauksessa enimmäisarvon, aktivoidaan putkisto kytkemällä siihen imuri.

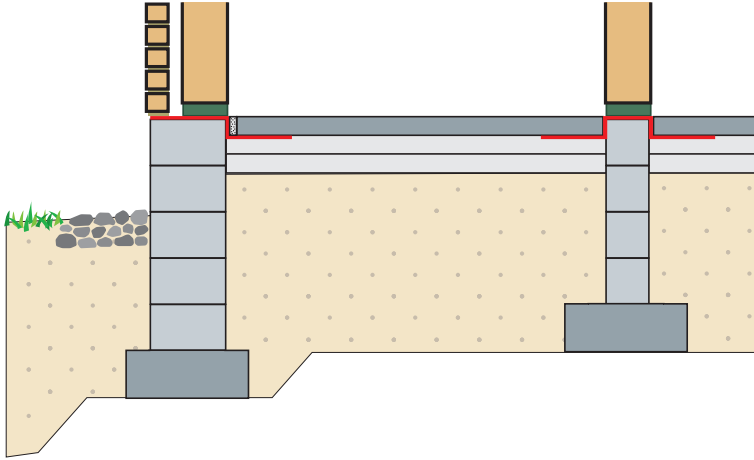
14.3 Maanvaraisen laatan tiivistäminen

RT-ohjekortti antaa yksityiskohtaiset ohjeet tiivistystyölle. Perusmuurin ja maanvaraisen laatan liittymä voidaan tiivistää kuvan 14.1 esimerkin mukaisesti. Bitumikermi asennetaan perusmuurin päälle ja edelleen maanvaraisen laatan alle vähintään 150 mm leveydeltä, hiekkapinta valua vasten. Kermi asennetaan niin, ettei se rakenteen kutistumisen, painumisen tai muiden liikkeiden vuoksi rikkoudu eikä irtoa rakenteista.

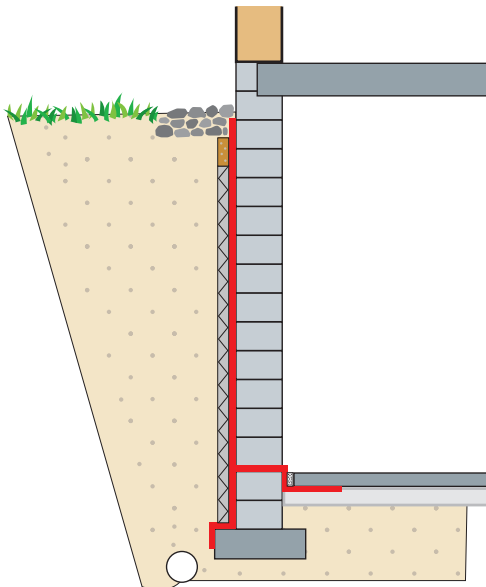
Kuva 14.2 esittää torjuntaa harkkorakenteisen kellariseinän tapauksessa. Seinä ohutrappataan ulko- ja sisäpinnalta. Rappaus pienentää merkittävästi harkkorakenteen läpi tapahtuvia virtauksia. Ulkopintaan ohutrappauksen päälle kiinnitetään kumibitumikermi. Kermi varmistaa vuotovirtausten torjuntaa sekä vähentää myös radonin kulkua diffusiivisesti rappauksen läpi. Harkkorakenteen pystysuuntaisten sisäisten vuotoreittien katkaisu kermillä on erittäin tärkeitä.

Ohjetta voidaan soveltaa kaikenlaisiin sokkelidetaljeihin. Suositeltava kermi on polyesteritukikerroksinen TL2-luokan kumibitumikermi, esimerkiksi K-MS 170/3000 hitsattavana tai liimattavana. RT-ohjekortissa on esitetty esimerkkikuvia myös kantaville väliseinille ja maanvastaisten seinien radonsuojaukselle.

Tiivistämistyöstä saatujen kokemusten perusteella kermien liitosten tiivistämiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Liitoksia syntyy suorien osien jatkoksiin ja kulmiin. Liitoskohdissa kermit on kiinnitettävä toisiinsa kuumentamalla. Tarvittaessa tulee käyttää bitumipohjaista kermiliimaa. Liitoksen reunat kannattaa joka tapauksessa vielä varmistaa bitumiliimalla (kuva 14.3).



Kuva 14.1. Perusmuurin ja maanvaraisen laatan liitoksen tiivistäminen RT-ohjekortin RT 81-10791 mukaisesti.



Kuva 14.2. Harkkorakenteisen kellari-seinän radontorjunta RT-ohjekortin RT 81-10791 mukaisesti.



Kuva 14.3. Bitumikermin asentaminen perusmuurin päälle ja nurkkaliitoksen tiivistäminen. Kuvat: Katepal Oy.

Läpivientien tiivistäminen

Läpiviennit voivat muodostaa merkittävän vuotoreitin maaperän radonpitoiselle ilmalle. Alapohjarakenteen alapuolelta rakennukseen tulevien sähköjohtojen, lämmitys-, vesi- ja viemäriputkien läpiviennit tai niiden suoja-putket voivat toimia radonin vuotoreittinä asuintiloihin. Laatassa olevien luukkurakenteiden tiivistäminen on myös tärkeätä. RT-ohjekortissa on esitetty tiivistämisesimerkkejä yksittäisille putkille ja putkiryhmille. Tiivistäminen suoritetaan elastisella saumaussmassalla sen jälkeen, kun tiivistettävä kohta on rajattu sopivalla pohjanauhalla tai täyteaineella.

Läpivientien ja laatan saumojen tiivistäminen tulee toteuttaa kaikkialla rakennuksessa. Tiivistämistöiden laiminlyönti esim. teknisessä tilassa tai varastotiloissa saattaa johtaa merkittävään radonpitoisuuden kasvuun asuintiloissa. Läpivientien tiivistäminen tulee suunnitella huolella, jotta työt tehdään oikea-aikaisesti. Jälkikäteen tiivistäminen voi edellyttää kalliita rakenteiden avaamisia.

14.4 Radonputkiston asentaminen

Rakennuspohjaan asennettavalla putkistolla varmistetaan sisäilman radonpitoisuuden hallinta, jos perustusrakenteisiin jää ilmavuotoja. Järjestelmän tarkoituksena on rakennuspohjan alipaineistaminen ja salaojakerroksen huokosilman radonpitoisuuden alentaminen. Tällöin sisätiloihin virtaavan ilman määrä ja radonpitoisuus pienenee.

Vapaasti tuulettuva putkisto alentaa radonpitoisuutta tyypillisesti 20–60 % (Arvela ym. 2010). Tämän vuoksi on tärkeitä viedä poistokanavan pää avoimena vesikaton yläpuolelle jo rakentamisvaiheessa. Tällöin myös välttyään valmiissa rakennuksessa tehtävistä muutostöistä, joita poistoputken asentaminen jälkikäteen edellyttää. Vapaasti tuulettuvan putkiston radonpitoisuutta alentava vaikutus perustuu putkistossa tapahtuvaan ilmanvaihtoon, joka syntyy lämpötilaerosta maaperän ja ulkoilman välillä sekä tuulen vaikutuksesta.

Mikäli radonpitoisuus kaikesta huolimatta ylittää enimmäisarvon 200 Bq/m^3 , kytketään poistokanavaan poistopuhallin. Puhallin alentaa radonpitoisuutta tyypillisesti 60–95 %. Radonputkistolla on myös kosteusteknisiä vaikutuksia. Putkiston aiheuttama ilmanvaihto poistaa kosteutta laatan alla ja maanvastaisten seinien lähellä olevista maa-aineksista.

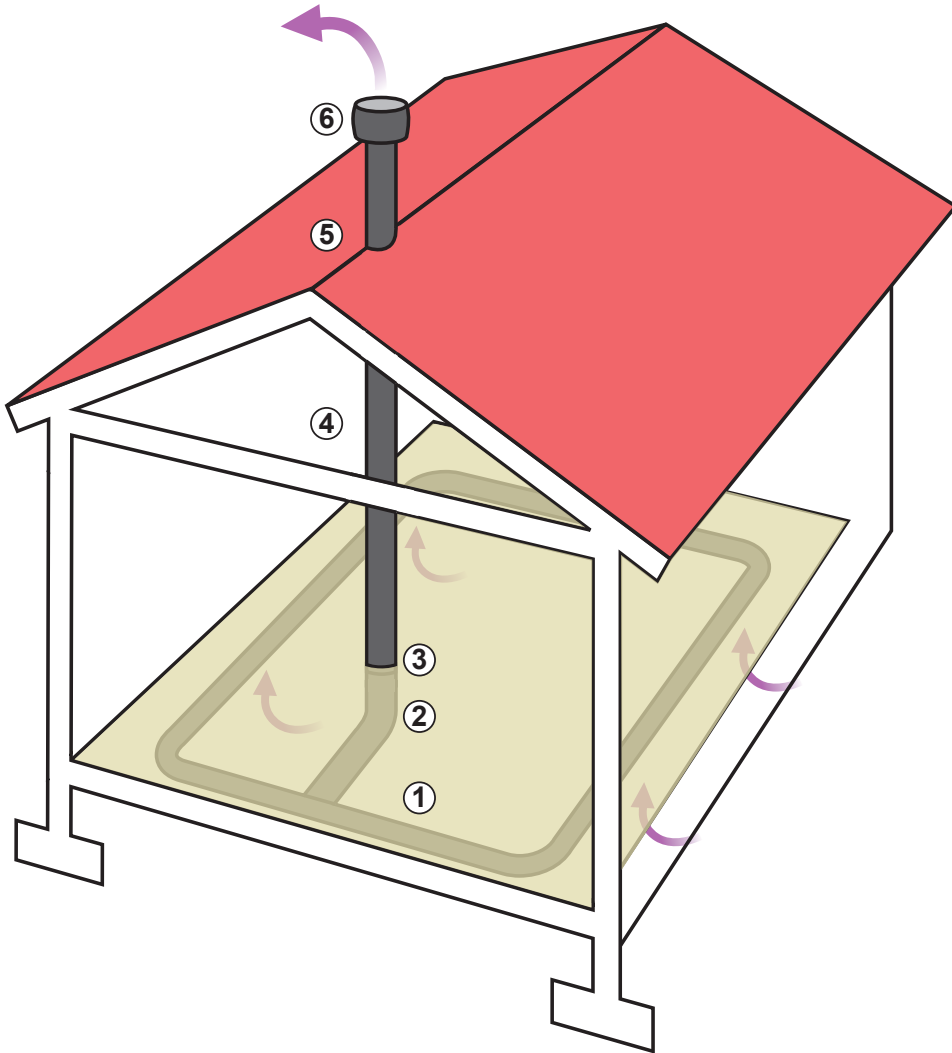
Putkiston asennuksessa on syytä noudattaa RT-ohjekortin mukaisia ratkaisuja. Näistä poikkeavat tavat saattavat johtaa huonosti toimivaan ratkaisuun.

Imukanavisto suunnitellaan joko rengasmalliseksi (kuva 14.4) tai monihaaraiseksi. RT-ohjekortti antaa mitoituksen eripituisille putkistoille. Putkisto sijoitetaan vähintään 200 mm lämmöneristeen alapuolelle. Putkistoon saavutetaan näin suurempi alipaine. Tuuletusjärjestelmä voidaan toteuttaa valmiilla kaupallisilla rakennus- ja ilmanvaihtotarvikkeilla. Markkinoilla on myös pientaloon sopivia radonputkistopaketteja, johon on koottu kaikki putket, liitoskappaleet ja tarvikkeet.

14.5 Järjestelmän aktivoiminen

Rakennuksen valmistuttua tehdään radonpitoisuuden tarkistusmittaus. Luotettavan tuloksen saamiseksi tulee lämmityksen ja ilmanvaihdon olla täysin valmiita ja normaalissa käytössä. Jos radonpitoisuus ylittää 200 Bq/m^3 , kytketään poistokanavaan poistopuhallin. Yksinkertaisin ratkaisu on käyttää valmiita poistokanavaan liitettävää huippuimuria. Sopiva huippuimurin teho on tavallisesti 30–70 W.

RT-ohjekortti antaa ohjeen poistopuhaltimen imemän ilmavirran mitoittamiseksi. Jos rakennuspohjasta imetään merkittävästi suunniteltua enemmän ilmaa, kasvaa perustusrakenteiden routimisriski. Ilmavirta mitoitetaan siten, että ilmavirta on $0,05 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($0,05 \text{ l/s}$, noin $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$) jokaista maanvastaista



Kuva 14.4. Radonputkiston asentaminen maanvaraisen lattialaatan alle.

Kuvan selitykset:

1. Imukanavisto, muovista salaojaputkea, etäisyys perusmuurista n. 1,5 m, vähintään 20 cm lämmöneristeen alapuolella
2. Siirtokanava, muovista viemäriputkea
3. Tiivistetty läpivienti lattialaataassa
4. Lämpöeristetty poistokanava
5. Läpivienti vesikatolla
6. Poistoputken hattu tai huippuimuri

laattaneliömetriä kohden. Esimerkiksi 100 m² laatalla mitoitusilmavirta on 5 dm³/s (5 l/s, noin 20 m³/h). Ilmavirta voi olla myös alhaisempi, jos radonpitoisuus täyttää vaatimukset. Korjausrakentamisesta annettu ohje (Ympäristöministeriö 1996) antaa mahdollisuuden myös suurempaan ilmavirtaan, mikäli varmistetaan siitä, että ilmavirtaus jakautuu tasaisesti rakennuspohjassa.

14.6 Imujärjestelmän puutteellinen toiminta

Imuputkisto on suunniteltu toimimaan olettaen, että laatan alla on tyypillisiä salaojatoran vaatimukset täyttäviä sora-aineksia. Nykyisin on siirrytty käyttämään murskeita lattialaatan alla täyttöaineksena. Murskeita voidaan käyttää myös sokkelin alla ja sen ulkopuolellakin.

Imuputkiston on havaittu toimivan puutteellisesti useissa kohteissa, joissa laatan ja sokkelin tai anturoiden alla on käytetty erittäin läpäiseviä kiviaineksia kuten sepeliä. Tällöin ei hyväksyttävillä ilmavirtauksilla ole pystytty alentamaan radonpitoisuutta riittävästi. Ilmavirtaukset, joilla radonpitoisuus alenisi saattavat ylittää mitoitusilmavirran monikymmenkertaisesti. Laatan alle ei synny riittävää alipainetta, eikä myöskään tuuletusvaikutus ole riittävä. Monessa kohteessa koneellisen poistoilmavaihdon aiheuttama korkea alipaineisuus on osaltaan vaikeuttanut imujärjestelmän toimintaa.

Havaitut puutteellisuudet imuputkiston käytössä korostavat tiivistystyön tarpeellisuutta.

15 Neuvonta ja avustukset

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

Säteilyturvakeskuksen internetsivulla on perustiedot radonin esiintymisestä, korjaamisesta ja radontorjunnasta uudisrakentamisessa (*www.stuk.fi*). Tämä korjausopas on myös tulostettavissa sivuilta.

Valtion budjettivaroista myönnettäviä korjausavustuksia voi tiedustella kunnan viranomaisilta. Vuonna 2012 avustuksia myöntää Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA (*www.ara.fi*). ARAn nettisivuilta on tulostettavissa Ohje terveyshaitta-avustuksen hakemiseen. Terveyshaitan poistamisesta aiheutuvien arvioitujen korjauskustannusten tulee olla vähintään 7 000 euroa. Avustuksen suuruus on enintään 70 % hyväksytyistä kustannuksista. Hakemus toimitetaan kunnan terveydensuojeluviranomaisille, jotka myös suorittavat terveyshaitan arvioinnin. Radonhaitan toteamiseksi tarvitaan kopio radonmittaustuloksesta. Hakemukseen on syytä liittää yksityiskohtainen korjaussuunnitelma, rakennuspiirustus ja kustannusarvio.

Kotitalousvähenys

Radonkorjauksesta aiheutuvat kulut oikeuttavat työn osalta kotitalousvähenyksen. Lisätietoja on saatavissa verohallinnon ohjeista (*www.vero.fi*) tai verohallinnon alueellisilta toimistoilta.

16 Palaute

Tekijät ottavat kiitollisina vastaan palautetta ja parannusehdotuksia sekä korjaustyöstä saatuja kokemuksia.

17 Kirjallisuusviitteet

Airaksinen M, Arvela H, Jokiranta K. Ilmanvaihto- ja radontutkimukset Tuusulan asuatomessualueella. Raportti B73. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, LVI-tekniikan laboratorio; 2002.

Arvela H, Mäkeläinen I, Holmgren O, Reisbacka H. Radon uudisrakentamisessa – Otantatutkimus 2009. STUK-A244. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2010.

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

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

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

Arvela H. Residential radon in Finland: Sources, variation, modelling and dose comparisons. STUK-A124. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1995.

Arvela H. Asuntojen radonkorjauksen menetelmät. STUK-A127. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1995.

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

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

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

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

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

Kettunen A-V, Rissanen R, Viljanen M, Arvela H. Imupistejärjestelmän radontekninen toiminta eri tyyppisissä pien- ja rivitaloissa. Teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka, Julkaisu 62. Espoo: Teknillinen korkeakoulu; 1997.

Korhonen P. Factors affecting occupational radon exposure. People and Work Research Reports nro 86. Helsinki: Työterveyslaitos; 2009.

Kurnitski J, Jokiranta K, Matilainen M. Koneellisen poistoilmanvaihdon parantaminen. Radon, vuotoilma ja korvausilma. Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio. Raportti B65, Espoo: Teknillinen korkeakoulu; 1999.

Lääkintöhallituksen ohjekirje nro 2/1986. Terveystoimintolain (469/65) ja -asetuksen (55/67) nojalla annetut huoneilman radonia koskevat ohjeet. Helsinki: Painatuskeskus Oy; 1986.

Mäkeläinen, I, Kinnunen, T, Reisbacka H, Valmari, T, Arvela, H. Radon suomalaisissa asunnoissa – Otantatutkimus 2006. STUK-A242. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2009.

Raatikainen (nyk. Pylvänäinen) S-K, Tuhola K. Radonkorjaukset Pispalanharjulla. Insinööriyö. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu; 2006.

Rakennustieto Oy. Radonin torjunta. RT ohjekortti RT 81-10791, 2003.

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

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös asuntojen huoneilman radonpitoisuuden enimmäisarvoista. n:o 944, 1992.

Sosiaali- ja terveysministeriö. Asumismisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1

Sosiaali- ja terveysministeriö. Asumismisterveysopas. Ympäristö ja terveys -lehti, 2009, 3. uudistettu painos.

Viljanen M, Lehtoviita T, Kanerva P, Slunga E. Radonin merkitys talonrakennustekniikassa. Radontekninen suunnittelu. Teknillinen korkeakoulu, Rakennetekniikan laitos, julkaisu n:o 88, Espoo: Teknillinen korkeakoulu; 1987.

Säteilyturvakeskus. Asuntojen radonkorjaaminen. STUK Tiedottaa 1/92. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1992.

Voutilainen A, Mäkeläinen I, Pennanen M, Reisbacka H, Castrén O. Suomen radonkartasto. STUK-A148. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1997.

Ympäristöministeriö. Radonkorjausrakentaminen, korjauskohteet. Tutkimuksia 5/1986. Helsinki: Valtion painatuskeskus; 1986.

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

Ympäristöministeriö. Pien- ja rivitalojen radontekninen korjaus. Imupistemenetelmä. Ympäristöopas 4. Helsinki: Oy Edita Ab; 1996.

Ympäristöministeriö. Kosteus, Määräykset ja ohjeet. 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C2.

Ympäristöministeriö. Pohjarakenteet, Määräykset ja ohjeet. 2004. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa B3.

Ympäristöministeriö. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2.

LIITE A ASUNNON RADONPITOISUUDEN LASKENTA JA MALLINTAMINEN

Radonpitoisuuden laskenta

Asunnon radonpitoisuus voidaan laskea seuraavien yhtälöiden avulla:

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

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

A	sisäilman radonpitoisuus, Bq/m ³
S	radonlähteen lähdevoimakkuus, Bq/h
Q	maaperän radonpitoisen ilman virtaus sisätiloihin, m ³ /h
C	maaperän huokosilman radonpitoisuus, Bq/m ³
V	asunnon tilavuus, m ³
N	asunnon ilmanvaihtuvuus, 1/h

Esimerkki

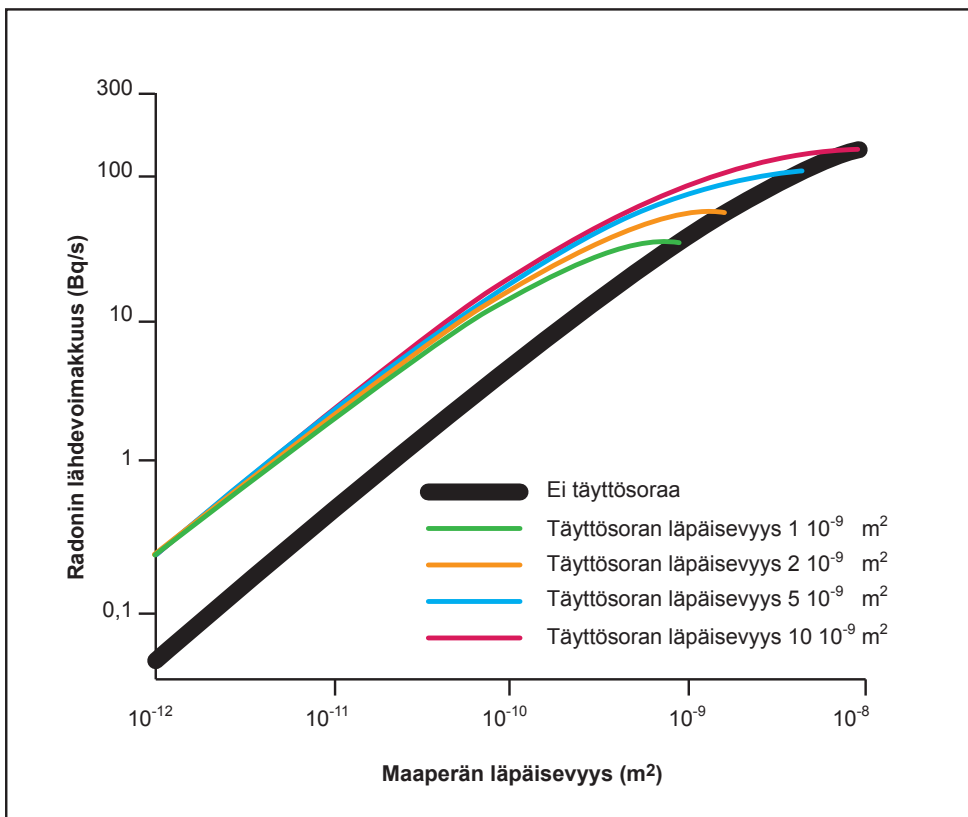
Maaperän huokosilman radonpitoisuus (C) on 50 000 Bq/m³, huokosilmaa virtaa asuntoon (Q) 1 m³/h, asunnon tilavuus (V) on 250 m³ (pinta-ala 100 m² ja asunnon korkeus 2,5 m) ja ilmavaihtuvuus 0,5 1/h (ilma vaihtuu kerran kahdessa tunnissa). Sijoittamalla nämä yhtälöön (2), saadaan sisäilman radonpitoisuudeksi (A) 400 Bq/m³.

Radonpitoisuuden mallintaminen

Kuva 1 esittää mallilaskujen antamaa radonpitoisen ilman virtausta maaperästä sisätiloihin. Kuvan perusteella maaperän ilmanläpäisevyys vaikuttaa ratkaisevasti vuotoilman virtauksen määrään. Kuvassa virtaus on annettu radonvirtauksena (Bq/s). Esimerkiksi 10 Bq/s vastaa kuvan esimerkissä radonpitoisen ilman virtausta, joka on noin 0,3 l/s (1 m³/h). Kun maaperän läpäisevyys kasvaa hyvin suureksi, asuntoon virtaavan radonpitoisen ilman radonpitoisuus alkaa laimentua maaperään tulevan ulkoilman johdosta. Tämän vuoksi lähdevoimakkuus ei enää kasva tietyn rajan yläpuolelle.

Laatan alle laitettava 15 cm paksu alkuperäismaata läpäisevämpi täyttösorakerros kasvattaa vuotovirtausta tekijällä 3–5. Tämä johtuu läpäisevän aineksen pienemmästä virtausvastuksesta. Täyttösoran oma radontuotto ei ole merkitsevää, jos se on samaa suuruusluokkaa kuin alkuperäismaassa.

Kuvassa 1 X-akselin vasemmalla reunalla olevan maaperän ilmanläpäisevyys 10^{-12} m^2 edustaa maa-ainesta, jossa on jo runsaasti hienoa maa-ainesta, esim. sormoreenia. Suurinta läpäisevyyttä 10^{-8} m^2 taas edustaa taas jo melko karkea sora. Taulukko 1 antaa esimerkkejä maalajien ilmanläpäisevyydestä ja niiden raekoosta (Viljanen ym. 1987, RIL 2004). Lajittumattomissa maalajeissa (moreenit) on sekä hienoja että karkeita maalajeja. Sormoreenissa raekokojakauma on painottunut enemmän suuriin raekokoihin kuin hienempiin. Kuvassa 1 käytetyt täyttösora-ainekset, joiden ilmanläpäisevyys on $10^{-9} \text{ m}^2 - 10^{-8} \text{ m}^2$, ovat seulottua soraa, jonka raekoko on useista millimetreistä kymmeniin millimetreihin. Siten ne edustavat tyypillistä Suomessa käytettävää täyttösora-ainesta. Murskattu sepeli on vieläkin läpäisevämpää.



Kuva 1. Radonin virtausnopeus kellarilliseen asuntoon. Perusmuurin ja laatan välinen rako on 3 mm. Radonpitoisuus syväällä maaperän huokosilmassa on $37\,000 \text{ Bq/m}^3$. Täyttösoran paksuus laatan alla 15 cm. Paine-ero ulkoilmaan nähden kellarissa on 5 Pa. (Revzan ja Fisk, 1992)

Taulukko 1. Maalajien ilmanläpäisevyys ja rakeiden läpimitta.

Maalaji tai -lajite	Ilmanläpäisevyys m ² Suuruusluokka	Rakeiden läpimitta mm
Savi	10 ⁻¹⁵	< 0,002
Siltti	10 ⁻¹⁴	0,002 – 0,06
Hiekkamoreeni	10 ⁻¹³	lajittumaton
Soramoreeni	10 ⁻¹²	lajittumaton
Hiekka		0,06 – 2,0
hienohiekka	10 ⁻¹¹	0,06 – 0,2
keskihiekka	10 ⁻¹⁰	0,2 – 0,6
karkeahiekka	10 ⁻⁹	0,6 – 2,0
Sora		2,0 – 60
hienosora	10 ⁻⁹	2 – 6
keskisora	10 ⁻⁸	6 – 20
karkeasora	10 ⁻⁷	20 – 60
Kivet		60 – 600

Kirjallisuusviitteet

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

RIL 121-2004. Pohjarakennusohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry; 2004.

Viljanen M, Lehtoviita T, Kanerva P, Slunga E. Radonin merkitys talonrakennustekniikassa. Radontekninen suunnittelu. Teknillinen korkeakoulu, Rakennetekniikan laitos, julkaisu n:o 88. Espoo: Teknillinen korkeakoulu; 1987.

STUK-A-sarjan julkaisuja

STUK-A252 Arvela H, Holmgren O, Reisbacka H. Asuntojen radonkorjaaminen. Helsinki 2012.

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

STUK-A250 Nylund R. Proteomics analysis of human endothelial cells after shortterm exposure to mobile phone radiation. Academic dissertation. Helsinki 2011.

STUK-A249 Salomaa S, Sulonen N (Eds.). Research projects of STUK 2009–2011. Helsinki 2011.

STUK-A248 Salomaa S, Sulonen N (Eds.). Research activities of STUK 2005–2010. Helsinki 2011.

STUK-A247 Larjavaara S. Occurrence studies of intracranial tumours. Doctoral thesis. Helsinki 2011.

STUK-A246 Lahkola A. Mobile phone use and risk of brain tumours. Doctoral thesis. Helsinki 2010.

STUK-A245 Valmari T, Mäkeläinen I, Reisbacka H, Arvela H. Suomen radonkartasto 2010 – Radonatlas över Finland 2010 – Radon Atlas of Finland 2010. Helsinki 2010.

STUK-A244 Arvela H, Mäkeläinen I, Holmgren O, Reisbacka H. Radon uudisrakentamisessa – Otantatutkimus 2009. Helsinki 2010.

STUK-A243 Toivonen T. Microwave dosimetry in biological exposure studies and in practical safety evaluations. Doctoral thesis. Helsinki 2010.

STUK-A242 Mäkeläinen I, Kinnunen T, Reisbacka H, Valmari T, Arvela H. Radon suomalaisissa asunnoissa – Otantatutkimus 2006. Helsinki 2009.

STUK-A241 Saxén R, Outola I. Vesistöjen ja juomaveden ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr ja ³H sekä pitoisuuksien arviointi valmiustilanteessa. Helsinki 2009.

STUK-A240 Kostiainen E, Ylipieti J. Radioaktiivinen cesium Suomen ruokasienissä. Helsinki 2009.

STUK-A239 Toroi P. Patient exposure monitoring and radiation qualities in two-dimensional digital x-ray imaging. Doctoral thesis. Helsinki 2009.

STUK-A-raportit STUKin verkkosivuilla:

www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/fi_FI/tutkimusjulkaisut/



Laippatie 4, 00880 Helsinki
Puh. (09) 759 881, fax (09) 759 88 500
www.stuk.fi

ISBN 978-952-478-701-7 (PDF)
ISSN 0781-1705
Kopio Niini Oy, Helsinki 2012