

Lajunen Markus

Radonmittaukset ja radonsuojaukset
Esimerkkitapauksena Kontiolahden kunta

Opinnäytetyö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikka ja liikenne
Rakennustekniikan koulutusohjelma
2007



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikka ja Liikenne	Koulutusohjelma Rakennustekniikka
Tekijä Markus Lajunen	
Työn nimi Radonmittaukset ja radonsuojaukset Esimerkkitapauksena Kontiolahden kunta	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot	Ohjaajat Antti Muhonen ja Ulla Kettunen Toimeksiantaja Kontiolahden kunta
Aika Kevät 2007	Sivumäärä ja liitteet 72
Tiivistelmä Tämän insinöörityön tavoitteena on ollut kuvata radonin vaikutukset, sen alueellinen esiintyminen ja radonin suojaustekniikat. Käytännön osa-alueena on Kontiolahden kunnassa suoritettujen radonmittausten luokittelu ja analysointi. Työn on tilannut Kontiolahden kunta. Radon on hajuton ja mauton kaasu, joka voidaan havaita huoneilmasta ja vedestä vain erityisillä mittauksilla. Radonkaasu liikkuu kallioperän raoissa ja maaperän huokosissa, ja se tunkeutuu rakennuksiin rakenteiden kautta tai käytettäessä radonpitoista vettä. Asuntojen sisäilman radonista saavat suomalaiset vuosittaisesta säteilyannoksestaan noin puolet. Pitkäaikainen radonille altistuminen voi aiheuttaa keuhkosyöpää. Radonsuojauksessa tärkeintä on huolellinen rakentamistyö ja erilaisten vuoreittien, kuten peruslaatan läpi viettävien putkistojen ympäristön sekä seinän ja lattialaatan välisten rakojen tiivistäminen. Rakennuksen sisäilman radonpitoisuutta pystytään ratkaisevasti pienentämään erilaisten teknisten ratkaisujen kuten radonimurin ja radonkaivojen avulla sekä oikealla ilmanvaihdolla. Kontiolahden kunnassa on tehty useita laajoja radonmittauksia. Näiden tulosten ja maaperätietojen perusteella määritettiin osa-alueittain todennäköisimmät korkean radonin alueet ja toimenpidesuosituksien täydentäville mittauksille. Sora- ja hiekkaharjuilla radonpitoisuus oli yli kaksinkertainen moreenimaahan verrattuna. Radonmittaukset tulisi ensisijaisesti suunnata alueille, joissa maaperätietojen perusteella korkeat radonpitoisuudet ovat todennäköisiä. Mittausten tavoitehan on löytää kohteet, joissa rakennusten sisäilman radonpitoisuus on terveydelle vaaraksi.	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Radon, radonmittaukset, radonsuojaukset, sisäilma, maaperä
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Construction Engineering
Author(s) Markus Lajunen	
Title Radon Measurements and Radon Treatments in the Municipality of Kontiolahti	
Optional Professional Studies	Instructor(s) Ulla Kettunen, Antti Muhonen
	Commissioned by The municipality of Kontiolahti
Date Spring 2007	Total Number of Pages and Appendices 72
<p>The subject of this Bachelor's was to describe the effect of radon as well as its regional occurrence and the protection techniques. A practical part of this thesis is a case study in order to classify and analyze the measurements of radon which have been made in municipality of Kontiolahti. This part of thesis was written for the municipality of Kontiolahti.</p> <p>Radon is a scentless and tasteless gas that can be noticed indoor air and in water with special measurements. Radon gas flows in the cracks of solid rock and in the pores of soil. A long-term exposure to radon can cause a lung cancer.</p> <p>The most important ways to protect radon are careful construction work and sealing the various leaking areas such as the surroundings of pipe systems that go through the foundation slab as well as the gabs in between the wall and floor tiles.</p> <p>Many extensive radon measurements have been made in the municipality of Kontiolahti. The results of the measurements and the information of the soil were the base to define the most likely areas with the high radon levels and operational recommendations for further measurements.</p>	
Language of Thesis	Finnish; English
Keywords	Radon, radon measurements, radon treatments, indoor air, solid
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Kontiolahden kunta tarjosi mielenkiintoisen ja haasteellisen päättötyön aiheen. Työni ohjaajat rakennusinsinööri Antti Muhonen ja rakennustarkastaja Ulla Kettunen auttoivat neuvoiltaan monissa työn ongelmakohdissa ja koko työn jäsentämisessä.

Kontiolahden kunnan rakennusvalvonnan henkilökunta ja monet muutkin teknisen osaston virkamiehet kommentoivat ja oikolukivat työtäni.

Geologi Ilkka Haatajalta sain neuvoja maaperään ja maaperäkartoitukseen liittyvistä asioista.

Säteilyturvakeskuksen laboratorionjohtaja Hannu Arvela opasti hakemaan uusinta tietoutta koko Suomen radontilanteesta.

Kiitos teille kaikille!

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
1.1 Työn tausta ja tavoitteet	1
1.2 Keskeiset käsitteet	2
2 RADON RAKENNUKSEN SISÄILMASSA	4
2.1 Asuntojen sisäilma	4
2.2 Radon ja sen terveyshaitat	5
2.3 Radontutkimuksen historia	7
2.4 Radonin alueellinen esiintyminen	8
2.5 Radonmittaukset	10
2.6 Radonin siirtyminen asuntoon	12
2.7 Radonia koskevat hallinnolliset ohjeet	14
2.7.1 Asunnot	14
2.7.2 Työpaikat	15
2.7.3 Radonin raja-arvot muissa EU-maissa	16
2.8 Radon talousvedessä	16
3 RADON RAKENTAMISESSA	19
3.1 Radon korjausrakentamisessa	19
3.1.1 Radonimuri	20
3.1.2 Radonkaivo	24
3.1.3 Rakenteiden tiivistäminen	26
3.1.4 Ryömintätilan tuuletus	29
3.1.5 Ilmanvaihdon merkitys radonin torjunnassa	32
3.2 Radonin torjunta uudisrakentamisessa	34
3.2.1 Perustusratkaisujen merkitys	34
3.2.2 Maanvarainen betonilaatta	35
3.2.3 Ryömintätilainen alapohja	36
3.2.4 Uudistalon ilmanvaihto ja toteutus	37
3.2.5 Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmän rakentaminen	38
3.2.6 Rengasmallinen imukanavisto	42
3.3 Radonin poisto käyttövedestä	43
3.3.1 Radonin poisto ilmastamalla	43

3.3.2 Radonin poisto aktiivihiihdiisuodatuksella	46
4 RADONMITTAUKSET KONTIOLAHDEN KUNNASSA	48
4.1 Yleiskuvaus Kontiolahden kunnasta	48
4.2 Kontiolahden kunnan maaperä	49
4.3 Geologisen tutkimuslaitoksen maaperäluokitus	49
4.4 Radonsuojauksen neuvonta Kontiolahdella	54
4.5 Kontiolahden kunnassa suoritettut radonmittaukset	56
4.5.1 Vuosien 1989–1995 mittaukset	56
4.5.2 Vuoden 2004 mittaukset	57
4.5.3 Vuoden 2005 mittaukset	57
4.6 Radonmittausten tulokset Kontiolahden kunnan alueella	61
4.7 Radonmittausten toimenpidesuositukset Kontiolahden kunnan alueella	64
5 POHDINTA	65
5.1 Työprosessin ja tulosten yleinen arviointi	65
5.2 Tulokset työn tilaajalle	65
5.3 Päätötyö henkilökohtaisena oppimisprosessina	66
6 YHTEENVETO	69
LÄHTEET	71
LIITTEET	

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Radon on radioaktiivinen, maaperästä lähtöisin oleva jalokaasu. Maaperän radonpitoinen ilma tunkeutuu asunnon sisäilmaan perustuksissa olevien rakojen sekä huokoisten materiaalien kautta. Radonin lähteenä sisäilmaan voi toimia myös talousvesi. Tällöin kysymyksessä on useimmiten kiinteistön oma porakaivo radonpitoisessa maaperässä.

Radon aiheuttaa suurina pitoisuuksina keuhkosityöpiä. Suomessa arvioidaan radonin aiheuttavan vuosittain 200 keuhkosityöpätapausta. Radonin vaarallisuus on rakennusalan ammattilaisten keskuudessa tiedostettu laajemmin vasta 2000-luvulla. Suomen maaperä on yksi maailman radonpitoisimmista. Alueittain radonpitoisuudet vaihtelevat hyvin suuresti. Korkeimmat pitoisuudet ovat alueilla, joissa maaperä on hyvin ilmaa läpäisevää hiekka- tai soraharjua taikka uraania paljon sisältävää kalliota. Suomen suurimmat radonpitoisuudet on mitattu Salpausselän harjualueilla Lahden seudulla. [1, s. 124–125.]

Insinööriyössä selvitetään kirjallisuudesta radonin ominaisuudet, sen alueelliset erot ja radonin kulkeutuminen rakennuksiin sekä erilaiset radonin suojaustekniikat korjaus- ja uudisrakentamisessa. Säteilyturvakeskus on laatinut yksityiskohtaisen ohjeistuksen radonin torjunnasta. Kaikessa radonin torjunnassa tärkeintä on huolellinen toteutus jo rakennusvaiheessa. Jälkeenpäin tehtyjen korjausten kustannukset ovat moninkertaiset. Säteilyturvakeskus on laatinut yksityiskohtaisen ohjeistuksen radonin torjunnasta sekä uudis- että korjausrakentamisen yhteydessä.

Tämän insinööriyön tilaajana oli Kontiolahden kunta. Yhtenä osatehtävänä olikin Pohjois-Karjalassa sijaitsevan Kontiolahden kunnan radonmittaustulosten luokittelu ja analysointi. Laajoja radonmittauksia Kontiolahdella on tehty ensimmäisen kerran vuosina 1989–1995 ja sittemmin vuosina 2004 ja 2005. Tästä aineistosta laskin alueellisia radontilannetta kuvaavia tunnuslukuja.

Kontiolahden kunnan alueen radonmittausten tuloksia oli mahdollisuus verrata maaperätietoihin, ja näin saatiinkin suhteellisen luotettava arvio kunnan eri osien ja eri maalajien radonpitoisuuksista. Mittauksia voidaan jatkossa kohdentaa alueille, joissa radonsuositusrajat to-

dennäköisemmin ylittyvät. Työssä laadinkin esityksen tulevien radonmittausten kohdentamisesta.

Työn aikana olin rakennustarkastajien mukana niin aloituskokouksissa kuin myös eri katselmuksilla. Tällöin sain hyvän käsityksen radonsuojauksen käytännön tekemisestä. Kontiolahdella jokaisen asuin- ja työpaikkarakennuksen aloituspalaverissa kerrotaan radonsuojauksen periaatteet, ja niiden toteutusta myös seurataan katselmusten yhteydessä. Periaatteena on, että kyseiset rakennukset on rakennettava radontiiviiksi.

Radonmittausten aineiston käsittely on tehtävä siten, että tietyn yksityisen kiinteistön tulokset säilyvät luottamuksellisina. Mikäli mittaustulokset ylittävät ohjearvot, ottavat terveystarkastajat tai rakennustarkastajat kiinteistön omistajaan yhteyttä ja neuvottelevat tarvittavista korjaustoimenpiteistä. Jo pienilläkin toimenpiteillä, kuten ilmanvaihdon oikealla säätämisellä, voidaan päästä suosituksen mukaisiin ohjearvoihin. Suurimmillaan edellytetään suhteellisen kalliiden radonkaivojen ja imurien rakentamista.

Huolellisella rakennuksen perustamistyöllä ja radonsuojauksella päästään suosituksen mukaisiin ohjearvoihin. Erityinen huomio tulisi kiinnittää alapohjarakenteiden tiiviyteen sekä rakennukseen tulevien lämmitys-, vesi- ja viemäriputkien läpivienteihin, jotka usein toimivat radonkaasun vuotoreitteinä rakennuksen sisäilmaan. [2.]

Radonin aiheuttamat terveyshaitat onkin jo hyvin tiedostettu nykyisessä rakentamisessa. Rakennustarkastajat ja muut alan ammattilaiset ovat viime vuosina saaneet radonsuojaukseen liittyvää koulutusta. Radonmittaukset ja korjaustoimet ovat olleet paljon esillä myös lehdistössä.

Suomessa radonkartoituksia ja -torjuntaa ohjaa Säteilyturvakeskus, joka on järjestänyt valtakunnallisia koulutustilaisuuksia ja radontalkoita sekä ylläpitää erilaisia rekistereitä ja tilastoja kuntakohtaisesta radontilanteesta.

1.2 Keskeiset käsitteet

Seuraavat määritykset on poimittu Säteilyturvakeskuksen internet-sivulta

Becquerel (Bq)	Becquerel ilmaisee radioaktiivisen aineen ytimen hajoamisten lukumäärän aikayksikössä. 1 Bq vastaa yhtä ytimen hajoamista sekunnissa.
Pascal (Pa)	Paineen yksikkö on Pascal. Yksi Pascal on paine, jonka yhden Newtonin (N) suuruinen voima aiheuttaa yhden neliömetrin suuruiselle pinta-alalle.
Radon (Rn)	Radon on maaperässä oleva väritön, hajuton ja mauton jalokaasu, joka syntyy uraanin hajoamistuotteena. Pitkäaikainen altistuma saattaa aiheuttaa keuhkosyöpää.
Säteilyannos (Sv)	Sisäinen säteilyannos tarkoittaa kehossa olevien radioaktiivisten aineiden aiheuttamaa säteilyannosta. Säteilyannoksen yksikkö on Sievert (Sv).

2 RADON RAKENNUKSEN SISÄILMASSA

2.1 Asuntojen sisäilma

Suomalaiset viettävät noin 90 % ajastaan sisätiloissa. Aikuinen ihminen hengittää keskimäärin 20 m³ ilmaa vuorokaudessa. Sisäilman laatu on ihmisen terveydelle ja hyvinvoinnille erittäin merkittävä tekijä. Rakennuksen huono sisäilma käy kalliiksi kansanterveydelle ja taloudelle. Huono sisäilma pilaa terveyttä, lisää epäviihtyvyyttä, laskee tuottavuutta ja voi alentaa kiinteistön arvoa. [3, s. 17–18.]

Sisäilman laatua säädellään useiden lakien ja niiden pohjalta annettujen säännösten perusteella. Tärkeimmät ovat terveysuojelulaki ja -asetus sekä maankäyttö- ja rakennuslaki.

Työpaikkojen sisäilman laatua säädellään työturvallisuuslain (299/1958) ja muun työsuojelulainsäädännön perusteella. Työpaikoilla huono sisäilma johtaa työtehon laskuun, epäviihtyvyyteen ja mahdollisesti sairastumisiin.

Terveysuojelulain (763/94) 26 §:n mukaan asunnon sisäilman tulee olla puhdasta eivätkä lämpötila, kosteus, melu, ilmanvaihto, valo, säteily, mikrobit ja muut vastaavat tekijät saa aiheuttaa terveyshaittaa asunnossa tai muussa tilassa oleskelevalle. Puhtaudella tarkoitetaan sisäilman kemiallisia epäpuhtauksia sekä ilman mahdollisesti sisältämiä hiukkasia ja kuituja. [4, § 26.]

Sosiaali- ja terveysministeriö on antanut edellä mainituista tekijöistä tarkempia määräyksiä ja ohjeita Asuntojen terveydellisiä oloja koskeva ohje ”Asumisterveysohje” tuli voimaan 1.5.2003 (Ohje on julkaistu sosiaali- ja terveysministeriön oppaita sarjassa 2003:1). [5.]

Asuntojen ja muiden oleskelutilojen terveydellisten olojen valvonta kuuluu kunnan terveysuojeluviranomaisille.

Aiemmin kiinnitettiin erityistä huomiota sisäilman fysikaalisiin ominaisuuksiin, kuten lämpötilaan, vetoon ja kosteuteen. Kun rakennustapoja muutettiin 1970-luvulta alkaen energian säästämiseksi, sisäilmaongelmat lisääntyivät ja muuttuivat. Ongelman aiheuttajaksi tulivat rakennusten liiallinen tiiviys, uudet rakennusmateriaalit ja huonosti järjestetty ilmanvaihto

sekä rakennusten ympäristön puutteelliset kuivatusjärjestelmät. Merkittäviin uusiin ongelmiin kuuluvat huono ilmanvaihto, kosteusvauriot, homekasvustot ja radon.

Nykyaikaisessa rakentamisessa tiedostetaan jo alkuvaiheessa hyvän sisäilman vaatimukset suunnittelulle ja toteutukselle. Erityisen suuri vastuu hankkeen onnistumisesta on vastaavalla työnohtajalla ja kuntien rakennusvalvonnalla.

Tärkeimmät sisäilmaan liittyvät terveysongelmat ovat olleet:

- Huonosti suunnitellut ja toimivat ilmanvaihtolaitteet
- Rakenteiden ja materiaalin liiallisen kosteuden aiheuttamat homeongelmat
- Rakennusmateriaalien päästöt
- Melu
- Sisätilojen suuri hiukkaspitoisuus (siivottomuus)
- Ulkoilman saasteiden tunkeutuminen sisäilmaan
- Radon

[5, s. 11–12.]

Laadukas sisäilma ja samalla terve talo ovatkin olleet 2000-luvun rakentamisen avainsanoja. Erityisesti sisäilman ongelmat kohdistuvat 70–90-lukujen kiinteistöihin. Julkisuudessa ovat saaneet paljon huomiota päiväkotien, koulujen ja virastojen sisäilmaongelmat.

2.2 Radon ja sen terveyshaitat

Radonkaasu syntyy kallio- ja maaperässä radioaktiivisen uraanin ja toriumin hajotessa. Radon on hajuton, mauton ja näkymätön jalokaasu, ja se voidaan havaita vain erikoismittalaitteiden avulla.

Radon on radioaktiivinen kaasu, jonka on todettu lisäävän riskiä sairastua keuhkosityöpään. Ulkoilmassa radonpitoisuus laimenee nopeasti, eikä sillä tällöin ole terveydellisiä vaikutuksia.

Suomessa tavataan vuosittain 2000 keuhkosityöpää, joista radonin arvioidaan aiheuttavan 100–600. Radon on aina haitallinen. Radonin hajoamistuotteet tarttuvat keuhkoputkistoon ja keuhkorakkuloihin ja aiheuttavat keuhkoille säteilyannoksen. Pienikin säteilyannos voi aiheuttaa syövän, joskin todennäköisyys on pieni. Radonin ei ole havaittu aiheuttavan muita terveyshaittoja. Radon on tupakoinnin jälkeen toiseksi merkittävin keuhkosityövän aiheuttaja Suomessa. Erityisen haitallista radonpitoinen sisäilma on tupakoitsijalle, kuten alla oleva taulukko osoittaa.. Tällöin riski sairastua keuhkosityöpään on moninkertainen. [6, s. 152.]

Taulukko 1. Suomalaisen keskimääräinen vuosittainen säteilyannos. [6, s. 148.]

Radon	2	mSv
Luonnon radioaktiiviset aineet	1,2	mSv
Luonnon radioaktiiviset aineet	0,3	mSv
Lääketiede ja röntgen	0,7	mSv
Säteilylähteiden käyttö	0,1	mSv
Muut	0,1	mSv
Yhteensä	4–5	mSv

Suurin osa suomalaisen keskimääräisestä säteilyannoksesta tulee radonista. Suomalaisen keskimääräinen säteilyaltistus vuodessa on noin 4–5 mSv, josta edellä olevan taulukon mukaisesti radonin osuus on noin puolet. Suomalaisen saama keskimääräinen säteilyannos vuodessa on kansainvälisesti arvioituna suuri. Tämä johtuu sisäilman korkeasta radonpitoisuudesta.

Taulukko 2. Huoneilman ja tupakoinnin aiheuttama keuhkosityöpäriski. [6, s. 152.]

	Huoneilman radonpitoisuus	
	alle 50 Bq/m ³	yli 400 Bq/m ²
Tupakoimattomat	1,0	1,2
Tupakoivat (yli 10 savuketta)	12,6	32,5

Taulukossa on havainnollistettu huoneilman radonin ja tupakoinnin aiheuttama keuhkosityöpäriski. Lukuarvo ilmaisee riskisuhteen, kun tupakoimattomien alle 50 Bq/m³ radonpitoisuudessa asuvien riski on merkitty 1:llä.

Jos aktiivinen tupakoitsija asuu asunnossa, jonka sisäilman radonpitoisuus on korkea, riski sairastua keuhkosityöpään voi olla jopa 30-kertainen.

2.3 Radontutkimuksen historia

Radonin terveyshaittojen tutkimuksen voidaan katsoa alkaneen jo 1500-luvulla. Ensimmäiset tiedossa olevat radonin uhrit olivat kaivostyöntekijöitä. Monet kaivoskuilut olivat satoja metrejä syviä, ja ilmanvaihto kuiluissa oli olematonta. Tietyillä alueilla kaivosmiehistä jopa 75 % kuoli keuhkosityöpään. Kaivosten radonpitoisuus saattoi olla pahimmillaan jopa tuhatkertainen nykyisiin suosituksiin verrattuna.

Maailmassa alkoi 1940-luvulla laaja uraanin louhinta lähinnä sotilaallisia tarkoituksia varten. Tärkeimmät alueet olivat Kongo, Kanada ja Colorado USA:ssa. Kaivostoimintaa oli myös Tšhekkoslovakiassa ja Saksassa.

Suomessakin käynnistyi uraanin louhinta Askolassa ja Pohjois-Karjalassa Enon kunnan Paukkajavaarassa 1950- ja 1960-lukujen vaihteessa. Tällöin kaivettiin urania pienissä avolouhoksissa. Molempien kaivosten toiminta lopetettiin kannattamattomana, ja louhoksia suojattiin täyttemaalla vielä 1990-luvun lopulla.

Suomessa ryhdyttiin 1970-luvulla tutkimaan järjestelmällisesti mittaamaan kaivosten radonpitoisuutta. Asuntojen säteilyongelmaksi radon tunnistettiin vasta 1980-luvulla.

Mittausmenetelmien kehittyessä aloitettiin Suomessa vuonna 1992 laaja radontilanteen kartoitus asunnoissa. Tällöin saatiin käsitys sisäilman radonpitoisuuden maantieteellisestä jakaumasta. Korkeimman radonpitoisuuden alueeksi osoittautui Itä-Uusimaa ja Kymenlaakso. Syyksi korkeisiin radonpitoisuuksiin paljastuivat uraania sisältävä graniittinen kallioperä ja ilmaa hyvin läpäisevät harjut.[1, s. 113–115.]

Radontutkimus on vauhdittunut erityisesti 2000-luvulla. Säteilyturvakeskus on järjestänyt vuosina 2003–2006 kuntakohtaiset ns. radontalkoot. Tavoitteena on luoda suhteellisen tarkka kuva koko kunnan alueen radontilanteesta. Mukana talkoissa on ollut yhteensä 113 kuntaa Suomen yli 400:sta kunnasta. Kaikissa Suomen kunnissa on kuitenkin tehty ainakin yksittäisiä radonmittauksia. Rakennustarkastajien ja muiden alan ammattilaisten koulutuksessa asiaa on painotettu vuodesta 2004 alkaen. Vieläkin hyvin monessa kunnassa on järjestelmällistä mittausaineistoa liian vähän, jotta luotettava yleiskuva radontilanteesta olisi selvillä.

Talousveden radonpitoisuutta on tutkittu Säteilyturvakeskuksessa jo 1960-luvulta lähtien. Aluksi pääpaino oli vesilaitosvesien mittaamisessa, mutta 1980-luvulta lähtien tutkimukset ovat kohdistuneet pääosin kaivoveteen. Vuonna 2003 mittauksia oli tehty jo yli 10.000 kaivon vedestä ja lähes 1000:sta vedenottamosta. [2.]

2.4 Radonin alueellinen esiintyminen

Suomen asuntojen keskimääräinen radonpitoisuus on suurimpia koko maailmassa. Suomalaisen asuntojen radonpitoisuuden vuosikeskiarvot ovat välillä 10–20.000 Bq/m³, hetkellisesti on myös mitattu yli 100.000 Bq/m³. Säteilyturvakeskus suoritti vuonna 1990–1991 laajan satunnaisotantaan perustuvan tutkimuksen, jonka perusteella saatiin edustava kuva Suomen radonpitoisuuksista. Mitattuja asuntoja oli noin 3000. Pientalojen keskiarvo oli 145 Bq/m³ ja kerrostalojen 80 Bq/m³. Pientaloista noin 5 % ylitti 400 Bq/m³ rajan, jota pidetään nykyään korjauksen käynnistämisen rajana, kts. taulukko seuraavalla sivulla.

Taulukko 3. Radonpitoisuuden keskiarvot sekä prosentit asunnoista, joissa radonpitoisuus ylittää 200, 400 ja 800 Bq/m³. Lukuarvot perustuvat Säteilyturvakeskuksen otantatutkimukseen vuosilta 1990–1991. [1, s. 122.]

	Keskiarvo (Bq/m ³)	yli 200 Bq/m ³ (%) asuntoa (lkm)		yli 400 Bq/m ³ (%) asuntoa (lkm)		yli 800 Bq/m ³ (%) asuntoa (lkm)	
Pientalot	145	17,9	209 000	5,0	59 000	1,4	16 000
Kerrostalot	80	1,6	16 000	0,8	7 000	0,3	3 000
Kaikki	120	12,3	225 000	3,6	66 000	1,0	19 000

Sisäilman radonpitoisuuksissa esiintyy suuria alueellisia ja paikallisia vaihteluita. Merkittävimpänä syynä alueellisiin vaihteluihin ovat rakennuspaikan geologiset ominaisuudet. Radonpitoisuudet ovat suurimpia taloissa, jotka on perustettu hyvin ilmaa läpäisevälle maaperälle ja tavallista enemmän uraania sisältävälle maa- ja kallioperälle. Harjut ja suurin osa reunamuodostumista, kuten esimerkiksi Salpausselät, koostuvat sora- ja hiekkakerroksista. Ne ovat syntyneet jääkauden pyöristämisestä kiviaineksista ja läpäisevät ilmaa erittäin hyvin. Muut maalajit, kuten moreeni, siltti tai savi, ovat hiekkaa ja soraa tiiviimpiä eikä niissä tapahdu merkittäviä ilmavirtauksia. Lähes koko Etelä-Suomen lääni ja Pirkanmaa muodostavat yhtenäisen korkean radonpitoisuuden alueen, jossa korkeita radonpitoisuuksia esiintyy niin tiiviille kuin läpäisevälle maalajeille rakennetuissa taloissa. Suurimmat radonpitoisuudet ovat kuitenkin mitattu alueilla, joilla on sekä suuri uraanipitoisuus että läpäisevä maalaji. Tällainen alue on esimerkiksi Lahden seutu, mikä näkyy havainnollisesti seuraavansivun taulukosta 4. Harjuille rakennetuissa taloissa radonpitoisuus on keskimäärin ainakin kaksinkertainen verrattuna tiiviille maaperälle perustettujen talojen radonpitoisuuksille. Asuntojen radonpitoisuudet ovat alhaisimpia Suomessa Vaasan, Oulun ja Kuopion seuduilla. [1, s. 122–124.]

Taulukko 4. Sisäilman radonpitoisuus maakunnittain. [1, s. 127.]

Maakunta	Mitattuja asuntoja	Aritm. ka (Bq/m ³)	Mediaani (Bq/m ³)	200 Bq/m ³ ylitykset (%)	400 Bq/m ³ ylitykset (%)	Maksimi (Bq/m ³)
Uusimaa	9 458	180	120	27	7	4 500
Varsinais-Suomi	2 710	120	80	11	2	3 200
Itä-Uusimaa	4 052	370	200	51	23	13 000
Satakunta	1 557	100	70	7	2	1 900
Häme	5 366	280	170	40	15	10 900
Pirkanmaa	5 522	330	150	36	15	33 000
Päijät-Häme	6 064	440	230	56	28	16 000
Kymenlaakso	6 124	310	220	56	21	6 200
Etelä-Karjala	3 516	280	160	41	18	10 100
Etelä-Savo	1 385	120	80	11	3	1 600
Savo	1 382	90	70	5	1	1 100
Pohjois-Karjala	1 746	170	100	18	7	5 200
Keski-Suomi	2 832	150	110	19	5	2 600
Etelä-Pohjanmaa	932	90	60	5	2	1 700
Pohjanmaa	677	70	50	4	1	1 500
Keski-Pohjanmaa	450	80	60	5	1	600
Pohjois-Pohjanmaa	1 554	80	60	4	1	2 700
Kainuu	1 164	290	100	26	15	5 800
Lappi	1 831	160	100	18	6	4 700
Ahvenanmaa	194	130	90	15	3	790

Sisäilman radonpitoisuus maakunnittain.

Säteilyturvakeskuksen aineisto sisältää omakotitalot, paritalot, rivitalot ja kerrostalojen ensimmäisten kerrosten asunnot. Mitattuja asuntoja on yhteensä noin 58 500 kappaletta.

2.5 Radonmittaukset

Etukäteen ei voida varmasti päätellä, onko asunnon radonpitoisuus korkea. Se selviää vain mittaamalla. Radonpitoisuus vaihtelee sekä vuorokauden että vuodenajan mukaan. Se on yleensä talvella korkeampi kuin kesällä ja yöllä korkeampi kuin päivällä. Tämä johtuu sisä- ja ulkotilan välisestä ilmanpaine-eroista. Tämän takia lyhytaikaisilla mittauksilla ei radonaltistusta saada luotettavasti selville. Säteilyturvakeskus suosittelee, että radonpitoisuus mitataan marras-huhtikuun välisenä aikana, ja mittauksen kestoksi suositellaan vähintään kahta kuukautta. Yleisin radonin mittausmenetelmä perustuu alfahiukkasten jälkien laskemiseen. Alfa-jälki-ilmaisimien on muovikalvo, joka on suljettu pieneen rasiaan (kuva 2). Radon siirtyy rasiaan sisään diffuusion avulla. Alfahiukkaset jättävät kalvon pintaan pienen näkymättömän vaurion, josta keskimääräinen radonpitoisuus voidaan laskea, kun tunnetaan jälkien määrä ja mittausaika. Yksinkertaisen rakenteensa ja halpuutensa (40 €) vuoksi alfajälki-ilmaisimet soveltuvat erinomaisesti radonpitoisuuden mittaamiseen asunnoissa ja työpaikoilla. Ilmaisimien sijoit-

tetaan esimerkiksi kirjahyllyyn talvella kahden kuukauden ajaksi. Normaalissa tapauksessa riittää yksi mittauspurkki asuntoa kohden. Tuloksena saadaan radonpitoisuuden keskiarvo varsin luotettavasti. Tämä menetelmä on lähes yksinomaan käytössä laajoissa alueellisissa tutkimuksissa.

Muita radoninmittausmenetelmiä ovat mm. jatkuvatoimiset mittalaitteet, joilla voidaan seurata huoneilman radonpitoisuutta ja sen ajallista vaihtelua. Nämä mittalaitteet antavat vain alustavan arvion huoneilman radonpitoisuudesta. Radonkorjausten yhteydessä niitä voidaan käyttää apuna korjaustoimenpiteitä ja -kohteita valittaessa sekä arvioitaessa korjausten vaikutuksia. Radonmittauksen tulos on aina tarkistettava kaksi kuukautta kestäväällä integroivalla mittauksella. [7, s. 76–78.]

Radonmittauksen voi tilata Säteilyturvakeskuksesta (STUK) puhelimitse tai internetin kautta. Käytännön opastuksen saa kuntien terveystarkastajilta ja rakennustarkastajilta.

2.6 Radonin siirtyminen asuntoon

Rakennuksen sisäilmaan radonia pääsee rakennuksen alla olevasta maaperästä, rakennusmateriaaleista ja talousveden käytön yhteydessä vapautuvasta radonista. Radonpitoisuus on selvästi korkeampi 1980-luvulla ja sen jälkeen rakennetuissa taloissa. Tämä johtuu suurelta osin rakennustavan muuttumisesta. Maanvarainen laatta on korvannut aiemmin yleisesti käytetyn ryömintätalaisen perustuksen. Myös hyvin ilmaa läpäisevän kevytsoraharkon yleistyminen on kasvattanut radonpitoisuutta. Nykyisin edellytetään kevytsoraharkot ohutrapattaviksi ilma-voutojen ehkäisemiseksi. Entiset kellarilliset rintamamiestalot on korvattu rinnetaloilla, joissa on oleskelutiloja kellarikerroksessa ja yhteys ylä- ja kellarikerroksen välillä on avoin.

Tuulettuvalla ryömintätalaisella alapohjalla varustetuissa taloissa radonpitoisuudet ovat pienempiä. Jos alapohjan ilmanvaihto on liian vähäistä ja alapohjarakenteet läpäisevät ilmaa, voi näissäkin asunnoissa olla kohonneita radonpitoisuuksia.

Maanvaraisen laatan suurimpia vuotoreittejä ovat laatan ja seinärakenteiden väliset saumat. Betoninen lattialaatta kutistuu kuivuessaan ja laatan reuna-alueelle syntyy muutamien millimetrin suuruinen rako. Muita mahdollisia vuotoreittejä ovat

- alapohjan ja kantavien väliseinien liitoskohdat
- kantavat väliseinät, jotka läpäisevät alapohjarakenteen
- kevytsoraharkoista tehdyt seinät, jos seinät ovat tiivistämättömät
- lattialaatan halkeamat
- lattialaatan läpivientikohdat, sähkö- ja vesijohdot
- kellarin maalattiat
- takan lattian saumat tai takkarakenteet
- radiumpitoiset rakennusmateriaalit.

Kerrostaloasunnoissa betoniset rakenteet ovat merkittävin radonlähde. Näistä aiheutuu keskimäärin 70 Bq/m³ radonpitoisuus. Keskimääräistä suurempia radonpitoisuuksia esiintyy

Kaakkois-Suomen kerrostaloissa, joissa betoniin on käytetty uraanipitoista soraa. [1, s. 128–129.] ja [2.]



1. rakennuksen alla ja ympärillä oleva maaperä.
2. täytemaa
3. kallioperä
4. talousvesi
5. rakennusmateriaalit
6. ilmanvaihto

Kuva 2. Radonin vuotoreittejä asuntoon. [2.]

2.7 Radonia koskevat hallinnolliset ohjeet

2.7.1 Asunnot

Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen (944/92) mukaan asunnon huoneilman radonpitoisuus ei saisi ylittää 400 Bq/m^3 . Uusi asunto tulee suunnitella ja rakentaa siten, että radonpitoisuus ei ylitä 200 Bq/m^3 . Radonpitoisuudella tarkoitetaan tässä vuoden pituisen ajanjakson aikana mitattua tai muutaman kuukauden pituisen mittauksen perusteella arvioitua radonpitoisuuden keskiarvoa, niin sanottua vuosikeskiarvoa. Mittaus tulee tehdä vähintään kahden kuukauden pituisena yhtäjaksoisena aikana. Radonpitoisuuden määrittäminen tulee käyttää Säteilyturvakeskuksen hyväksymää mittausmenetelmää. Säteilysuojelun perusteisiin kuuluu säteilyaltistuksen pienentäminen, silloin kun se on tarkoituksenmukaista ja käytännöllisin keinoin toteutettavissa.

Säteilyturvakeskuksen suositukset:

- Mikäli huoneilman radonpitoisuus ylittää 400 Bq/m^3 , Säteilyturvakeskus suosittelee ryhtymään toimenpiteisiin radonpitoisuuden pienentämiseksi.
- Mikäli radonpitoisuus on $200 - 400 \text{ Bq/m}^3$, Säteilyturvakeskus suosittelee tarkoituksenmukaisia, helposti tehtäviä korjauksia.
- Mikäli huoneilman radonpitoisuus alittaa 200 Bq/m^3 , ei toimenpiteitä tarvita.

[2.]

Sosiaali- ja terveysministeriön sisäilmaohjelmassa (1997) annetaan neuvoja kunnan terveys- ja turvallisuusviranomaisille, kuinka radonmittauksia järjestetään ja mittaustuloksia tulkitaan. Ohjeen mukaan kunnan on tehtävä mittauksia radonpitoisuuden selvittämiseksi kunnan eri alueilla. Jos tietyillä alueilla tehdyt mittaukset osoittavat toistuvasti 400 Bq/m^3 ylityksen ja alueen maaperä viittaa suuriin radonpitoisuuksiin, tulee kunnan terveys- ja turvallisuusviranomaisen ryhtyä toimenpiteisiin enimmäisarvon ylittävien asuntojen löytämiseksi.

2.7.2 Työpaikat

Säteilyturvakeskus on määrittänyt työpaikkojen radonpitoisuuden toimenpidearvoiksi säännöllisessä työssä 400 Bq / m³. Jokainen työnantaja on velvollinen selvittämään työtilojen radonpitoisuuden, jos on syytä epäillä, että toimenpidearvo voi ylittyä. Työpaikkojen radonpitoisuus pitää selvittää alueilla, joissa radonpitoisuuden tiedetään olevan korkeita. Myös harju- ja sora-alueilla olevat työpaikat tulee mitata. Radonpitoisuudet ovat suurimpia maanvaraisessa kerroksessa.

Toimistoissa riittää yksi mittaus noin 200 m²:ä kohti, teollisuushalleissa 1–2 mittausta/ halli. Jokaisessa erillisessä rakennuksessa on tehtävä vähintään yksi mittaus.

Säteilyturvakeskus on määrittänyt työpaikoille radonpitoisuuden raja-arvot suhteessa vuotuisen työaikaan.

Taulukko 5. Työpaikan radonpitoisuuden toimenpidearvot eri työajoilla. [1, s. 142.]

Vuotuinen työaika	Toimenpide arvo Bq /m ³
Säännöllinen työ (1600 tuntia)	400
Enintään 600 tuntia	1000
Enintään 300 tuntia	2000
Enintään 100 tuntia	6000

Edellä olevasta taulukosta selviää, että normaalin työajan puitteissa toimenpideraja on sama kuin asunnoissa. Hetkellisesti sallitaan suuriakin radonpitoisuuksia. Tämä tulee kysymykseen eräissä erityistehtävissä, esimerkiksi kaivostoiminnassa.

Työpaikoilla esiintyviä korkeita radonpitoisuuksia voidaan ennakoida asuntojen radonmittausten perusteella. Säteilyturvakeskus on määrännyt Suomessa 76 kuntaa, joissa kaikilla työpaikoilla on tehtävä radonmittaus. Mm. Kajaani kuuluu näiden kuntien joukkoon. Säteilyturvakeskus päivittää vuosittain kuntalista. Vaatimus ei koske työpaikkoja, jotka sijaitsevat toisessa tai sitä ylemmässä kerroksessa. Radonpitoisuudet eivät luonnollisestikaan noudata täy-

sin kuntarajoja, ja siksi radonpitoisuudet on kaikissa kunnissa mitattava harjualueilla ja työtiloissa, joissa työskennellään maan alla. [2.]

2.7.3 Radonin raja-arvot muissa EU-maissa

Rakennusten radonpitoisuus on maailmassa suurinta Suomessa. Melko korkeita pitoisuuksia on myös Ruotsissa, Tshekissä ja USA:n itärannikolla.

Suomessa radonpitoisen sisäilman suositukset ovat Euroopan unionin suositusten mukaiset. Suomen kanssa yhtenäiset raja-arvot on asetettu Ruotsissa ja Norjassa. Kanadassa korjausraja on 800 Bq/m³ ja Englannissa 200 Bq/m³. [3, s. 99.]

2.8 Radon talousvedessä

Talousveteen liukenee maa- ja kallioperän radioaktiivisia aineita, ja siten veden radonpitoisuus voi nousta. Koska pohjavesi on paljon pidempään kosketuksissa maa- ja kallioperän kanssa kuin pintavesi, sen radonpitoisuus on huomattavasti suurempi. Kallioperän pohjavedessä radonpitoisuudet ovat vielä paljon suurempia kuin maaperän pohjavedessä. Radon on suomalaisen pohjaveden merkittävin radioaktiivinen aine. [1, s. 164 - 166.]

Taulukko 6. Radonpitoinen talousvesi / henkilöiden määrä. [1, s. 166.]

Talousveden alkuperä	Käyttäjien lkm yhteensä	100 Bq/l ylittävät	300 Bq/l ylittävät	1 000 Bq/l ylittävät	3 000 Bq/l ylittävät
Porakaivot	200 000	120 000	60 000	20 000	6 000
Rengaskaivot	500 000	60 000	10 000	20	0
Verkostovesi	4 500 000	200 000	200 ¹⁾	0 ¹⁾	0 ¹⁾
Yhteensä	5 200 000	400 000	70 000	20 000	6 000

¹⁾ Säteilyturvakeskuksen tiedossa olleet käyttäjämäärät

Niiden henkilöiden arvioidut lukumäärät, jotka käyttivät vuonna 2001 radonpitoisuudeltaan 100, 300, 1000 ja 3000 Bq/l ylittävää talousvettä

Lähes kaikkialla Euroopassa on alueita, joilla esiintyy uraanipitoisia kivilajeja. Porakaivovesien korkeat radonpitoisuudet ovat ongelma vain Pohjoismaissa. Tämä johtuu monista eri tekijöistä. Pohjolassa uraanipitoiset kivilajialueet ovat laajempia kuin muualla Euroopassa. Myös veden laatu edistää uraanin liukenemistä veteen.

Taulukko 7. Suomen, Ruotsin ja Norjan porakaivovesien radonpitoisuudet. [2.]

Suomen, Ruotsin ja Norjan porakaivovesien radonpitoisuudet

	Porakaivoveden radonpitoisuuden keskiarvo	Suurin mitattu radonpitoisuus	Porakaivoveden käyttäjiä, joiden vedessä radonia yli 1000 Bq/l
Suomi	540 Bq/l	77 500 Bq/l	10 %
Norja	n. 340 Bq/l	32 000 Bq/l	6 - 8 %
Ruotsi	200 Bq/l	57 000 Bq/l	4 %

Suomalaisista asukkaista Säteilyturvakeskuksen arvioiden mukaan vesijohtoverkostojen vettä käyttää noin 87 % ja loput 13 % käyttävät omalta kiinteistöltä otettavaa vettä. Porakaivo on noin 4 %:ssa kaikista talouksista ja rengaskaivo 9 % :ssa. Kotitalouksien käyttämän veden kulutus on Suomessa varsin suuri, noin 150 litraa henkilöä kohden vuorokaudessa.

Yksityiskaivojen talousveden radonpitoisuutta koskeva sosiaali- ja terveysministeriön laatusuositus on 1000 Bq/l. Perinteisissä rengaskaivoissa tämä raja ylittyy harvoin. Porakaivoista kuitenkin jo 10 % ylittää tämän rajan.

Vesilaitosten vedessä radonin enimmäispitoisuus on 300 Bq/l. Tämä ylittyi 1990-luvulla muutamalla kymmenellä laitoksella. Vesilaitosten vedenlaatua seurataan säännöllisten tarkkailuohjelmien avulla. [2.]

Radonpitoista vettä käytettäessä huoneiston sisäilman radonpitoisuus kohoaa, ja se lisää omalta osaltaan keuhkosyövän riskiä. Talousvedestä radonia vapautuu ilmaan, kun vettä käytetään esimerkiksi suihkussa tai pyykkiä ja astioita pestäessä. Jos vettä keitetään muutaman minuutin ajan, radon häviää vedestä lähes kokonaan. On arvioitu, että käyttöveden radonpitoisuus nostaa sisäilman radonpitoisuutta noin 10 %. Vedestä irtoava radon ei yleensä ole

merkittävä radonin lähde perustuksien kautta tulevaan huokoisilmaan verrattuna. Radonpitoisen talousveden pitkäaikainen käyttö lisää myös mahasyövän riskiä. [4, s. 162–164.]

Porakaivojen ja rengaskaivojen radonpitoisuus vaihtelee maa- ja kallioperän mukaan hyvin suuresti, kts. taulukko 8. Keskimäärin porakaivojen radonpitoisuus Suomessa on 540 Bq/l. Suurimmat porakaivojen radonpitoisuudet on mitattu Itä-Uudellamaalla, jopa 78.000 Bq/l. Suositusraja ylittyy siten 78-kertaisesti. Porakaivojen vesi on yleensä kymmeniä kertoja radonpitoisempaa kuin vastaavalla alueella todettujen rengaskaivojen. Tämä johtuu mm. siitä, että tiiviissä porakaivossa radonista vain pieni osa pääsee haihtumaan ilmaan. [1, s. 178–179.]

Taulukko 8. Pora- ja rengaskaivojen radonpitoisuus maakunnittain. [1, s. 174.]

Maakunta	Porakaivoveden radonpitoisuus				Rengaskaivoveden radonpitoisuus			
	Mittauksia (kpl)	Aritm. ka (Bq/l)	Mediaani (Bq/l)	Maksimi (Bq/l)	Mittauksia (kpl)	Aritm. ka (Bq/l)	Mediaani (Bq/l)	Maksimi (Bq/l)
Uusimaa	2 562	1 300	320	62 000	413	40	20	840
Varsinais-Suomi	977	940	220	42 000	557	40	20	870
Itä-Uusimaa	745	1 400	240	78 000	242	250	120	3 600
Satakunta	258	230	100	5 600	117	50	20	220
Kanta-Häme	563	840	200	31 000	89	60	40	1 000
Pirkanmaa	567	330	100	7 500	279	50	20	750
Päijät-Häme	465	1 100	320	26 000	160	70	30	1 000
Kymenlaakso	389	560	330	17 000	188	70	40	660
Etelä-Karjala	195	510	170	7 500	270	50	30	820
Etelä-Savo	503	400	150	12 000	224	20	10	370
Pohjois-Savo	226	220	80	3 200	186	50	20	480
Pohjois-Karjala	93	180	70	2 900	385	40	20	1 300
Keski-Suomi	486	450	190	8 100	211	80	30	1 100
Etelä-Pohjanmaa	60	360	180	2 800	121	60	10	1 100
Pohjanmaa	25	320	130	5 500	36	10	10	80
Keski-Pohjanmaa	8	640	260	2 700	14	20	10	60
Pohjois-Pohjanmaa	136	300	80	4 700	194	20	10	320
Kainuu	116	670	200	6 000	152	130	20	2 800
Lappi	279	300	60	2 800	550	130	20	3 500
Ahvenanmaa	523	500	350	4 000	16	10	10	20

Säteilyturvakeskuksen aineistossa on yhteensä noin 9 200 porakaivon ja 4 400 rengaskaivon radonmittauksen tulokset.

3 RADON RAKENTAMISESSA

3.1 Radon korjausrakentamisessa

Jos mittaukset osoittavat rakennuksen sisäilman radonpitoisuuden ohjearvon (400 Bq/m^3) ylittymisen, on syytä ryhtyä korjaustoimenpiteisiin. Korjausmenetelmän valintaan vaikuttaa mm. mitattu radonpitoisuus, rakennuksen alla oleva maaperä, täytemaa, talon rakenteet ja ilmanvaihto. Radonkorjauksen tarkoituksena on maaperästä sisäilmaan kulkeutuvan radonpitoisen ilman pienentäminen. Radontorjunnan kustannukset korjausrakentamisessa ovat moninkertaiset uudisrakentamiseen verrattuna. Maaperästä tulevien vuotojen estäminen voidaan suorittaa mm. ilmanvaihdon tehostamisella, vuotoreittien tiivistämisellä, radonimurilla tai radonkaivolla. Jokaisessa tapauksessa on erikseen harkittava tarkoituksenmukaisimmat ja taloudellisimmat toimenpiteet. Suomessa on muutamia radonkorjauksiin erikoistuneita yrityksiä. Neuvoja korjaustoimenpidettä valittaessa saa kuitenkin myös kunnan rakennusvalvonnasta. Radonkorjauksien suunnittelu on tehtävä huolella, jotta sisäilman radonpitoisuus saadaan vähenemään ja kustannukset eivät kohoa liian suuriksi.

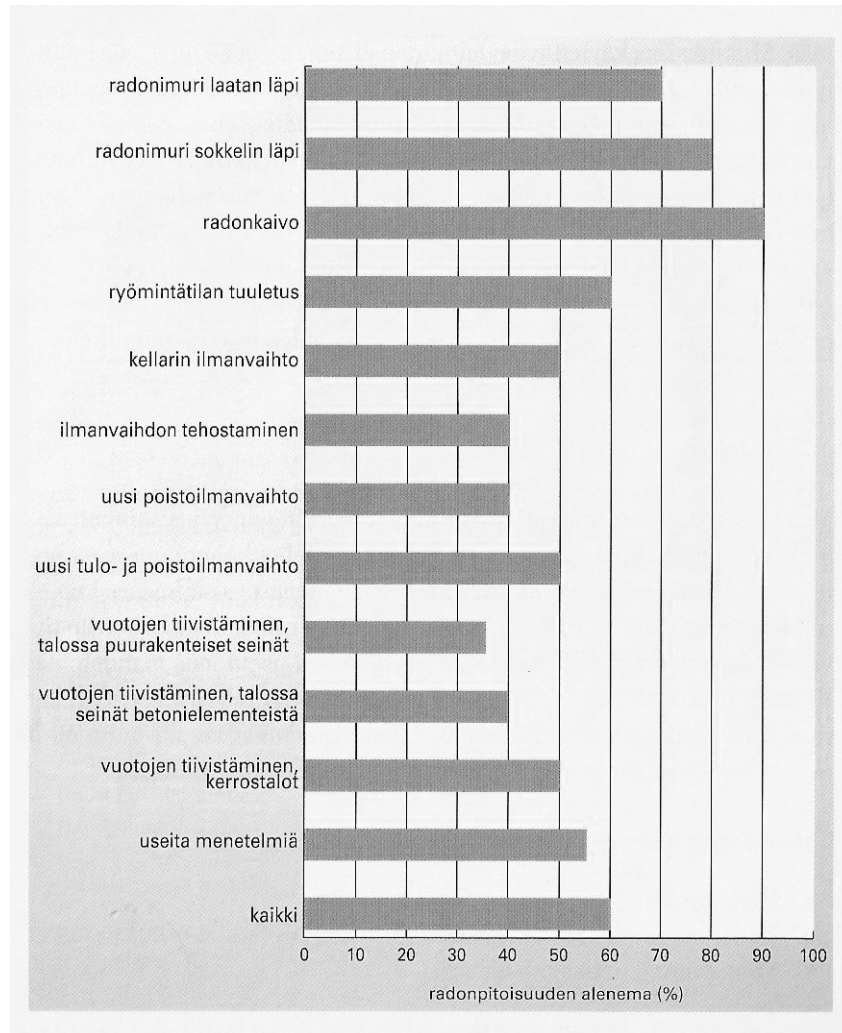
Säteilyturvakeskus ylläpitää tiedotetta yrityksistä, jotka ovat erikoistuneet radonkorjauksiin ja osallistuneet alalta järjestettäviin koulutustilaisuuksiin. Nämä yritykset sijaitsevat pääosin Etelä-Suomessa, missä on myös eniten radonkorjauksen tarpeessa olevia asuntoja.

Valtion toimesta tuetaan asuntojen radonkorjauksia. Asuntojen radonkorjauksiin on mahdollista saada valtion korjausavustusta (Valtioneuvoston asetus n:o 166/2002). Avustusta voidaan myöntää enintään 40 % hyväksytyistä korjaustoimenpiteiden kustannuksista. Neuvoja antavat kuntien rakennustarkastajat ja Valtion asuntorahasto (ARA).

Taulukossa 9 on esitetty eri korjaustoimenpiteiden vaikuttavuutta. Parhaimmat tulokset saadaan rakennuksen viereen sijoitettavalta radonkaivolla tai radonimurilla. Nämä toimenpiteet ovat kuitenkin verraten kalliita, jopa tuhansia euroja. Usein riittävä toimenpide on ilmanvaihdon tehostaminen sekä vuotojen tiivistäminen, jolloin voidaan päästä radonpitoisuuden puoliintumiseen hyvinkin taloudellisesti. Teoksessa *Säteily ympäristössä* [1] ovat alan asiantuntijat koonneet kokemuseräisestä tiedosta seuraavan taulukon eri korjausmenetelmien vaikuttavuudesta. Taulukko antaa käytännön työhön hyvän lähtökohdan eri korjausvaihtoehtoja harkittaessa.

Taulukko 9. Eri korjausmenetelmillä saavutettu radonpitoisuuden keskimääräinen alenema.

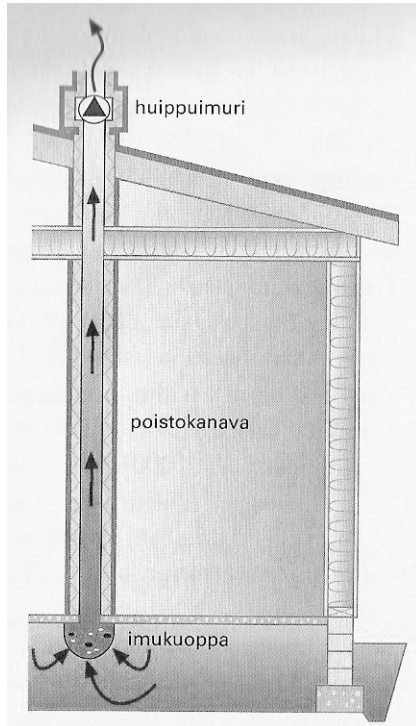
[1, s. 144]



3.1.1 Radonimuri

Radonimurin periaatteena on radonpitoisen huokosilman imeminen laatan alta. Radonimuri on tehokas korjausmenetelmä. Radonimuri voidaan asentaa taloon viemällä tuuletusputki joko lattialaatan läpi tai asentamalla se sokkelin läpi. Tällä korjausmenetelmällä radonpitoisuuden keskimääräinen alenema on jopa 70–80 % riippuen imurin asennustavasta ja muista olosuhteista. Radonimuria käytettäessä hyvään lopputulokseen vaikuttaa mm. laatan pieni pinta-ala ja yhtenäinen suorakulmion muotoinen laatta sekä täytemaan ilman läpäisevyys laatan alla, mikä edistää painekentän leviämistä tasaisesti koko talon pohjan alueelle.

Radonimurin toimintaperiaatteena on saada aikaan alipaine lattialaatan alle. Alipaine saadaan aikaan puhaltimella, joka imee ilmaa yhdestä tai useammasta pisteestä laatan alta. Radonimuri myös tuulettaa alapohjaa tehokkaasti ja estää vuotoilmavirtauksen radonpitoisuutta. Kuvat 3 ja 6 esittävät radonimurin rakennetta.



Kuva 3. Laatan läpi asennetun radonimurin rakenne. [1, s. 145].

Rakennettaessa tiiviille pohjalle esim. kalliolle, moreenille tai savelle, radonimuri toteutetaan lattian tai sokkelin läpi. Rakennusmaan ollessa läpäisevää soraa voidaan vaihtoehtoisena korjausmenetelmänä käyttää radonkaivoa.

Imurin toimintaan vaikuttaa imupisteiden sijoitus ja niiden lukumäärä. Etäisyys ulkoseinistä tulisi olla vähintään 1,5 m. Imukuoppa tulisi sijoittaa mahdollisimman keskelle maanvaraista laattaa. Näin saadaan mahdollisimman tasainen alipaineen leviäminen laatan alle. Imukuoppa ei saa olla lähempänä kuin 0,5 m kantavista alapohjan rakenteen läpäisevistä väliseinistä tai uunin perustuksista.

Laatan läpi asennettavasta radonimurista poistetaan ensiksi imukuopasta noin 20 litraa täytesoraa. Läpivientiä varten tehdään 75–125 mm reikä ja läpivientikappale asennetaan PVC-viemäriputkesta korroosioriskin takia. Reikä tehdään 25–35 mm suuremmaksi kuin läpivientikappaleen halkaisija. Läpivienti kiinnitetään polyuretaanivaahdolla ja sauma tiivistetään

saumausaineella, esim. polyuretaanisauhausaineella. Saumat on syytä tiivistää huolella, sillä pienikin vuotokohta voi nostaa huomattavasti sisäilman radonpitoisuutta. Putki on syytä eristää kondensoitumisriskin takia. Jos muovista poistokanavaa joudutaan yläpohjassa viemään vaakatasossa, on noudatettava ilmanvaihtokanaviston asennuksesta annettuja ohjeita. [8.]

Puhallinta valittaessa sopiva puhallinteho on 25–75 W riippuen talon koosta. Yleensä noin 60 watin puhallin on sopivan kokoinen. Puhallin asennetaan vesikatolle tai yläpohjaan vietävään imukanavan poistoputkeen. Radonimureita on monenlaisia Mm. SK-tuote Oy valmistaa radonimureita. [9, s. 11.]

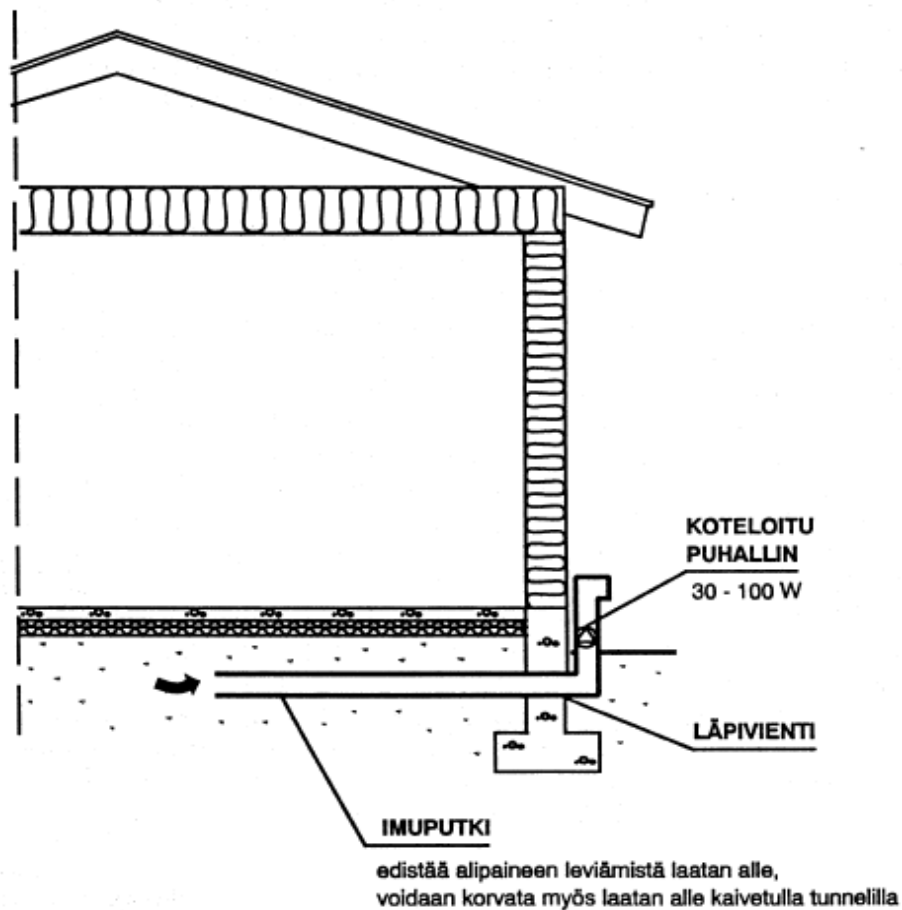


Kuva 4. Radonimuri [10.]

SÄHKÖTEKNISET TIEDOT	
Imurityppi	RADON (ECO-WC)
Nimellisteho	57 W
Nimellisvirta	0,25 A
Jännite	230 V / 50 Hz
Käyntinopeus	1850 r/min
Kondensaattori	2 μ F
Moottorityyppi	R2E 190-AD 04
Nopeudensäätö	Tyristorilla tai porrasmuuntaja

Kuva 5. Radonimurin tekniset tiedot [10.]

Maaperästä imettävä suositeltava ilmamäärä on $0,2 \text{ m}^3$ tunnissa neliötä kohti. Sadan neliömetrin laatan alta imettävä ilmamassa on tällöin 20 m^3 tunnissa. Eli 150 litran jätessäkin on täyttyttävä $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ vauhdilla, 27 sekunnissa. [8.]



Kuva 6. Sokkelin läpi asennetun radonimurin rakenne.[8.]

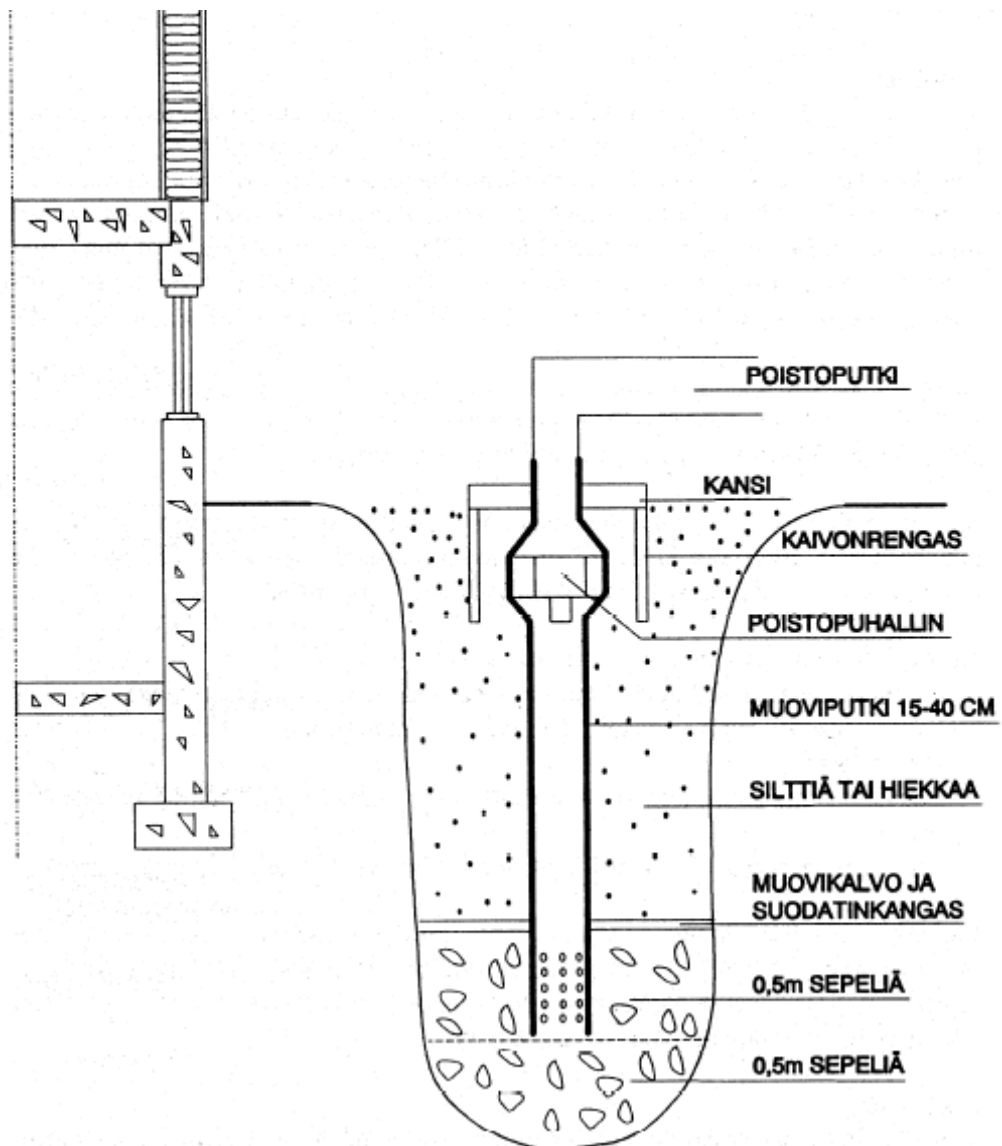
Sokkelin läpi radonimuria asennettaessa radonpitoisuuden alenema on vähän parempi kuin laatan läpi asennettaessa. Puhallin asennetaan suoraan sokkeliin tehtyyn aukkoon tai sokkelin läpi laatan alle viedyn putken päähän. Puhallin valitaan ja säädetään samalla tavalla kuin laatan läpi viedyssä vaihtoehdossa. Sokkelin läpi asennetun radonimurin toimintaperiaate on samanlainen kuin laatan läpi asennettaessa. Etuna on, ettei alapohjaa tarvitse rikkoa. [1, s. 143– 144 ja 8.]

3.1.2 Radonkaivo

Radonkaivo on tehokkain tapa alentaa sisäilman radonpitoisuutta. Radonkaivon periaate on se, että rakennuksen ulkopuolelle asennetaan kaivo, josta imetään maaperän radonpitoista ilmaa. Näin saadaan rakennuksen sisäilman radonpitoisuus laskemaan merkittävästi. Radonkaivo soveltuu erityisen hyvin ilmaa läpäiseville sora-alueille, missä sen vaikutusalue on paljon suurempi kuin tiiviimmällä maaperäalueella (siltti, savi ja moreeni). Kaivon asentamisessa on tiedettävä maaperän laatu, jotta voidaan saavuttaa riittävän laaja ja tehokas imualue. Kaivon vaikutus vaihtelee suotuisissa olosuhteissa 20 metristä 40 metriin. Radonkaivo vaikuttaa jopa yli 90 % radonpitoisuuden alenemaan. Radonkaivon kokonaiskustannukset ovat 1000–3000 €. [1, s.145–146.]

Kuvassa 8 on radonkaivon rakenne. Radonkaivo sijoitetaan muutaman metrin päähän rakennuksesta. On kuitenkin varmistettava, ettei rakennusmaa voi sortua perustusten alta. Imupiste sijoitetaan 3–5 metrin syvyyteen. Kaivannon pohjalle laitetaan noin 0,5 m sepeliä. Sepelikerroksen päälle asennetaan pystyyn tiivis muovinen putki, joka on halkaisijaltaan 15 – 40 cm. Putken alapäähän tehdään runsaasti reikiä, ettei putken alapää tukkeudu. Lisäksi tällä tavoin saadaan myös tehokkaasti alipaine kenttä leviämään maahan. Seuraavaksi lisätään taas sepeliä, siten varmistetaan virtauksien leviäminen putken suulta. Radonkaivon pohjalla olevan sepelikerroksen päälle laitetaan suodatinkangas ja muovikalvo, millä pidetään erilaiset maalajit erillään. Kaivanto täytetään hienorakeisemmalla maalajilla kuin mihin kaivo on tehty. Muovikalvo ja tiivis maa-aines muodostavat putken ympärille tulpan, joka estää ulkoilman virtauksen kaivon täytämään läpi.

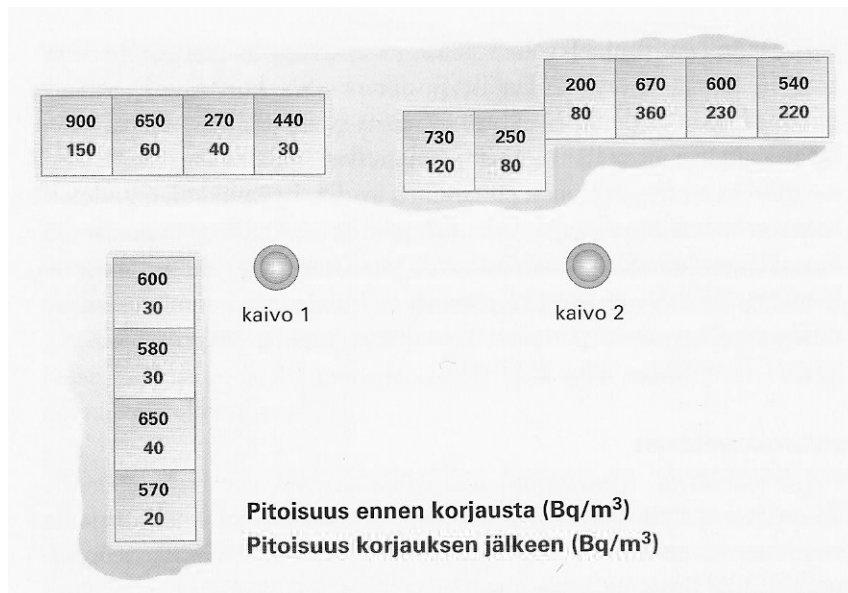
Poistopuhallin asennetaan muoviputken päähän. Pientaloihin sopiva puhaltimen koko on noin 150 W. Jos vaikutusaluetta halutaan kasvattaa, valitaan suuri tehoisempi puhallin. Kaivon päälle asennetaan poistoputkellinen kansi, mikä vaimentaa hyvin puhaltimen ääntä. Radonkaivon poistoputken pää on sijoitettava siten, että radonpitoinen ilma ei pääse ilmanvaihtokanaviin eikä tuuletusikkunoista rakennuksen sisään. Putki voidaan johtaa seinän vierustaa pitkin räystäään yläpuolelle. [8.]



Kuva 7. Radonkaivon rakenne. [8.]

Radonkaivoa on käytetty paljon korjausmenetelmänä kaikkein korkeimman radonpitoisuuden alueilla Etelä-Suomessa ja Pirkanmaalla.

Seuraavassa kuvassa on todellinen tilanne rivitaloasuntojen radonpitoisuuden pienenemisestä, kun asunto-osakeyhtiöön asennettiin kaksi radonkaivoa. Korjaus tehtiin Tampereen Pispalan harjulla. Radonpitoisuuden alenemat olivat 50–95 %.

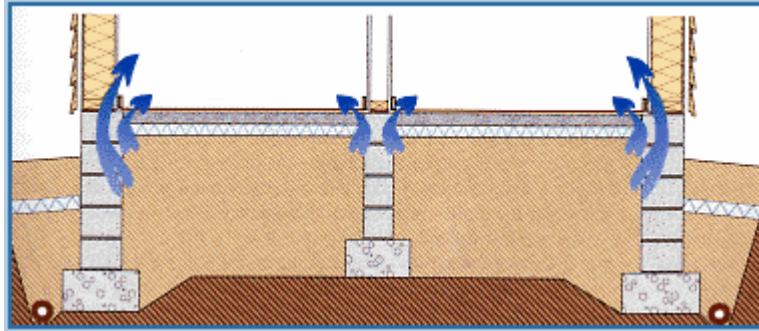


Kuva 8. Rivitaloasuntojen radonpitoisuus pieneni merkittävästi, kun käytettiin kahta radonkaivoa. [1, s.147.]

3.1.3 Rakenteiden tiivistäminen

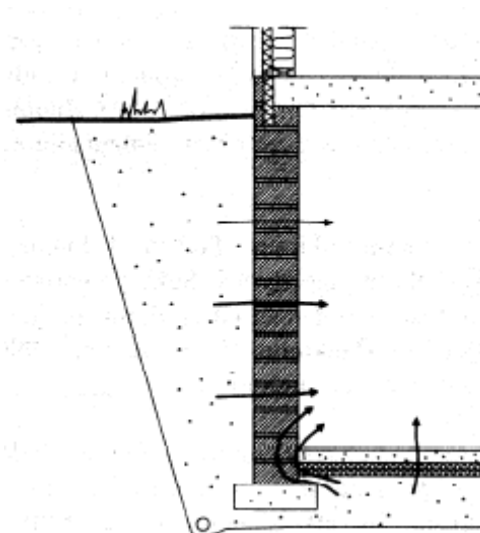
Maata vasten olevien rakenteiden tiivistämisellä on tarkoitus vähentää radonpitoisen ilman virtausta rakennukseen. Tiivistäminen on hyödyllistä vain, jos kaikki vuotoreitit ovat täysin tiiviitä, sillä vuotovirtaukset etsivät muutoin aina uuden reitin rakennukseen. Rakenteiden tiivistäminen on paljon helpompaa toteuttaa uudisrakentamisessa kuin jälkeinpäin tehtäessä. Korjauskustannuksiltaan rakenteiden tiivistäminen on suhteellisen halpaa. Tyypillisesti asukas tekee kaikki tai suuren osan töistä itse. Kalliit purkutyöt rajoittavat töiden tekoa. Kustannuksia on suhteellisen vaikea arvioida, mutta ne ovat tarvikkeiden osalta enintään muutaman sadan euron luokkaa. Tiivistettäessä on huomioitava, että kaikki raot on oltava puhtaita eli betoniaines ja irrallinen pöly on poistettava. Silikonipohjaisia aineita ei suositella käytettäväksi, sillä ne eivät tartu betoniin. Lattiarakojen tiivistämiseen voidaan käyttää lattiamassoja ja tasoitteita.

Radonpitoisuus on rakenteiden tiivistämisellä alentunut jopa 40 %, riippuen rakennustavasta ja -materiaaleista. Jos rakenneratkaisuna on maanvarainen laatta, radonpitoinen ilma pääsee taloon lattialaatan ja seinän välisistä raoista sekä sokkelin ja seinän kautta. [11, s.4.]



Kuva 9. Radonin vuotoreittejä asuntoon [2.]

Muita radonin vuotoreittejä asuntoon ovat mm. LVIS-asennusten lattialaattaan tulevat tarkastusluukut. Nämä kaikki luukut pitäisi olla ilmatiiviitä, ja ne on voitava sulkea ilmatiiviisti. Myös erilaisten putkistojen läpiviennit sekä kellaritilan tai rinnetalon kevytsoraharkkoseinät ovat radonin kulkureittejä rakennukseen. Harkko ei ole riittävän tiivistä, vaan päästää radonpitoista ilmaa lävitseen. Harkkoseinät tulee ”slammata” eli ohutrapata molemmin puolin radonvirtauksien estämiseksi.

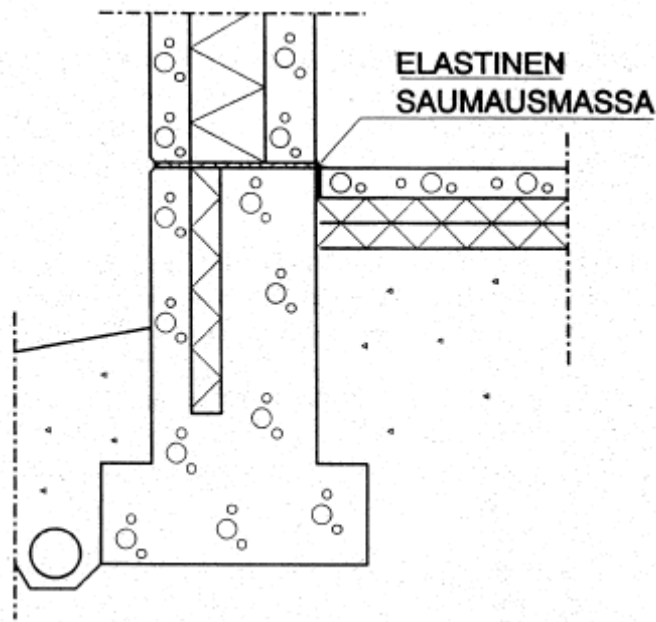


Kuva 10. Harkkoseinän ja kellaritilan vuotokohdat. [12.]



Kuva 11. Harkkoseinän ohutrappaus[13.]

Ennen rappaustyötä on pinta puhdistettava pölystä ja liasta joko harjaamalla tai painepesulla. Pinta ei saa olla jäässä. Rappauksen tarkoitus on muodostaa yhtenäinen ehjä pinta, joka estää maaperästä nousevan ilman virtauksen rakennukseen.

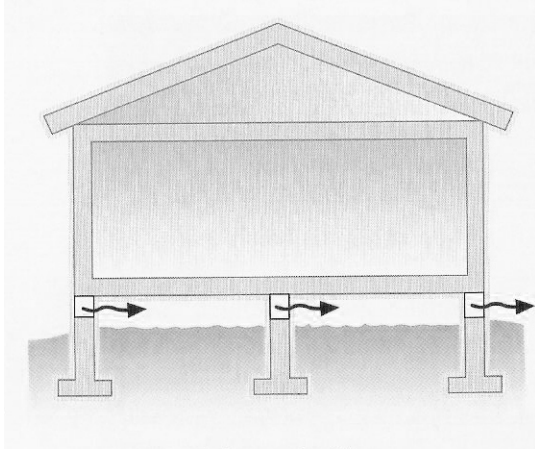


Kuva 12. Sokkelin ja laatan välisen sauman tiivistäminen. [8.]

Yllä olevassa kuvassa on esitetty elastisen saumausmassan asentaminen seinän ja laatan väliin jääneeseen kutistumarakoon. Rakoa voidaan tarvittaessa suurentaa koneellisesti, jotta saumausmassa on asennettavissa. [3, s. 107–108.]

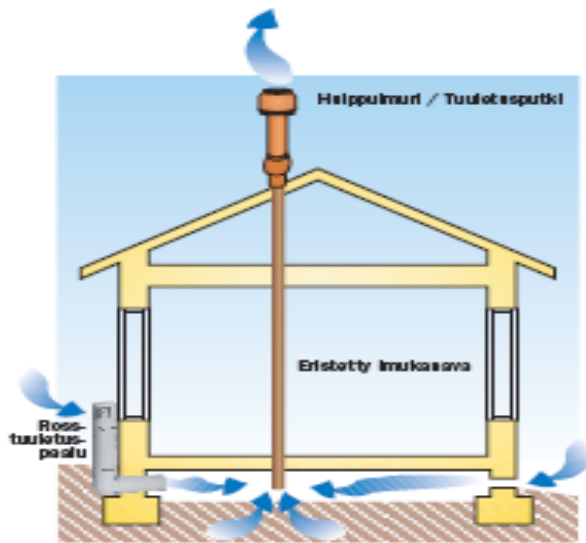
3.1.4 Ryömintätilan tuuletus

Ryömintätilaiseksi perustustavaksi kutsutaan kantavaa tuulettuvaa alapohjaa, joka on perusmuurin varassa (kuva 13). Maasta nouseva radonpitoinen ilma kasvattaa ryömintätilan radonpitoisuutta. Tuulettuva alapohja on radonturvallinen perustus, mikäli tuuletus on riittävä. Tämä johtuu siitä, että maaperän huokoisilman radonpitoisuus laimenee ryömintätilassa, ennen kuin ilma siirtyy asuntoon. Jos ryömintätilan tuuletus on puutteellinen, radonpitoista ilmaa voi päästä asuntoon. Asunnon radonpitoisuus kohoaa, jos ryömintätilan seinät ovat tiiviit ja tuuletusaukkoja on liian vähän. Asunnon radonpitoisuus kasvaa myös, jos asunnon alapohja on ilmaa läpäisevää.



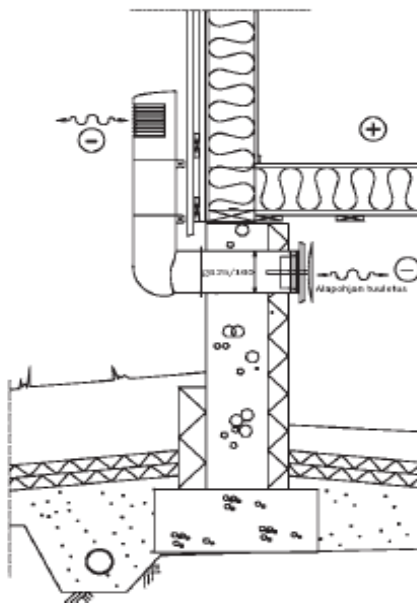
Kuva 13. Tuulettuva alapohja. [1, s. 130.]

Ryömintätilan ilmanvaihtoa voidaan parantaa aukaisemalla tuuletusluukut ja venttiilit. Tuuletusluukkujen eteen pitää laittaa verkot eläinten pääsyn estämiseksi. Jos aukkojen määrä on liian vähäinen, on niitä lisättävä. Tuulisilla paikoilla tuuletusaukkojen pinta-ala on oltava 20 cm^2 alapohjan pinta-alan neliometriä kohti. Tuulelta suojassa olevilla paikoissa sama suositus on 30 cm^2 . Ryömintätilan tuuletus toimii hyvin tuulisella säällä, mutta tyynellä säällä ilma voi olla hyvinkin seisovaa. Parhaimpaan tulokseen päästään, kun asennetaan pieni puhallin. Ryömintätilan oikeanlaisella tuulettamisella päästäänkin noin 60 %:n radonpitoisuuden alenemaan. Tuulettimen käyttö tulee kysymykseen alueilla, jossa maaperän radonpitoisuus on hyvin korkea. [8.]



Kuva 14. Ryömintätilan koneellinen tuuletus. [10.]

Ylhäällä olevassa kuvassa on SK- tuote Oy:n markkinoima ryömintätilan koneellinen tuuletusjärjestelmä. Koneellisessa radonin poistossa alapohjasta katolle asennettu radonimuri liitetään alapohjasta ullakkotilaan tuotuun muovikanavaan. Lisäksi tuuletuspaalut (kuva 15) asennetaan tuloilmaputkiksi talon alapohjaan.



Kuva 15. Tuuletuspaalu alapohjan tuuletuksessa [10.]

3.1.5 Ilmanvaihdon merkitys radonin torjunnassa

Hyvä ilmanvaihto vaikuttaa koko asunnon viihtyisyyteen ja terveellisyyteen. Samalle se estää kosteus- ja homevaurioita rakenteissa. Hyvä ilmanvaihto pitää kaikkien ilman epäpuhtauksien pitoisuudet alhaisina. Rakennukset suunnitellaan ulkoilmaan nähden hiukan alipaineisiksi, jotta välttyttäisiin kosteuden tiivistymiseltä rakennuksiin. Paine-eron tulisi olla kuitenkin alle 20 Pa. [3, s.127.]

Sisäilman radonpitoisuutta alennetaan joko ilman vaihtuvuutta lisäämällä tai asunnon alipaineisuutta vähentämällä. Ilmanvaihdon korjaustoimenpiteillä voidaan päästä jopa 40 %:n radonpitoisuuden alenemaan. Rakennusmääräysten mukaan asunnon ilman tulisi vaihtua kerran kahdessa tunnissa. Jos ilma vaihtuu asunnossa esim. kerran neljässä tunnissa, myös radonpitoisuus kasvaa heikon ilmanvaihdon vuoksi. Jos tällaista ilmanvaihtuvuutta tehostetaan suosituksien mukaisiksi ja radonin tulo pysyy ennallaan, alenee radonpitoisuus 30 – 40 %:iin aikaisemmasta. Samalla asunnon ilma paranee myös muilta ominaisuuksiltaan. Jos mitattu radonpitoisuus on yli 800 Bq/m³, ilmanvaihdon parantaminen ainoana toimenpiteenä ei ole riittävä menetelmä radonpitoisuuden alentamiseksi. [8.]

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

Tärkeimpiä korjaustoimenpiteitä ovat ilmanvaihdon tehostaminen ja mahdollisen koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen.

Ilmanvaihdon tehostaminen

Painovoimaista ilmanvaihtoa voi tehostaa asentamalla tuloilmaventtiileitä tai aukaisemalla poisto- ja tuloilmaventtiilit suurempaan asentoon.

Koneellinen ilmanvaihto takaa riittävän ilman vaihtuvuuden vain oikein suunniteltuna ja käytettynä. Koneellinen ilmanvaihto tulee olla jatkuvasti päällä. Jos ilma tuntuu tunkkaiselta normaalissa sisälämpötilassa, kannattaa harkita ilmanvaihtuvuuden mittaamista. Ilmanvaihdon mittauksen ja säädön suorittaa alan ammattilainen.

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa on kokonaistuloilmavirta sekä kokonaispoistovirta tasapainotettava. Liian suuri poistoilmamäärä verrattuna tuloilmamäärään lisää asunnon

alipaineisuutta ja siten myös radonvuotoja asuntoon. Tällöin ikään kuin imetään radonpitoista ilmaa asunnon täytesorasta.

Koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen

Asennettaessa koneellista ilmanvaihtojärjestelmää tulee asentaa riittävä määrä tuloilmaventtiileitä, jotka on sijoitettava asuinhuoneisiin. Venttiilien oikea paikka on lämpöpatterien ja ikkunoiden yläpuolella, jolloin kylmä ilmavirta sekoittuu patterista nousevaan lämpimään ilmaan.

Ilmanvaihdon keskeisenä periaatteena on, että puhdas ilma otetaan oleskelutilojen venttiileistä ja poistoilmaventtiilit sijaitsevat ns. likaisissa tiloissa (pesuhuone, Wc, sauna, keittiö).

Parhaat tulokset on saatu asentamalla koneellinen tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmä taloon, jossa aiemmin on ollut huonosti toimiva painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä. Tällöin radonpitoisuus on saattanut alentua jopa 70 % lähtötilanteesta. [8.]

3.2 Radonin torjunta uudisrakentamisessa

Radonin torjuntaan uudisrakentamisvaiheessa on monia keinoja. Rakennukset tulee suunnitella ja rakentaa siten, että suositusten mukainen 200 Bq/m^3 raja asuntojen sisäilmassa ei ylity. Tämä tavoite arvo on kuitenkin tiukka, ja se ylittyy helposti laajoilla alueilla Suomessa. Ohjearvojen ylitykset ovat yleisimpiä soraharjuilla, joissa maaperän huokosilma pääsee liikkumaan helposti. Näillä alueilla on erityisen tärkeää huolellinen ja ammattitaitoinen rakennustyön toteutus.

Radonpitoisessa maaperässä rakenteiden tiivistystyö on ensiarvoisen tärkeää. Uudisrakentamisessa tehtävä tiivistystyö on periaatteeltaan samanlainen kuin edellä korjausrakentamisen yhteydessä on esitetty. Suurimmat vuotokohdat ovat alapohjalaatan ja seinän yhtymäkohta sekä laatan läpiviennit, joten näiden tiivistäminen on erityisen tärkeää.

Nykyisin lähes kaikkiin uudisrakennuksiin asennetaan täyttösoraan radonputkisto kaiken varalta. Radonsuojauksen rakentaminen jo uudisrakentamisvaiheessa on kustannuksiltaan huomattavasti taloudellisempaa ja helpompaa kuin jälkepäin tehtäessä korjaustoimenpiteinä.

Uudisrakennuksen radonsuojausta suunniteltaessa monet työvaiheet ovat samoja kuin korjausrakentamisen yhteydessä, esimerkiksi rakenteiden tiivistäminen, ilmanvaihdon säätäminen ja ryömintätilan tuuletus. [11, s. 1–2.]

3.2.1 Perustusratkaisujen merkitys

Perustustavan valinnalla on tärkeä merkitys radonin torjunnassa. Radonturvallisin ratkaisu on tuulettuva alapohja. Tällä perustusratkaisulla voidaan päästä jopa lähelle ulkoilman radonpitoisuutta $5\text{--}20 \text{ Bq/m}^3$. Ryömintätillaiset ratkaisut eivät kuitenkaan yksin riitä estämään radonin kulkeutumista sisäilmaan, vaan niissäkin tulee huolehtia alapohjan ja sen liittymien ja kaikkien läpivientien huolellisesta tiivistämisestä ja ryömintätilan riittävästä tuulettumisesta.

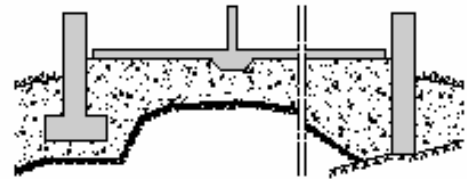
Maanvaraisissa rakenteissa paras ratkaisu on mahdollisimman yhtenäinen ja tiivis alapohjarakenne, jossa on vähän tiivistettävää, esim. reunavahvistettu laattaperustus. [11, s. 3.]

Perusmuuri ja maanvarainen alapohja

- kantavien väliseinien ym. perustaminen laattavahvistusten varaan vähentää tiivistettävien liittymien määrää

Kiinnitettävä erityistä huomiota

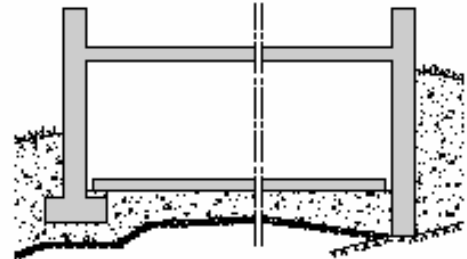
- maanvaraisen laatan ja lävistävien rakennusosien liittymien tiivistämiseen
- perusmuurin ja alapohjan liitoskohdan tiivistämiseen
- läpivientien tiivistämiseen
- monimuotoisissa rakennuspohjissa lattialaatan halkeamiin

**Perusmuuri ja maanvarainen alapohja, kellari**

- maanvarainen laatta on usein kantavien väliseinien jakama

Kiinnitettävä erityistä huomiota

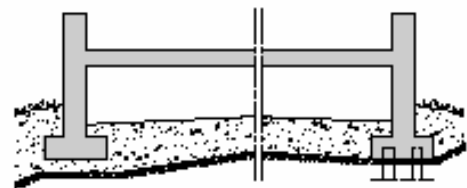
- kellarin seinien tiivistämiseen
- maanvaraisen laatan ja kantavien väliseinien liittymien tiivistämiseen
- perusmuurin ja alapohjan liitoskohdan tiivistämiseen
- läpivientien tiivistämiseen
- monimuotoisissa rakennuspohjissa lattialaatan halkeamiin

**Perusmuuri ja kantava alapohja, ryömintätila**

- tuulettuva ryömintätila vähentää rakennuspohjan ilmavirtausten radonpitoisuutta eikä rakennuspohjan tuuletusjärjestelmää tarvita

Kiinnitettävä erityistä huomiota

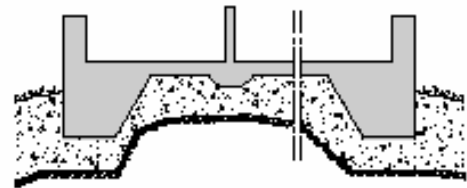
- alapohjarakenteen ja sen liitoskohtien tiivistämiseen
- alapohjarakenteen läpivientien tiivistämiseen

**Reunavahvistettu laattaperustus**

- yhtenäinen paksu, hyvin raudoitettu lattialaatta
- kantavien väliseinien ym. perustaminen laattavahvistusten varaan vähentää tiivistettävien liittymien määrää
- ei rakennusosien välisiä saumoja

Kiinnitettävä erityistä huomiota

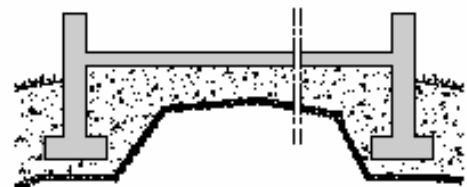
- alapohjarakenteen läpivientien tiivistämiseen

**Perusmuuri ja kantava alapohja, maata vasten valettu**

- yhtenäinen paksu, hyvin raudoitettu lattialaatta
- ei rakennusosien välisiä saumoja

Kiinnitettävä erityistä huomiota

- alapohjarakenteen läpivientien tiivistämiseen
- alapohjan täyttökerrosten pienikin painuminen mahdollistaa sivuttaisilma- ja ilmavirtaukset, mikä lisää rakenteiden tiivydelle asetettuja vaatimuksia

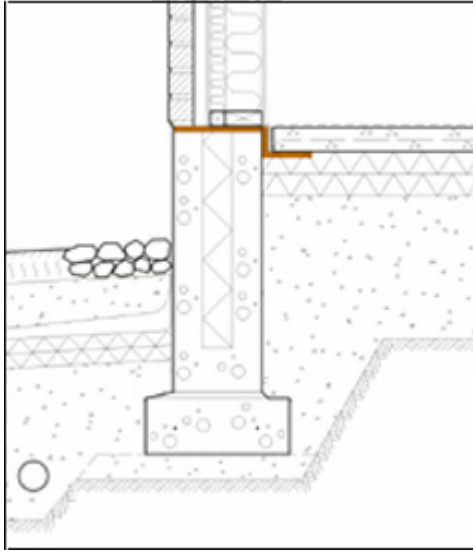


Kuva 16. Eri perustusratkaisujen vaikutus radontekniseen suunnitteluun. [11, s. 3.]

3.2.2 Maanvarainen betonilaatta

Maanvarainen betonilaatta estää hyvin radonin pääsyn sisäilmaan. Radonturvallisen maanvaraisen laatan tekemisessä on tärkeää huolellinen perustusten tiivistäminen ja radonputkiston asentaminen laatan alle täyttösoraan. Jos lattialaatta valetaan erikseen sokkelin sisään, voidaan riittävä tiiviys saavuttaa sokkelin ja laatan liitokseen asennetulla bitumikermillä ja tarkoitukseen kehitetyllä radonhuovalla. Laatan paksuus on oltava enemmän kuin 80 mm. Halkeilun estämiseksi laattaa on kasteltava. Valetun lattialaatan päälle levitetään muovikalvo vähin-

tään 14 vuorokauden ajaksi liian nopean kuivumisen ja laatan halkeilun estämiseksi. Laatan pinnassa lämpötilan on oltava koko jälkihoidon ajan yli + 5°C.



Kuva 17. Kumibituminasennus. [2.]

3.2.3 Ryömintätilainen alapohja

Alueilla, joissa radonpitoisuudet ovat hyvin korkeita, suositeltavaa on pientalon rakentaminen tuulettuvalla eli ryömintätilaisella alapohjaratkaisulla. Se on aina turvallisempi kuin maanvarainen laattarakaisu. Maaperästä kohoava radonpitoinen ilma laimenee nopeasti maan pinnalla. Tällöinkin on huolehdittava riittävästä tuuletuksesta ja alapohjan huolellisesta tiivistämisestä. Tältä osin perusteet ovat samat kuin korjausrakentamisessa ja asia on käsitelty kohdassa 3.1.4.

Tampereen teknillisen yliopiston pohja- ja maarakenteiden laboratorio on kehittänyt pientalojen tuulettuvaa teräsperustusjärjestelmää. Tavoitteena on ollut alapohjiin liittyvien kosteusongelmien ja radonsuojauksen hallinta. Tässä järjestelmässä on kehitetty uudentyyppinen tuulettuva teräsperustusjärjestelmä. Tällöin alapohjarakenteet ja talon seinärakenteet tukeutuvat teräsputkipalkistoon. Palkisto puolestaan kiinnittyy suoraan maahan asennettuihin teräsraudoituksiin. Teräsperustus on riippumaton rakennuspaikan pohjasuhteista ja soveltuu kaikille yleisimmille alapohja- ja seinärakennustyypeille. Perustusjärjestelmä ei yleensä edellytä salaoja- tai routaeristeiden käyttöä.

Tämä uusi pientalojen perustusten rakennustapa on erityisen radonturvallinen. [14, s. 3.]

3.2.4 Uudistalon ilmanvaihto ja toteutus

Ilmanvaihdon tarkoituksena on poistaa asunnon ja muiden oleskelutilojen sisäilmasta epäpuhtauksia ja samalla huolehtia puhtaan korvausilman saannista. Uusissa asuinrakennuksissa ilmanvaihto tapahtuu lähes aina koneellisesti. Ilmanvaihdon periaatteet uudisrakentamisessa ovat pitkälti samat kuin kohdassa 3.1.5 on esitelty korjausrakentamisen yhteydessä

Painovoimainen ilmanvaihto

Perinteistä painovoimaista ilmanvaihtoa ei juurikaan enää käytetä uusissa omakotitaloissa. Tällöin ilmanvaihto perustuu lämpötilan ja tuulen aiheuttamiin paine-eroihin sisä- ja ulkoilman välillä. Ilma vaihtuu venttiilien ja erilaisten hormistojen kautta. Käytännössä painovoimainen ilmanvaihto toimii vain talvisin, jolloin sisä- ja ulkolämpötilojen ero on suurimmillaan. Usein tällaisissa ilmanvaihtoratkaisuissa asunnon ilmanvaihto ei ole riittävä kesäaikana. Tästä johtuen asuntojen radonpitoisuus voi nousta merkittävästi.[15].

Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ns. likaisista tiloista ilma poistetaan puhaltimella, joka on useimmiten talon katolle asennettu huippuimuri tai liesikuvun yhteydessä toimiva talotuuletin. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa on huolehdittava korvausilman riittävästä määrästä. Tämä voidaan toteuttaa erillisillä korvausilmaventtiileillä.

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa likainen ilma poistetaan ja korvausilma puhalletaan sisään koneellisesti. Koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihdon on mahdollisuus liittää energiaa säästävää lämmön talteenottoa. Lisäksi tuloilma suodatetaan, jolloin voidaan estää siitepölyn ja muiden ilman epäpuhtauksien pääsy sisätiloihin.

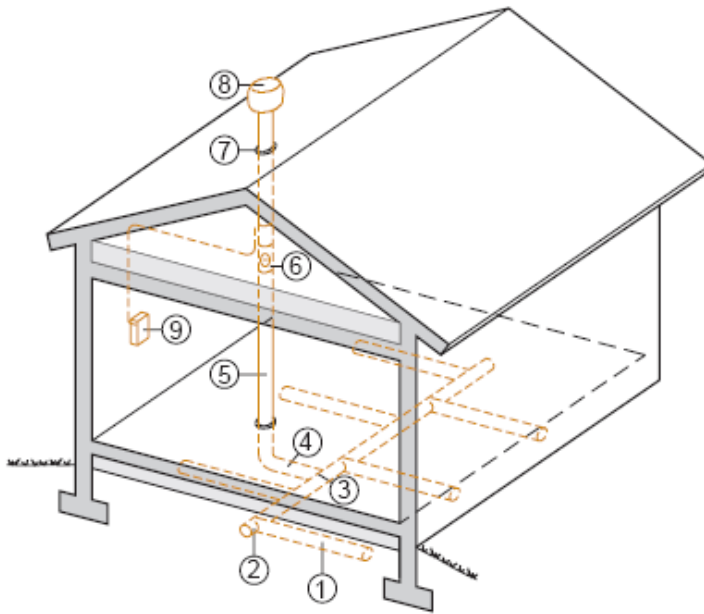
Nykyiset määräykset rakennuksen energiatehokkuudesta edellyttävät, että rakennus on varustettava lämmön talteenotolla. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä on nykyisin ylivoimaisesti suosituin ilmanvaihtojärjestelmä, ja se tulee 90 %:iin uusista omakotitaloista.[15].

Tämä ilmanvaihtojärjestelmä on rakennuksen sisäilman radonpitoisuuden hallinnan kannalta paras. Tällöin on saatavissa sisä- ja ulkotilan paine-ero ihanteelliseksi ja radonvirtaukset mahdollisimman pieniksi. [11, s. 2.]

3.2.5 Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmän rakentaminen

Uudisrakentamisessa alapohjan täyttösoraan asennetaan imukanavisto, joka toimii rakennuspohjan tuuletusjärjestelmänä. Tällä varmistetaan sisäilman radonpitoisuuden hallinta. Järjestelmän tarkoituksena on salaojituskerroksen huokosilman tuulettaminen ja rakennuspohjan alipaineistaminen. Kosteusvauriotapauksissa rakennuspohjan tuuletusjärjestelmä voi toimia samalla asunnon alapohjan tuuletusjärjestelmänä. Radonpitoisuuden hallinta sisäilmassa onnistuu tuuletusjärjestelmän avulla ainoastaan, jos alapohja- ja perustusrakenteiden tiivistysratkaisut on tehty hyvin. Kun rakennuspohjaan luodaan alipaine, niin se estää radonpitoisen ilman kulkeutumisen asuintiloihin.

Järjestelmä muodostuu salaojituskerrokseen asennettavasta imu-, siirto- ja poistokanavasta liitoskappaleineen ja katolle asennettavasta poistopuhaltimesta. Rakennuspohjan alipaineistaminen ja järjestelmän toimivuus onnistuu vain puhaltimen avulla. Järjestelmän kaikki osat on oltava korroosionkestävästä materiaalista. Tuuletusjärjestelmien perusratkaisuja ovat joko monihaarainen tai rengasmallinen imukanavisto. Putkisto asennetaan salaojakerrokseen noin 200 mm:n syvyyteen eristeen alapinnasta. [11, s. 9.]



Kuva 18. Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmän osat ja niiden sijainti asunnossa. Kuvassa monihaarainen tuuletusjärjestelmä. [11, s. 9.]

Tuuletusjärjestelmän numeroselitykset

1. **Imukanavisto.** Kanavisto voidaan rakentaa tavallisesta rei'itetystä salaojaputkesta. Imukanaviston tehtävänä on imeä radonpitoista ilmaa maaperästä. Imukanava voidaan liittää kokoojakanavaan tavallisilla salaojaputken liitoskappaleilla. Monihaarisessa järjestelmässä on tärkeää, että molemmat imukanaviston päät tulpataan huolel-



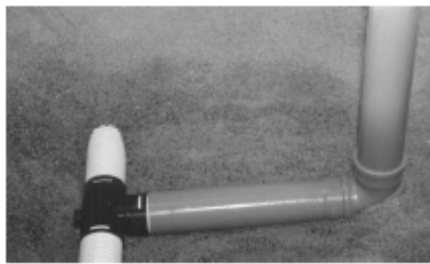
Kuva 19. Imukanaviston liitoskappaleita [11, s. 13.]

2. **Kokoojakanava.** Kanava on yleensä sadevesiviemäri- tai viemäriputkea. Kanavan tehtävänä on kuljettaa radonpitoinen ilma siirtokanavan kautta poistokanavaan. Lisäksi kokoojakanavistoon tehdään 5 mm halkaisijaltaan olevia reikiä kolmen metrin välein mahdollisesti tiivistyvän kosteuden poistoa varten.
3. **Poistopiste.** Poistopiste on siirtokanavan ja kokoojakanavan liitoskohta.
4. **Siirtokanava.** Siirtokanava yhdistää kokoojakanavan poistokanavaan. Siirtokanava kallistetaan kokoojakanavaan päin 1:50 ...1:100.



Kuva 20. Siirtokanavan kallistuksen tarkistus. [11, s. 13.]

5. **Poistokanava.** Poistokanava tehdään muovisesta viemäriputkesta. Poistokanava on siirtokanavasta yläpohjan läpi vesikatolle johtava kanava. Siirtokanavan päähän asennetaan viemäriputken 90 asteen kulmakappale. Poistokanava liitetään siirtokanavan kulmakappaleeseen.



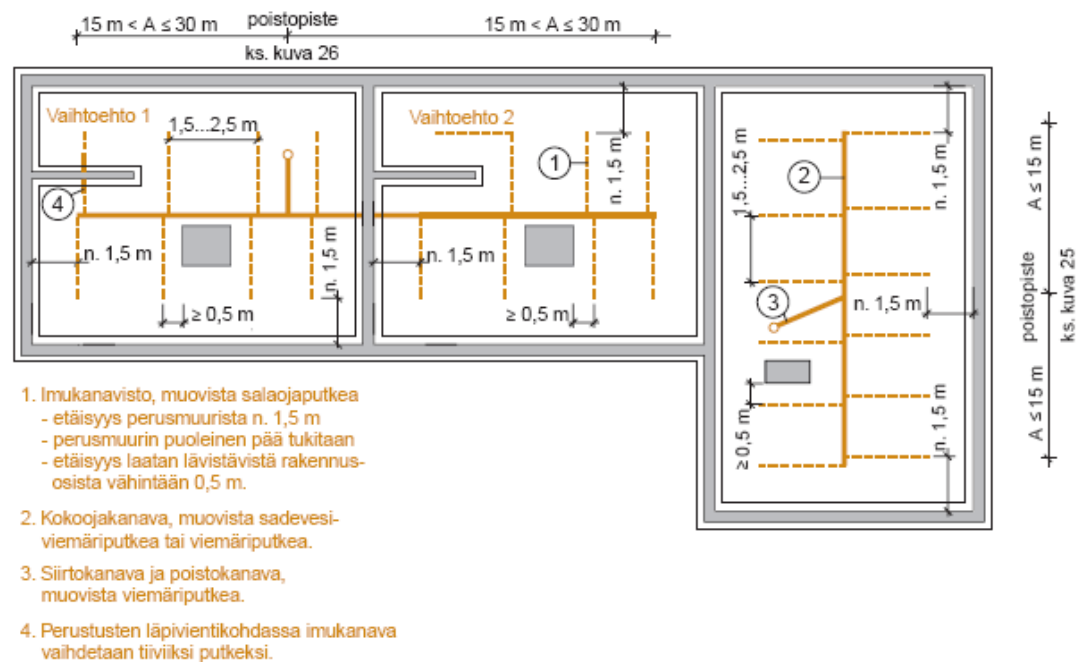
Kuva 21. Poistokanava liitetään siirtokanavan kulmakappaleeseen. [11, s. 13.]

6. **Säätöpelti.** Säätöpellillä säädetään poistopuhaltimen imevää ilmamäärää.
7. **Vesikaton läpivientikappale.** Kappale tulee valita katetyypin ja poistopuhaltimen mukaan.

8. **Poistopuhallin.** Puhallin asennetaan poistokanavan päähän. Puhaltimen asennusta suositellaan vesikaton yläpuolelle.
9. **Sähköliitäntävaraus.** Varaus jätetään huippumurin ja mahdollisen sähköisen tehonsäätimen asentamista varten.

Rakennusvaiheessa poistokanavanpää tulpataan ullakkotilaan. Poistokanava viedään vesikatolle vasta, jos radonmittaukset osoittavat sen välttämättömäksi.

Monihaaraista imukanavistoa käytetään yleensä rivitaloissa. Periaatteena on, että kokoojakanava sijoitetaan keskelle rakennusta ja imukanavat haarautuvat siitä 1,5...2,5 metrin välein tasaisesti rakennuspohjan alueelle. Imukanavat eivät saa olla ulkoseinää lähempänä kuin 1,5 metriä. Seuraavassa kuvassa on esitetty monihaaraisen imukanaviston sijoittaminen rakennuspohjaan.

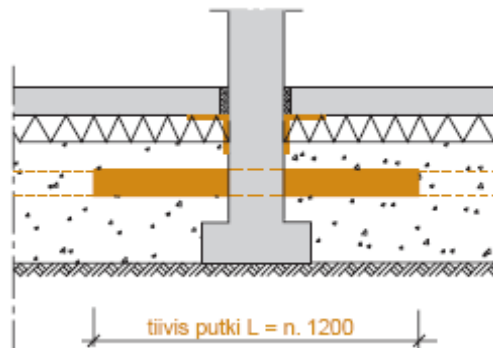


Kuva 22. Pohjakuva monihaaraisesta imukanavistosta. [11, s. 11.]

Numeroiden selitykset

1. Imukanaviston etäisyys perusmuurista tulee olla n. 1,5 m. Laatan lävistävistä rakennusosista vähintään 0,5 metriä.

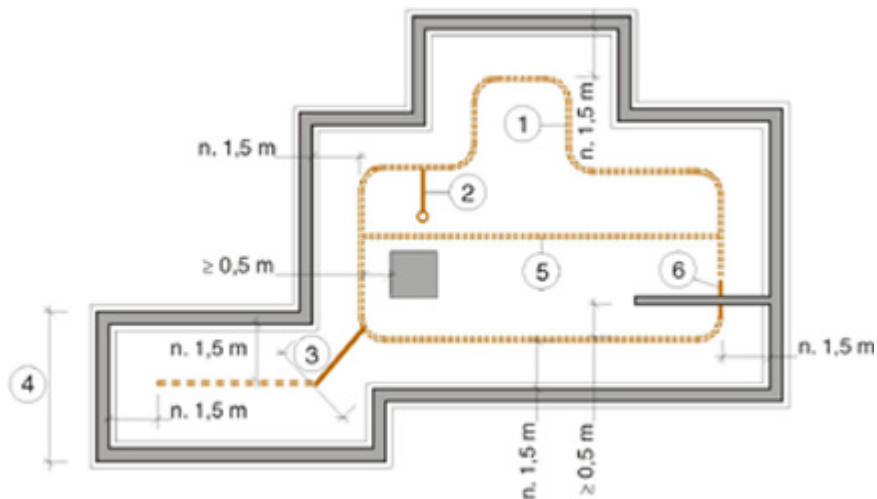
2. Kokoojakanavan tulee olla rakennuspohjan keskellä. Lisäksi putkiston päät tulee olla tulpattuina.
3. Poistokanava tulee valita imu- tai kokoojakanavan mittojen mukaan, jotta ne sopivat yhteen ja ovat tiiviitä.
4. Perustuksien läpivientikohdassa imukanava vaihdetaan tiiviiksi putkeksi.



Kuva 23. Imukanavan läpivienti kantavan seinän perustuksien kohdalla. [11, s. 11.]

3.2.6 Rengasmallinen imukanavisto

Rengasmallista imukanavistoa käytetään yleensä pientaloissa. Imukanavisto kiertää rakennuksen 1,5 metrin etäisyydellä rakennuksen perusmuurista päätyen siirtokanavaan.



Kuva 24. Rengasmallisen radonputkiston asentaminen. [11, s. 10.]

3.3 Radonin poisto käyttövedestä

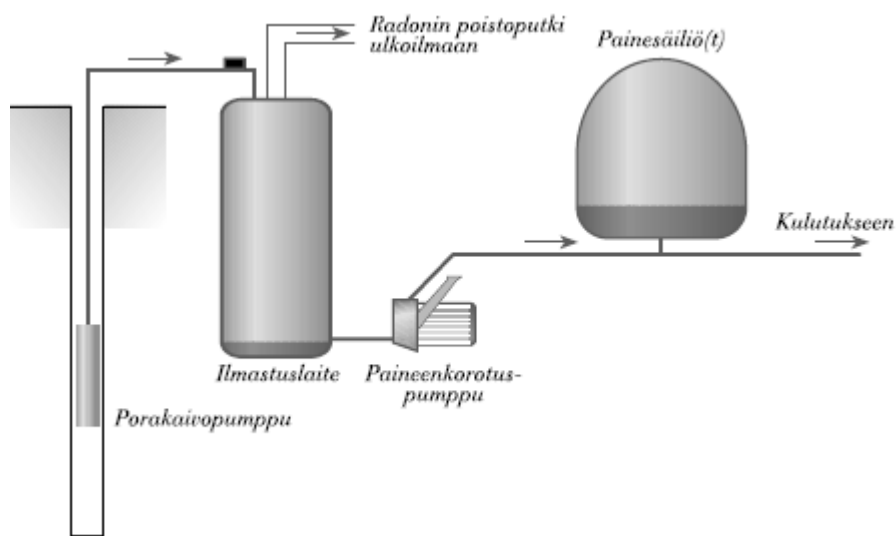
Jos kaivoveden radonpitoisuus ylittää 1000 Bq/l, kannattaa harkita mahdollisuuksien mukaan liittymistä yleiseen vesijohtoverkoston tai jopa rengaskaivon rakentamista. Jos nämä toimenpiteet eivät onnistu, tulisi radon poistaa vedestä teknisin menetelmin. Poistamalla radon vedestä saadaan säteilyannos laskemaan jopa kymmenenteen osaan lähtötilanteesta.

Radon on pyrittävä poistamaan talousvedestä, koska vedenkäytön yhteydessä sitä vapautuu huoneilmaan ja asukkaiden säteilyannos kasvaa. Muille radioaktiivisille aineille riittää poisto juomavedestä, sillä ne eivät aiheuta säteilyä muun vedenkäytön yhteydessä, esim. suihkussa. Radonin poisto käyttövedestä voidaan tehdä kahdella tavalla; ilmastamalla tai aktiivihii-lisuodattimella. Molemmilla menetelmillä saadut tulokset ovat hyviä.[1, s. 164–193 ja 16.]

3.3.1 Radonin poisto ilmastamalla

Radonin poisto vedestä ilmastusmenetelmällä perustuu radonkaasun siirtymiseen vedestä ilmaan. Menetelmän tehokkuuteen vaikuttaa ilman ja veden kontaktiaika, veden ja ilman rajapinnan ala, radonin pitoisuusero veden ja ilman välillä sekä paine ja lämpötila.

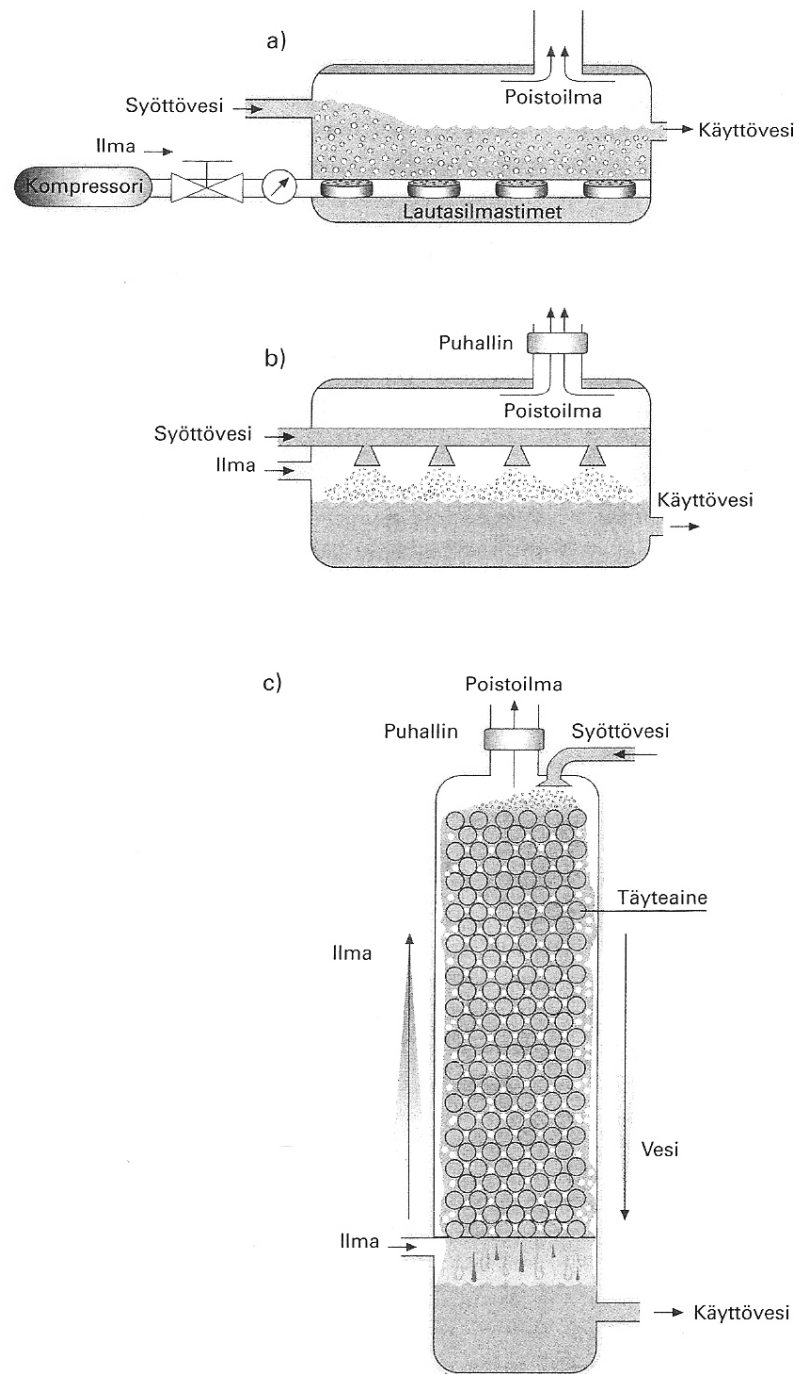
Ilmastusta pidetään ensisijaisena menetelmänä. Ilmastamalla pystytään alentamaan korkeita radonpitoisuuksia. Aktiivihilisuodatuksen verrattuna ilmastus on kalliimpaa ja se vaatii paljon enemmän tilaa. Markkinoiden parhaimmilla ilmastamilla voidaan poistaa yli 90 % radonpitoisuudesta. Ilmastuksessa vedestä poistuu radonin lisäksi rikkivetyä ja hiilidioksidia, mikä vaikuttaa veden makuun ja hajuun. Hiilidioksidin poistuminen vedestä pienentää myös veden korroosio-ominaisuuksia. Tyypillinen ilmavesisuhde on 5–10. Ilmastus tapahtuu erillisessä astiassa, sillä radonia liukenee veteen koko ajan. [1, s. 190.]



Kuva 25. Ilmastimen asennus. [16.]

Vesi ja ilma voidaan saada kosketuksiin eri tavoin:

1. Johtamalla ilma veteen pieninä kuplina (hienokuplailmastus, kuva 26 a) tai
2. suihkuttamalla vesi ilmaan hyvin pieninä pisaroina (suihkutusilmastus, kuva 26 b) tai
3. valuttamalla sitä ohuena kerroksena tai kalvona torni-ilmastimessa (torni-ilmastus, kuva 26 c).



Kuva 26 a, b, c. Radonin poisto eri ilmastusmenetelmillä. [1, s. 191.]

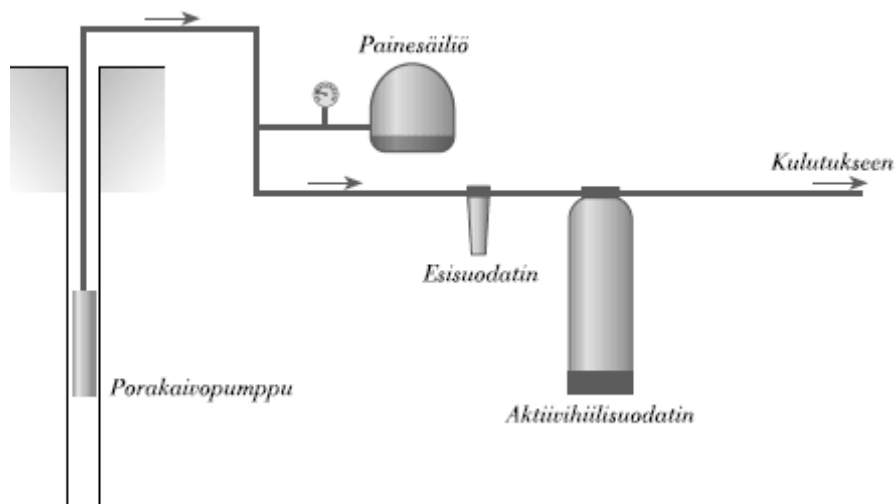
Hienokuplailmastus tapahtuu avoimessa tai umpinaisessa säiliössä (kuva 25 a). Sen pohjalla olevista suuttimista ilma ohjataan säiliöön. Radonin poistuminen on parhaimmillaan kuplakoon pienentyessä, ilma-vesisuhteen kasvaessa sekä ilmastusajan pidentyessä. Paras ilma-vesisuhte on 10:1. Suurempaa ilma-vesisuhdetta voidaan käyttää, jos radonpitoisuus on suuri, veden liikkuminen suurta ja jos halutaan päästä erittäin pieniin radonpitoisuuksiin.

Suihkutusilmastus on taloudellisin puhdistusmenetelmä. Suihkutusilmastuksessa vesi suihkutaan altaaseen mahdollisimman pieninä pisaroina, jolloin radonin poistuminen on tehokkainta. Suihkutus- ja hienokuplailmastusta voidaan käyttää myös yhdessä.

Torni-ilmastus on suihkutustilastusta tehokkaampi menetelmä. Pystysuunnassa oleva tornisylinteri täytetään muovipalloilla tai renkailla. Vesi johdetaan sylinteriin ylä- ja ilma alaosasta. Vesi muodostaa ohuen kalvon pallojen tai renkaiden pintaan, josta radon pääsee ulkoilmaan. [16.]

3.3.2 Radonin poisto aktiivihiihliisuodatuksella

Kun käyttöveden radonpitoisuus on alle 5000 Bq/l, suositellaan käytettäväksi aktiivihiihliisuodatinta. Tämä johtuu siitä, että suodattimeen keräytyy radonin hajoamistuotteita, jotka lähettävät gammasäteilyä. Tätä poistomenetelmää ei suositella asennettavaksi asuinrakennuksen viereen, vaan erilliseen rakennukseen tai maan sisään.



Kuva 27. Aktiivihiihliisuodattimen asennus. [16.]

Radonin poisto aktiivihiihliisuodattimella perustuu radonin absorptioon aktiivihiihlien pintaan. Aktiivihiihliisuodatin poistaa radonia lähes täydellisesti. Suodatinlaite voi olla lujitemuovia, lasikuituseosta tai metallia ja säiliö on täytetty aktiivihiihliellä. Säiliön tilavuus on 20–100 litraa. Kooltaan suodatin on yleensä alle metrin korkuinen ja 30 cm leveä. Aktiivihiihliisuodatin asennetaan vesijohtoverkkoon painesäiliön jälkeen. Veden sameuden, hiekan, raudan ja muiden

epäpuhtauksien poistamiseksi järjestelmään voidaan asentaa esisuodatin (kuva 27). Esisuodattimen etuna on, että se on helppo asentaa ja se pidentää aktiivihiihlen käyttöikää. Esisuodatin voidaan asentaa myös heti porakaivopumpun jälkeen ennen painesäiliötä.

Aktiivihiihliisuodatin tulee vaihtaa noin kahden vuoden välein riippuen veden kulutuksesta, sen sisältämästä uraani- ja rautapitoisuudesta sekä suodattimen koosta. Veden uraanipitoisuuden ylittäessä 0,1 mg/l radonin poisto voi heikentyä jo muutaman viikon päästä suodattimen käyttöön otosta. Uraanin voi poistaa vedestä anioninvaihtimella. [16.]

Taulukko 10. Radonin poistotehokkuuksia eri menetelmillä [1, s. 193.]

Poistomenetelmä	Poistotehokkuus (%)
Hienokuplailmastus	70–99
Suihkutusilmastus	65–98
Torni-ilmastus	90–99
Yhdistetty hienokupla- ja Suihkutusilmastus	95–99
Aktiivihiihliisuodatus	60–99

4 RADONMITTAUKSET KONTIOLAHDEN KUNNASSA

4.1 Yleiskuvaus Kontiolahden kunnasta

Kontiolahden kunta sijaitsee Itä-Suomen läänissä keskellä Pohjois-Karjalan maakuntaa. Kuntakeskus on noin 20 kilometriä Joensuusta pohjoiseen valtatie n:ro 6 varressa. Kunnan pinta-ala on 1030 km² ja pituus noin 70 kilometriä.

Kunnan maisemat ja maaperät ovat hyvin vaihtelevat ja korkeuserot huomattavat. Kunnan koillisosassa sijaitsevat vaarat kohoavat jopa 200 metrin korkeuteen meren pinnasta ja ulottuvat aina Kolille asti. Osa Kolin kansallispuistosta on Kontiolahden kunnan puolella. Kunnan eteläosassa on laajoja tasaisia jääkauden muovaamia hiekka- ja sora-alueita. Kontiolahden merkittävimmät vesistöt ovat Höytiäinen ja kunnan halki virtaava Pielisjoki.

Kontiolahden väkiluku on ollut jatkuvasti kasvava, ja vuoden 2006 lopussa se oli 13.000 henkeä. Väestönkasvu 2000-luvulla on ollut 150–400 henkeä vuodessa. Kunnassa rakennetaan vuosittain keskimäärin 80–90 omakotitaloa ja 40–50 rivitalo- tai kerrostaloasuntoa. Kunnan asunto-ohjelman mukaan sama rakentamisen määrä pyritään säilyttämään myös tulevina vuosina. Kontiolahden kunta on joutunut jopa rajoittamaan pientalotonttien luovutusta, jotta peruspalvelut olisivat kaikille riittävät. [17.]

Kontiolahden kunnassa on asemakaavat kolmessa suurimmassa taajamassa: Kirkonkylässä, Kontioniemessä ja Lehmassa. Kuntakeskus sijaitsee kirkonkylässä, Kontioniemen asuma-alue on syntynyt Kontiorannan varuskunnan ja entisen Kontioniemen parantolan läheisyyteen. Lehmo Joensuun vieressä on kaikkein nopeimmin kasvava taajama, ja siellä asuu jo lähes 4.000 asukasta.

Omakotitaloista noin 70 % rakennetaan asemakaava-alueelle ja loput kyläkeskuksiin ja haja-asutusalueelle. Rivitalo- ja kerrostalorakentaminen tapahtuu kokonaan asemakaava-alueille. Edellä olevat tiedot on saatu Kontiolahden kunnan rakennuslupatilastoista vuosilta 2000–2006.

Kontiolahden kunnan teollisten työpaikkojen kasvu on ollut 1990-luvun alusta lähtien erittäin voimakasta. Kunnan suurin työnantaja on tällä hetkellä Perlos, jossa työskentelee noin 700 henkeä. Yhtiö on kuitenkin esittänyt julkisuudessa vähentävänsä työvoimaa merkittävästi

vuoden 2007 aikana Kontiolahdella ja Joensuussa. Muita suuria työllistäjiä ovat mm. Pohjois-Karjalan prikaati, Paiholan sairaala, Pohjois-Karjalan Sähkö, Kontiolahden kunta sekä uudet metalli- ja muovialan yritykset Plasthill, Aillos, Alsiva ja Fodesco.

4.2 Kontiolahden kunnan maaperä

Radonin leviämisessä rakennuksiin on ratkaiseva merkitys alueen maaperällä. Kontiolahden kunnan alueelta on Geologinen tutkimuslaitos laatinut yksityiskohtaisen maaperäkartan. Aineisto on hankittu kunnan käyttöön koko kuntaa koskevan yleiskaavatyön yhteydessä vuonna 2006. Maaperätietojen tulkinnalla on keskeinen merkitys, kun pyritään ennakoimaan korkean radonpitoisuuden omaavia alueita.

Kontiolahden kunnan maaperä on pääosin moreenia. Poikittainen Salpausselkä muodostaa kunnan eteläosaan laajan hiekka- ja soraesiintymän. Joensuun läheiset soraharjut ovat olleet samanaikaisesti tärkeitä pohjavesialueita, haluttuja pientalojen rakennuspaikkoja ja maainesten ottoalueita. Korkeimmat soraharjut ovat 30–40 metriä korkeita, esim. koko Kontioniemen asemakaava-alue.

Kontiolahden kunnan itäreunaan Kuusojan kankaille on kauppa- ja teollisuusministeriö myöntänyt syksyllä 2006 Suomen ensimmäisen tutkimusluvan uraanikaivosta varten ranskalaiselle Areva-yhtiölle. Alueen uraanipitoisuus on tavanomaista korkeampi, mutta vasta perusteellisten tutkimusten perusteella päätetään mahdollisesta kaivostoiminnan käynnistämisestä. [18.]

4.3 Geologisen tutkimuslaitoksen maaperäluokitus

Maaperäkartalla kuvataan maalajien ja maaperägeologisten muodostumien esiintymistä ja ominaisuuksia. Maaperäkartta tehdään maastohavaintojen sekä kartta- ja ilmakuvatulkinnan perusteella. Maaperäkartta työstetään mittakaavassa 1:10.000 ja julkaistaan mittakaavassa 1:20.000. Maaperäkartoja saa Geologisen tutkimuslaitoksesta painettuina paperikarttoina tai numeerisina vektorimuotoisina tiedostoina.

Seuraavat maalaji- ja raekokoluokitukset sekä kuvaustekniikat on otettu tiivistelmänä Geologisen tutkimuslaitoksen internet-sivuilta [19]. Mukaan olen ottanut ne osiot, jotka todennäköisesti vaikuttavat alueen maaperän radonpitoisuuteen.

Maa-aineksen raekoon luokittelu




Kivennäismaalajit luokitellaan raekoon mukaan. Suomessa on käytössä kaksi luokitusmenetelmää, rakennustekninen (RT) ja geotekninen (GEO) luokittelu. Maaperäkartoissa käytetään rakennusteknistä luokittelua.

Taulukko 11. Maa-ainesten luokittelu raekoon mukaan. [19].

Raekoko (mm)	Rakennustekninen (RT)	Geotekninen (GEO)
> 1000 mm	lohkareet (Lo)	lohkareet
1000-60 mm	isot kivet (Ki)	kivet
60-2.0 mm	pienet kivet, sora (Sr)	sora
2.0 - 0.2 mm	hiekkä (Hk)	karkea- ja keskihiekka
0.2 - 0.06 mm	karkea hieta (KHt)	hieno hiekka
0.06 - 0.02 mm	hieno hieta (HHt)	karkeasiltti
0.02 - 0.002 mm	hiesu (Hs)	keski- ja hienosiltti
< 0.002 mm	savi (30%) (Sa)	savi

Maalajien kuvaus




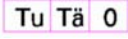
Maaperäkartassa maalajit kuvataan käyttäen väri- ja kirjaintunnuksia. Maalajit kuvataan rakennusteknisen luokituksen (RT-luokitus) mukaisesti. Jokaiselle maalajille on määrätty oma värisävy ja kirjanlyhenne. Lyhenne liittyy yleensä maalajin suomalaiseen nimeen (esim. hiekkä= Hk, moreeni = Mr), Maaperäkuviointien vähimmäiskoko mittakaavassa 1:20.000 on yleensä 2 ha. Maalaji määritetään 1 metrin syvyydessä olevan maalajin eli pohjamaan mukaan. Pohjamaan päällä oleva alle metrin paksuinen maalaji kuvataan kaksoismaalajina eli kaksivärisellä vaakaviivituksella.

	pintamaa (yleensä 0,4 - 0,9 m) pintamaa/pohjamaa esimerkissä pinnalla keskimäärin 0,6 m saraturvetta saven päällä
	peittävä kerros (yleensä alle 0,4 m) esimerkissä ohuelti saraturvetta moreenin päällä
	multamaa, muokauskerroksen humuspitoisuus 20 - 40 %, esimerkissä saven päällä

Eloperäiset maalajit

Eloperäisiä maalajeja ovat turve ja lieju. Turve on suokasvien jäänteistä maatumalla syntynyt eloperäinen maalaji. Turpeen eloperäisen aineksen osuus on yli 90 %. Maaperäkartoilla erotellaan saraturpeet (Ct) ja rahkaturpeet (St).


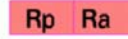

Lieju on meren, järvien tai soiden pohjalla tavattava maalaji, joka on syntynyt pohjalle kerrostuneista eliöiden ja kasvien jäänteistä sekä humuksesta.

Eloperäiset kerrostumat	
	lieju, humuspitoisuus yli 6 %
	saraturve
	rahkaturve
	turvetuotantoalue, täytemaa, kartoittamaton alue

Kalliot

Kalliomaana kuvataan alueet, joita peittää alle yhden metrin paksuinen maakerros. Yleensä peittävä maalaji on pohjamoreenia.

Erityyppisten kallioiden radonpitoisuus vaihtelee huomattavasti. Suomessa yleisin kallioperä on graniitti.

Kalliokuvaus	
	kallioma: kallio, jonka päällä alle 1,0 m:n maakerros, yleensä moreenia
	rapautunut kallio (Rp), rakka (Ra)
	pieni kalliopaljastuma

Hienorakeiset maalajit

Hienorakeiset maalajit käsittävät maa-aineksen, jonka raekoko on pienempi kuin 0.06 mm. Jääkauden aikana hienorakeinen aines kulkeutui sulavan veden mukana kauimmaksi. Hienorakeisia maalajeja ovat hieno hieta (HHt), hiesu (Hs) ja savi (Sa).

Näissä tiiviissä maalajeissa maaperässä ilmavirtaus on hyvin vähäistä ja siten radonpitoista ilmaa nousee vähän. Toisaalta nämä maaperät ovat huonosti rakentamiseen soveltuvia ja edellyttävät useimmiten rakennuksen pohjalla massanvaihtoa, jolloin radonpitoisuus asunnossa voi kohota täytesorasta johtuen.

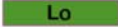



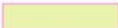
.

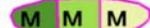
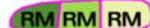
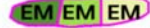
Hienorakeiset kerrostumat			
	0,06 - 0,02	hieno hieta (HHt)	karkeasiltti
	0,02 - 0,002	hiesu (Hs)	keski- ja hienosiltti
	yli 30% aineksesta alle 0,002 mm	savi (Sa)	savi
	LjSa LjHs LjHHt	liejusavi (humuspitoisuus 2 - 6 %); samoin liejuhiesu (LjHs) jne.	

Karkearakeiset kerrostumat

Karkearakeiset kerrostumat syntyivät mannerjäätikön sulamisvaiheen aikana. Näistä maa-aineksista muodostuvat sora- ja hiekkaharjut. Maa-aines vaihtelee karkeasta hiedasta lohka-reisiin.

Karkearakeisissa kerrostumissa pääsee radonpitoinen ilma liikkumaan hyvin ja siten tällaiselle maaperälle rakennettujen talojen sisäilman radonpitoisuus on kaikkein korkein.


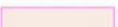
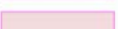
Karkearakeiset kerrostumat				
	Lo	yli 1000	lohkareet	lohkareet
	Ki	1000 - 60	isot kivet	kivet
		60 - 2	pienet kivet, sora	sora
		2,0 - 0,2	hiekk	karkea- ja keski- hiekk
		0,2 - 0,06	karkea hieta	hienohiekk

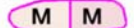
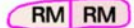
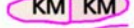
	M M M	Karkearakeiset lajittuneet muodostumat (muodostumatunnus M; väri pääalajitteen mukaan)
	RM RM RM	jäätikköjokimuodostumat: harju, delta
	EM EM EM	reunamuodostumat (etuliite R)
		ekstramarginaaliset ja marginaaliset muodostumat (etuliite E)

Moreeni

Moreeni on kallioperästä jäätikön irrottamaa ja kuljettamaa sekalajitteista mineraalimaainesta. Jäätikön alla moreeni kerrostui tiiviiksi pohjamoreeniksi. Jäätikön sisällä ja päällä kulkeutunut maa-aines kerrostui löyhäksi pintamoreeniksi pohjamoreenin päälle. Moreeni on kaikkein yleisin maalaji Suomessa. Maaperäluokituksessa moreenit luokitellaan RT-luokituksen mukaisesti sora-, hiekk- ja hienoainesmoreeniksi. Tyypillinen hiekkamoreeni sisältää savea 2–4 %, hienoainesta 22–27 % ja hiekkaa yli 50 %.

Radonpitoinen ilma ei liiku kovinkaan hyvin moreenimaassa. Savi ja muut hienoainekset tukkivat ilmahuokokset ja virtaamat ovat pieniä.

Moreenikerrostumat			
	SrMr	soramoreeni (SrMr)	soramoreeni
		hiekkamoreeni (Mr)	hiekkamoreeni
		hienoainesmoreeni (HMr)	silttimoreeni

	M M	Moreenimuodostumat (muodostumatunnus M; väri moreeniluokituksen mukaan)
	RM RM	drumliini
	KM KM	reunamoreeni (etuliite R)
		kumpumoreeni (etuliite K)
		kapea reunamoreenivalli

4.4 Radonsuojauksen neuvonta Kontiolahdella

Kontiolahdella työskentelee rakennusvalvontatoimistossa kolme henkilöä, jotka ovat rakennustarkastaja, apulaisrakennustarkastaja ja lupakäsittelijä. Erilaisia lupia myönnetään vuosittain noin 500 kpl. Tarkastajat ovat keväällä ja kesällä erittäin kiireisimpänä aikana rakennustarkastajalla on jopa 7–8 katselmusta päivässä eri työmailla. Vuosittain erilaisia rakennuskatselmuksia on noin 1500.

Molemmat tarkastajat ovat hyvin perehtyneitä radonsuojauksen tekniikoihin sekä uudis- että korjausrakentamisen osalta. Rakennusvalvonnan koulutuspäivillä on asia ollut viime vuosien aikana useita kertoja esillä.

Kontiolahden kunnan rakennustarkastaja Ulla Kettunen on vuonna 2005 tehnyt insinööri-työn aiheesta *Kontiolahden kunnan rakennusvalvonnan laatujärjestelmä*. Seuraavat tiedot on osittain poimittu tästä teoksesta ja osin perustuvat rakennustarkastajien haastatteluihin sekä omin havaintoihin, jotka olen tehnyt osallistuessani katselmuksiin.

Kontiolahden rakennusvalvonnan toimintaperiaatteet

Uudisrakentamisen yhteydessä edellytetään, että rakennukset on rakennettu radonturvallisiksi. Tämä johtaa siihen, että lähes kaikkiin uusiin pientaloihin asennetaan radonputkiston kaiken varalta. Aloituskokousten yhteydessä käydään läpi kaikkien rakentajien kanssa radonsuojauksen merkitys ja tekniikat. Aloituskokous kestää tunnista kahteen.

Kontiolahden kunnassa pidetään pientalon rakentamisen yhteydessä seuraavat katselmuks

1. Aloituskokous

Aloituskokouksessa käydään kaikki oleelliset rakentamiseen liittyvät asiat läpi. Rakennustarkastaja selostaa myös radonsuojauksen rakentamisen.

2. Rakennuksen sijainnin merkitseminen

Rakennuksen sijainnin merkitsemisen suorittaa kunnan mittaryhmä aloituskokouksen jälkeen.

3. Sijaintikatselmus

Sijaintikatselmus pidetään perustusten valmistumisen jälkeen ennen sokkelin sisäpuolista täyttöä.

4. Rakenne- ja hormikatselmus

Katselmuksen tarve harkitaan aina tapauskohtaisesti.

5. Käyttöönottokatselmus

Katselmus suoritetaan ennen rakennuksen käyttöönottoa.

6. Loppukatselmus

Tarkastus tehdään vasta, kun rakennus on täysin valmis ja piha-alue on rakennettu. Hyväksytyin loppukatselmuksen suorittaminen edellyttää, että rakennuksen radontiiviys on mittauksella varmistettu. [20.]

Radonputkiston asennus laatan alle tapahtuu sijaintikatselmuksen jälkeen ja yleensä rakennustarkastaja ei ole paikalla putkiston asennusta tarkistamassa. Vastaava työnjohtaja todentaa asennustyön suoritetuksi työnmaan valvontakirjaan. Käyttöönottokatselmuksen yhteydessä rakennustarkastaja kuitenkin tarkistaa radonputken vedon lattialaatasta ylöspäin.

Korjauskohteiden osalta kartoitetaan vaihtoehtoisia mahdollisuuksia. Joissakin tapauksissa pelkkä ilmanvaihdon säätäminen saa ilman radonpitoisuuden laskemaan suositusten mukaiselle tasolle.

Kontiolahden kunnan rakennusvalvontatoimisto edellyttää kaikissa uusissa omakotitaloissa radonmittausten suorittamista. Menetelmä otettiin käyttöön vuoden 2006 alusta, ja ensimmäiset mittaukset tehdään lämmityskaudella 2006–2007. Kun rakentajilla on jo lähtötilanteessa tiedossa, että radonmittaus on pakollinen, kiinnitetään radonsuojaukseen erityistä huomiota.

Olin rakennustarkastajien mukana katselmuksilla syksyllä 2006 ja talvella 2007. Tällöin mahdollisuuksien mukaan tarkastettiin, että radonsuojauksen liittyvät yksityiskohdat oli tehty hyvän rakennustavan mukaisesti.

4.5 Kontiolahden kunnassa suoritettut radonmittaukset

Kontiolahden kunnan ympäristöterveysohjelmassa vuodelta 1999 on kiinnitetty erityistä huomiota asuinrakennusten sisäilman radonpitoisuuksiin. Kunta onkin ollut aktiivisesti mukana jo kolmessa erillisessä Säteilyturvakeskuksen järjestämässä mittauskampanjassa.[21].

Pohjois-Karjalan maakunnan asuinhuoneistojen radonpitoisuuden keskiarvo on 170 Bq/m³ ja kaikkien maakuntien vastaava keskiarvo on 192 Bq/m³. Kontiolahden kunnan alueella olevien asuntojen radonpitoisuus on Säteilyturvakeskuksen tilastojen mukaan 136 Bq/m³, mikä on selvästi alle valtakunnallisen keskiarvon. Alueittaiset erot Kontiolahdella ovat kuitenkin suuret.

Ensimmäiset laajemmat mittaukset Kontiolahdella tehtiin vuosina 1989–1995. Vuosina 2004 ja 2005 mittauksia tehtiin kahtena eri tapahtumana Säteilyturvakeskuksen organisoimina ”radontalkoina”.

Mittauksista tiedotettiin laajasti paikallisissa lehdissä, ja halukkaille tarjottiin tilaisuus osallistua mittauksiin. Rakennustarkastaja ja terveystarkastaja valitsivat mittauskohteet pääsääntöisesti ilmoittautumisjärjestyksessä. Loma-asunnot ja tuulettuvalla alapohjalla rakennetut asunnot jätettiin ulkopuolelle. Mittauspurkit ja -ohjeet asukkaille jaettiin terveystarkastajan toimesta. Mukana olivat Säteilyturvakeskuksen yksityiskohtaiset kirjalliset ohjeet mittauksesta ja suosituksia toimenpiteistä mittaustulosten selvityä.

4.5.1 Vuosien 1989–1995 mittaukset

Säteilyturvakeskuksen tilastojen mukaan Kontiolahdella vuosien 1989–1995 aikana on suoritettu 152 mittausta, joiden keskiarvo oli 132 Bq/m³, yli 200 Bq/m³ oli 22 ja yli 400 Bq/m³ 3 kpl.

Tuolloin tehdyt radonmittaukset osoittavat, että Selkien, Jakokosken, Mönнин ja Kulhon alueilla esiintyi yli 200 Bq/m³ ylittäviä huoneilman radonpitoisuuksia.

4.5.2 Vuoden 2004 mittaukset

Vuonna 2004 mittauskohteita oli 164 kpl. Aineisto oli valmiiksi laskettu Säteilyturvakeskuksen toimesta. Nämä tulokset olen ottanut suoraan Säteilyturvakeskuksen tiedotteesta. Taulukkoon olen kuitenkin yhdistänyt eräitä postitoimialueita, jotta tiedot on saatu vertailukelpoisiksi vuoden 2005 mittaustuloksiin.

Taulukko 12. Postitoimialueittaiset radonmittaustulokset Kontiolahdella vuonna 2004 .[8.]

ASUNTOJEN RADON MITTAUKSET KONTIOLAHDEN KUNNAN ALUEELLA 2004								
Kylä	Postinro	Mittauksia	Arit. Ka Bq/m ³	alle 200 Bq/m ³	200-400 Bq/m ³	400-800 Bq/m ³	yli 800 Bq/m ³	Maksimi-arvo
Lehmo	80710	15	118	14	1			204
Kontiolahti As.	80770	2	280	1	1			389
Kontioniemi	80780	2	96	2				131
Paihola	80850	8	119	7	1			218
Kulho	80910	7	147	5	2			236
Kontiolahti	81100	7	93	7				164
Katajaranta	81120	4	98	4				113
Romppala	81160	9	112	8	1			334
Jakokoski	81220	9	124	7	2			268
Mönni	81230	8	138	6	2			295
Lehtoi	81235	22	231	12	7	1	2	2241
Onttola	80510	6	78	6				132
Pilkko, Jns	80130	3	72	3				123
Määrittämätön	00000	62	138	54	6	1	1	1996
Yhteensä		164	140	136	23	2	3	

4.5.3 Vuoden 2005 mittaukset

Vuoden 2005 aineistosta oli käytettävissä tarkat osoitetiedot. Sijoitin kaikki kohteet Kontiolahden kunnan maaperäkartalle ja laskin tuloksista postitoimialueittain joitakin tunnuslukuja. Näin saadaan alueittain suuntaa antavat ”kyläkohtaiset” arvot.

Vuonna 2005 hyväksytyjä mittauksia tehtiin 126 kohteessa. Mittausten aritmeettinen keskiarvo oli 138 Bq / m³, mikä oli vain 2 Bq / m³ vähemmän kuin vuoden 2004 mittausten keskiarvo. Tulokset ovat varsin samansuuntaisia, joskin alueittain vaihtelut olivat suuria joh-

tuen ainakin osittain aineiston vähäisyydestä. Mittausaineistosta vain kolmessa kohteessa ylittyi 400 Bq/m³.

Taulukko 13 Postitoimialueittaiset radonmittaustulokset Kontiolahdella vuonna 2005.

ASUNTOJEN RADON MITTAUKSET KONTIOLAHDEN KUNNAN ALUEELLA 2005

Kylä	Postinro	Mittauksia	Arit. Ka Bq/m ³	alle 100 Bq/m ³	100-200 Bq/m ³	200-400 Bq/m ³	400-800 Bq/m ³	yli 800 Bq/m ³	Maksimi-arvo
Lehmo	80710	54	128	25	22	6	1	-	403
Kontiolahti As.	80770	1	253	-	-	1	-	-	253
Kontioniemi	80780	3	350	-	-	2	1	-	501
Paihola	80850	3	72	2	1	-	-	-	100
Kulho	80910	11	158	3	6	2	-	-	310
Kontiolahti	81100	26	97	14	11	1	-	-	302
Katajaranta	81120	2	153	1	-	1	-	-	241
Romppala	81160	3	80	2	1	-	-	-	101
Jakokoski	81220	10	174		6	4	-	-	225
Mönni	81230	2	53	2	-	-	-	-	78
Lehtoi	81235	3	431	2	-	-	-	1	1162
Onttola	80510	7	119	4	2	1	-	-	256
Pilkkö, Jns	80130	4	134	2	1	1	-	-	205
Yhteensä		129	138	57	50	19	2	1	

Postitoimialueittain tapahtuva vertailu

Säteilyturvakeskuksen analysoimat tulokset on yleensä esitetty postitoimialueittain. Korkeita alueittaisia keskiarvoja osoittautui olevan mm. Lehtoin ja Kontioniemen alueilla. Aineisto on kuitenkin niin vähäinen, että yksiselitteisiä johtopäätöksiä ei ole tehtävissä.

Maaperän perusteella tapahtuva alueittainen vertailu

Rakennusten sisäilman radonpitoisuuden kannalta merkittävimpänä tekijänä on rakennuksen alla oleva maaperä, joka ei luonnollisestikaan noudata postitoimialueita. Ehkä olisikin tarkoituksenmukaista tarkastella mittaustuloksia aina yhtenäisellä maaperäalueella. Tämän vuoksi valittiin mittausaineistosta kaksi tarkoin rajattua aluetta, joissa maaperästä johtuvat erot saataisiin mahdollisimman selkeästi näkyviin. Toinen on hyvin ilmaa läpäisevällä hiekkamaalla Kylmäojalla ja toinen tiiviillä moreenimaalla kirkonkylässä. Rakennusten perustamisolosuhteet ovat muutoin mittauskohteissa rinnasteisia. Mittauskohteet on esitetty peruskartalla kuvassa 26.

Kylmäojan alue

Lehmon Kylmäojan alueelta maaperältään yhtenäiseltä alueelta on 10 mittaustulosta. Maaperä alueella on Salpausselän hiekkaharjun reunamuodostumaa. Maaperäkartoilla alue on yhtenäisenä merkinnällä RHkM. Hiekan raekoko on 0,2–0,06 mm. Radonpitoisuuden pitäisi olla alueella maaperän huokoisuuden perusteella suhteellisen korkea.

Kylmäojan alueen mittausten aritmeettinen keskiarvo oli 200 Bq/m³ ja mediaani 151 Bq/m³. Yhdessä mittauksessa ylittyi 400 Bq/m³.

Kirkonkylän alue

Kirkonkylän alueelta on 21 mittaustulosta. Maaperä alueella on hiekka- ja hienoainesmoreenia. Moreenin päällä on suuremmalta osin alle 40 cm peittävä saraturvekerros. Kirkonkylän mittausten aritmeettinen keskiarvo oli 87 Bq/m³ ja mediaani 71 Bq/m³.

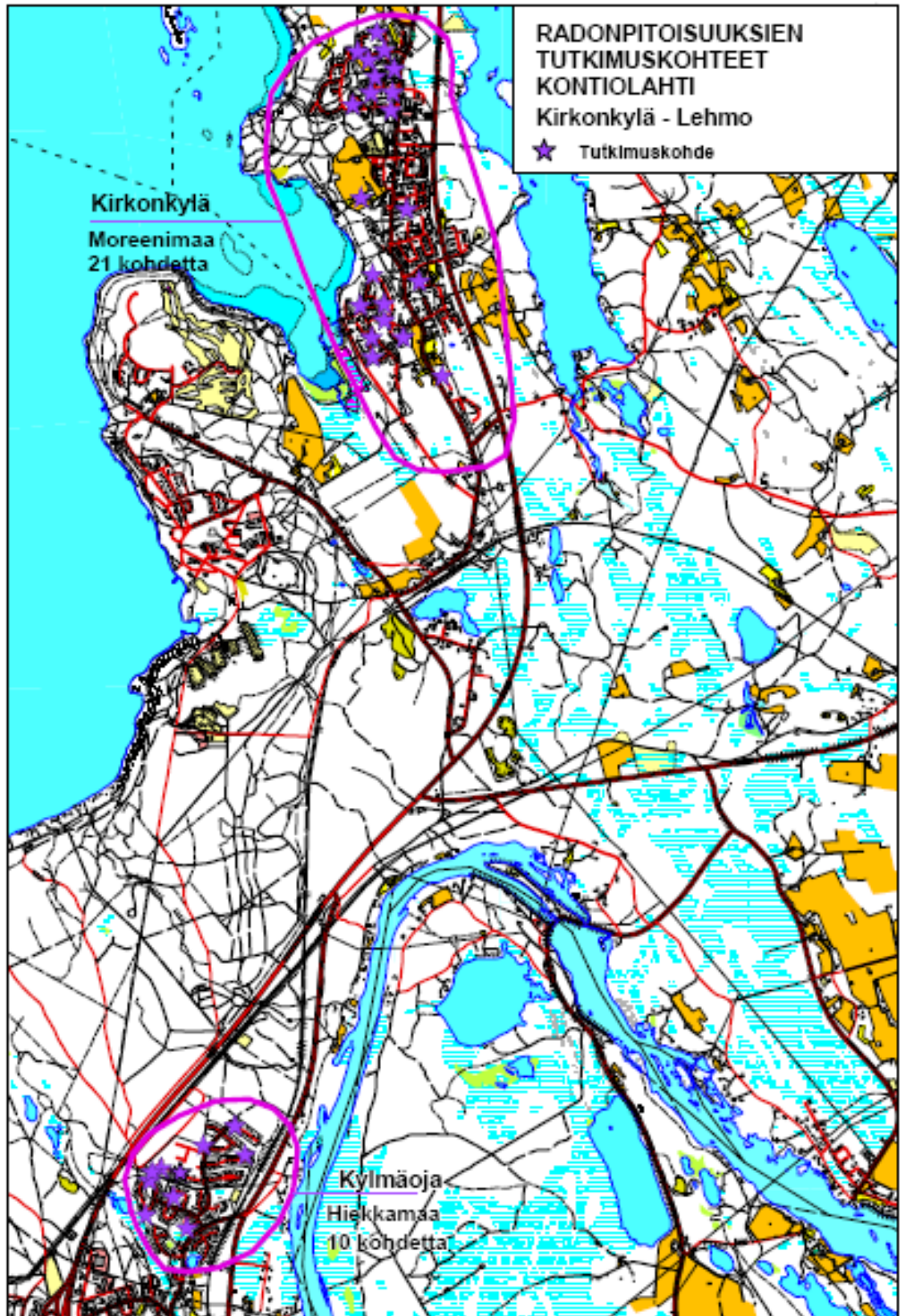
Alueiden vertailu

Taulukko 14 Kylmäojan ja Kirkonkylän alueiden vertailu

KYLMÄOJAN JA KIRKONKYLÄN ALUEIDEN ASUNTOJEN RADONPITOISUUDEN VERTAILU.

Alue	Postinro	Mittauksia	Arit. Ka Bq/m ³	Yli 200 Bq/m ³ (kpl)	Maksimi- arvo	Minimi- arvo
Kylmäoja (hiekk- ja soramuodostuma)	80710	10	200	3	403	86
Kirkonkylä (moreenimaa)	81100	21	87	0	191	8

Tuloksista voidaan nähdä, että hiekka-sorapitoisella reunamuodostumalla on asuinrakennusten sisäilman radonpitoisuus 2,3 kertaa suurempi kuin moreenimaaalla. Kylmäojan alueen asuinrakennusten radonpitoisuus oli keskimäärin 113 Bq/m³ enemmän kuin kirkonkylän alueella. Aineiston koko ei ole tilastollisesti riittävä pitkälle meneviin yleisiin johtopäätöksiin, mutta sen perusteella voidaan päätellä, mihin kannattaa ensisijaisesti uudet radonmittaukset Kontiolahdella suunnata.



Kuva 28. Kartta vertailualueiden tutkimuspisteistä.

4.6 Radonmittausten tulokset Kontiolahden kunnan alueella

Kontiolahden kunnan radontilanne on kaksijakoinen. Asuinrakennusten radonmittausten keskiarvo on kokonaisuudessaan selvästi alle maan keskiarvon, mutta kunnan eteläosan sora- ja hiekkaesiintymillä ja itäosan kallioalueilla valtakunnalliset keskiarvot ylittyvät.

Kontiolahden kunta voidaan jakaa maaperän radonpitoisuuden mukaan karkeasti kolmeen osa-alueeseen:

- 1) Eteläinen sora- ja hiekka-alue, joka on Salpausselän reunamuodostumaa
- 2) Itäinen kallioalue
- 3) Muu kunnan alue, joka on pääosin moreenia ja eloperäisiä kerrostumia.

Kuvassa 27 on peruskarttapohjalla kuvattu em. maaperän radonpitoisuuden perustuva aluejako.

1. Salpausselän sora- ja hiekkamuodostumat

Kontiolahden kunnan alueesta noin 12 % kuuluu Salpausselän sora- ja hiekka-alueeseen, jolla radonpitoisuus on korkea. Tällä alueella asuu noin 4100 henkeä. Alueeseen kuuluvat Lehmon Kylmäoja, Jaamankangas, Puntarikoski, Marjosärkkä, Utranharju, Kontioniemi, Uuro, Kulhon pohjoisosat, Kuurna ja Siprin ympäristö.

Tällä alueella voi olettaa asuinrakennusten radonpitoisuuden olevan keskimäärin lähes 200 Bq /m³.

2. Kontiolahden itäosien kallioalueet

Kontiolahden kunnan itäosat kuuluvat Kolin vaarajaksoon. Alueen rajaus ei ole yksiselitteisesti maaperäkartoilta tulkittavissa, ja sen pinta-ala on noin 2000 ha eli 20 % koko kunnan pinta-alasta. Tämä kunnan itäinen kallioalue on melko harvaan asuttua ja käsittää Lehtoin, Mönnin, Jakokosken, Kyykän ja Heraniemen alueet. Alueella asuu noin 1100 henkeä. Alueeseen kohdistuu uraanikaivosvaltauksia, ja jo se kertoo, että alueella voi arvioida olevan korkeita radonpitoisuuksia. Tältä alueelta on melko vähän mittausaineistoa ja mittaustulosten vaihtelut ovat kaikkein suurimpia. Lehtoin alueella on jopa yli 1000 Bq/m³ mittaustuloksia.

Avokallioiden välissä on alueita, joissa tiivistä moreenimaata on 2–8 metrin kerros. Näillä alueilla radonpitoisuus saattaa olla hyvinkin alhainen. Tiivis moreenimaa pidättää kallioperästä kohoavan radonpitoisen ilman.

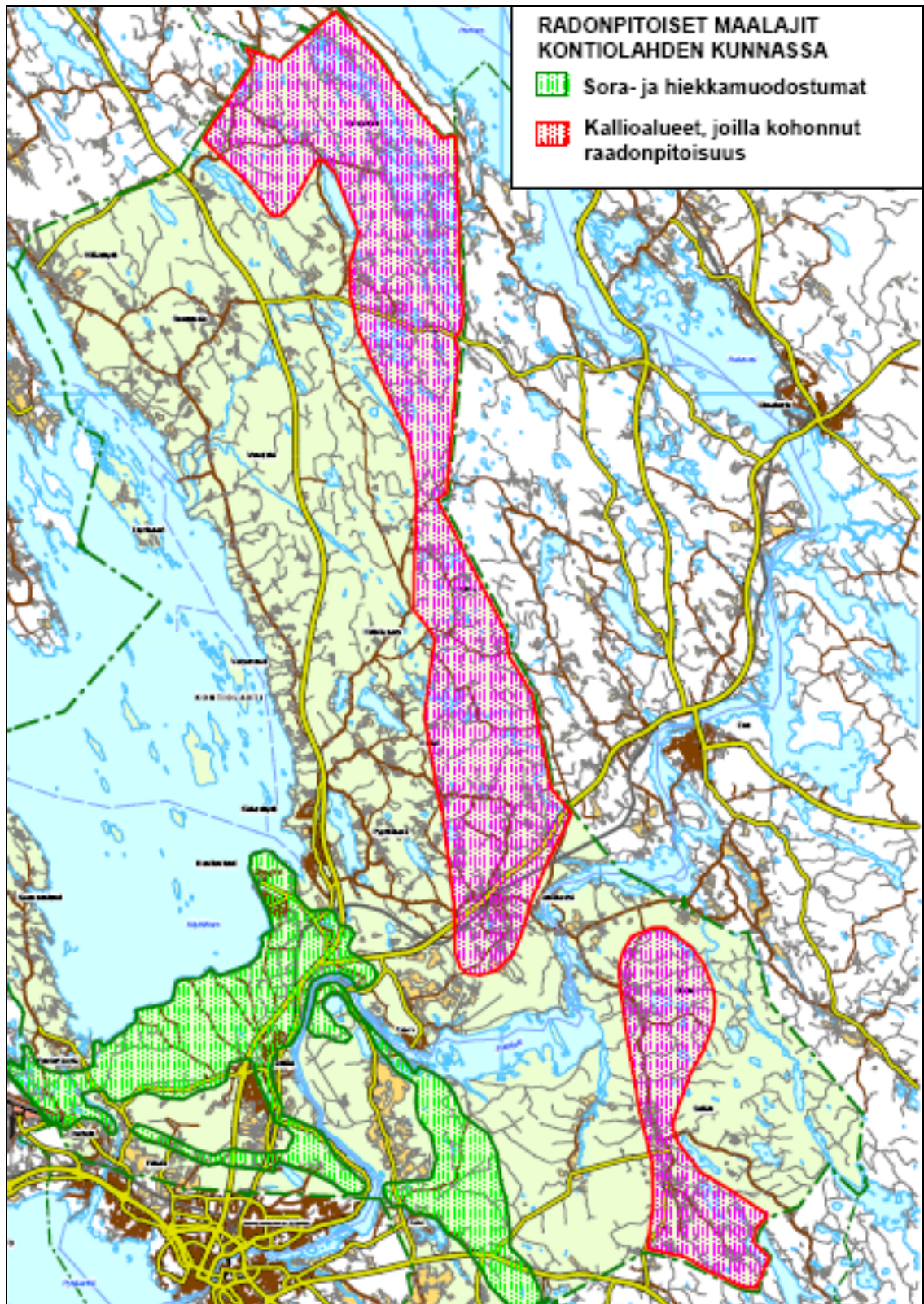
3. Moreenimaat

Kontiolahden kunnan pinta-alasta noin 68 % kuuluu erityyppisten moreenimaiden ja eloperäisten maa-ainesten alueeseen. Nämä alueet ovat suhteellisen radonturvallisia, ja vain joissakin mittauskohteissa ylittävät suositusten mukaiset raja-arvot. Esimerkiksi koko kirkonkylän alue on maaperältään varsin radonturvallista aluetta.

Yhteenveto tuloksista

Kontiolahden kunnasta käytettävissä olevien mittaustulosten perusteella voidaan arvioida, että noin 17 prosentissa asunnoista ylittää 200 Bq /m³ rajan (asukkaita noin 2200) ja noin 3 prosenttia ylittää 400 Bq/m³ (asukkaita noin 400.) Uusien asuntojen osalta sosiaali- ja terveysministeriön määrittämä raja (200 Bq/m³) ylittyy hiekka- ja sora-alueella yllättävänkin usein. Tällaisella maaperällä jopa 30 prosentissa uusissa taloissa ylittyy 200 Bq/ m³ radonpitoisuus.

Korkeimmat yksittäiset mittaustulokset löytyvät kunnan itäiseltä kallioalueelta. Vain tällä alueella on valtakunnallisen mittapuun mukaan yksittäisiä korkeita radonpitoisuuksia.



Kuva 29. Kontiolahden kunnan alueen luokitus maaperän radonpitoisuuden mukaan.

4.7 Radonmittausten toimenpidesuositukset Kontiolahden kunnan alueella

Kontiolahdella mitataan radonpitoisuudet lähes kaikissa uusissa pientaloissa. Siten tulevaisuudessa saadaan aina uutta ajanmukaista tietoa ja viranomaisten toimenpiteet voidaan suunnitella sen mukaisesti. Kontiolahdella myös molemmat rakennustarkastajat ovat saaneet koulutusta radonsuojauksen teknikoihin ja pystyvät siten opastamaan yksittäisiä rakentajia.

Asuinhuoneistot

Koska Kontiolahdella edellytetään mitattavaksi kaikkien uusien asuinrakennusten radonpitoisuudet, on täydentävillä mittauksilla pyrittävä löytämään ne asunnot, joissa ylittyy 400 Bq/m³ tavoiteraja. Mittaukset on suunnattava kunnan eteläosien sora- ja hiekkaalueille ja kunnan itäosan kallioalueilla (kuva 29). Näillä alueilla myös uusissa asuinrakennuksissa ylittyy melko usein 200Bq/m³ raja.

Työpaikat

Työpaikkojen radonmittaukset tulisi kohdentaa alueille, joissa läheisten asuinrakennusten osalta mittaustulokset ovat keskimääräistä korkeampia ja maaperä on hyvin ilmaa läpäisevä. Suositeltavia mittauskohteita ovat Kontioniemen, Kulhon, Selkien ja Jakokosken koulut, Jaaman ja Uuron yritysalueilta molemmista 2–3 mittausta ja Lehmon teollisuusalueelta Kruununtien, Hietalantien ja Ensolantien ympäristöstä 5–6 mittausta

Radonpitoinen käyttövesi

Lähes koko Kontiolahden kunnan alue on keskitetyn vesijohtoverkoston piirissä. Korkeimmat käyttöveden radonpitoisuudet on mitattu Selkien - Mönnin alueelta. Itäisellä kallioalueella on jonkin veran porakaivoja verkostojen ulkopuolella, ja siellä saattavat radonpitoisuuden suositusarvot ylittyä. Kyseisellä alueella kaikki kiinteistöt eivät ole liittyneet vesijohtoverkoston, vaikka se teknisesti olisikin mahdollista.

Täydentäviä näytteitä tulisi ottaa porakaivoista Selkien, Mönnin, Ohonvaaran, Kyykän ja Heraniemen alueilta.

5 POHDINTA

5.1 Työprosessin ja tulosten yleinen arviointi

Insinööriyön aihevalinta oli mielenkiintoinen, ja siinä jouduin käsittelemään monia pientalorakentamiseen liittyviä kysymyksiä. Koska työ oli tilattu, sen tekeminen tuntui tarpeelliselta ja mielekkäältä. Insinööriyö jakautui teoreettiseen eri tietolähteistä koottuun osioon ja Kontiolahden kunnalle tekemääni konkreettiseen radonmittausten arviointityöhön.

Teoreettinen osuus (luvut 2 - 4) käsittää selostuksen radonin luonteesta, sen vaikutuksista ihmisiin sekä radonin tekniset suojausmenetelmät uudis- ja korjausrakentamisessa. Työssäni jouduin selvittämään paljon päättötyön aihetta sivuavia taustatietoja, perustellun lopputuloksen saavuttamiseksi.

Radonin aiheuttamaan keuhkosityöpään arvioidaan vuosittain kuolevan noin 200 henkeä, mikä on kaksinkertainen määrä Suomessa tapahtuviin palokuolemiin verrattuna. Radonsuojauksen huomioiminen jo rakennusvaiheessa on siten erittäin tärkeää ja suhteellisen pienin kustannuksin toteutettavissa.

Työn keskeisenä tuloksena voidaan pitää esitystä maaperätietojen ja radonmittaustulosten yhdistämisestä. Näin voidaan yleisemminkin laatia kuntakohtainen arvio erilaisista alueellisista radonpitoisuuksista. Kullekin maaperällä on laskettavissa alueelliset suuntaa-antavat radonpitoisuuskertoimet. Tässä työssä osoittautui hiekka-sora-alueelle rakennettujen asuinrakennusten sisäilman radonpitoisuus 2,3 kertaa moreenimaalle rakennettuja asuntoja korkeammaksi.

5.2 Tulokset työn tilaajalle

Työn tilaajan, Kontiolahden kunnan, alkuperäisenä tavoitteena oli saada vuoden 2005 radonmittausten aineisto lasketuksi, luokitelluksi ja sijoitetuksi kartoille. Työn aikana keskusteluissa tuli esille maaperän erityinen merkitys rakennusten sisäilman radonpitoisuudelle. Tehävän antoa täsmennettiinkin siten, että pyrin määrittämään Kontiolahden kunnan alueelta

mittausaineistoa ja maaperätietoja yhdistämällä alueet, joissa todennäköisesti radonpitoisuus on korkea ja joille tulevaisuudessa kannattaisi täydentävät radonmittaukset suunnata.

Työn yleisessä osassa selostan radonkaasun luonteen ja sen siirtymisen rakennusten sisäilmaan.

Kuvasin radonsuojaustekniikat Säteilyturvakeskuksen ja muiden alan asiantuntijoiden esittämien, parhaaseen nykytietämykseen perustuvan tekniikan mukaisina. Tiedot ovat suoraan hyödynnettävissä pientalojen suunnittelussa.

Työn tilaajalle kunnan rakennustarkastajien arvion mukaan päättötyöstä on hyötyä erityisesti seuraavilla osa-alueilla:

- Rakennusten radonsuojauksen uusimpien tekniikoiden kuvaus ja vaikuttavuusarviot uudis- ja korjausrakentamisessa
- Kontiolahden kunnan radonmittausten analysointi
- Arviot Kontiolahden kunnan maaperästä ja suositukset radonmittausten suuntaamiseksi Kontiolahden kunnan alueella

Uskon, että rakennusvalvonnan neuvonnan ja tiedottamisen kautta tästä insinööriyöstä on hyötyä jokaiselle rakentajalle Kontiolahden kunnassa.

5.3 Päättötyö henkilökohtaisena oppimisprosessina

Vaikka päättötyön aiheeni käsitteli radonsuojauksen tekniikkaa ja radonmittauksia, jouduin perehtymään laajemminkin koko pientalon rakentamisprosessiin saadakseni kokonaisuudesta ymmärrettävän. Sisäilman radonpitoisuuteen vaikuttaa olennaisesti mm. rakennuksen perustukset ja alueen maaperä sekä ilmanvaihdon järjestäminen.

Erityisen hyödyllinen omalle oppimiselleni oli Kontiolahden kunnan rakennusvalvontatoimistossa tekemäni osio. Tällöin seurasin toimia rakennustarkastajien mukana katselmuskierroksilla, aloituskokouksissa ja muussa rakennusvalvontatoimiston toimistotyössä.

Päättötyön aikana jouduin perehtymään seuraaviin osa-alueisiin:

- Rakennusten perustusten rakenneratkaisut

Perustusten rakentamisvaiheella on ratkaiseva merkitys asunnon radonpitoisuudelle. Jos laatan reunat ja muut vuotoreitit on huolellisesti tehty ja tiivistetty, päästään maaperästä riippumatta suositusten mukaisiin ohjearvoihin.

- Rakennusten sisäilman ongelmat ja ilmanvaihdon järjestäminen

Lähes kaikkiin uusiin pientaloihin rakennetaan koneellinen ilmanvaihto. Ilmanvaihdon säätäminen on ensimmäinen ja helpoin tapa pyrittäessä vähentämään sisäilman radonpitoisuutta.

- Maaperäluokitus ja -kartoitus

Maaperäluokituksesta opiskeluaikaiset tietoni olivat melko vähäiset. Työn aikana sain hyvää tuntumaa maaperätietojen tulkintaan ja yleispiirteiseen esittämiseen. Kuntakohtaisia maaperätietoja voidaan soveltaa monessa muussakin asiassa esimerkiksi haja-asutusalueiden kiinteistökohtaisia jätevesijärjestelmiä suunniteltaessa.

- Rakennusvalvonnan tarkastustoiminta

Työn kuluessa opin rakennuslupaprosessin lupahakemuksesta loppukatselmukseen. Radonsuojaus on lupakäsittelyssä vain yksi pieni osa-alue.

- Radonsuojauksen tekniikat uudisrakentamisessa ja korjausrakentamisessa

Uusimmat tekniikat on koottu Säteilyturvakeskuksen tiedotteista ja asiantuntijalähteistä.

- Radonmittaukset

Radonmittaus on yksinkertainen tehdä. Mittaus on suoritettava lämmityskauden aikana ovien ja ikkunoiden ollessa pääsääntöisesti kiinni. Suomen olosuhteet huomioiden mittaus on suoritettava marras – huhtikuun välisenä aikana, mittaus aika on kaksi kuukautta. Tulosten analysointi edellyttää aineiston systemaattista laskentaa ja tilastomatematiikan perusteita. Radonmittaukset perustuvat usein asukkaiden omaan aktiivisuuteen. Tulevai-

suudessa ne olisi järkevintä suunnata alueille, jossa todennäköisimmin on korkeita radonarvoja. Tällöin lähtökohtana on oltava alueen maaperätiedot.

Päättötyön aihevalinta oli oman ammattitaitoni kehittämisen kannalta erittäin hyvä ja monipuolinen. Työn aikana opin näkemään kaikki pientalon rakentamisvaiheet sekä erityisesti arvostamaan rakennustarkastajien työtä alansa asiantuntijoina.

6 YHTEENVETO

Suomessa asuntojen sisäilman radonpitoisuus on maailman korkeinta ja pitkäaikainen altistuminen suurille radonpitoisuuksille voi aiheuttaa keuhkosityöpää. Tämä asia on tiedostettu hyvin, ja alan tutkimustyötä sekä valvontaa johtaa Säteilyturvakeskus. Kaikista Suomen kunnista on kerätty tiedot radontilanteesta ja radonin alueellinen jakautuminen on tiedossa. Korkeimman radonpitoisuuden alueet ovat Etelä-Suomessa ja Pirkanmaalla.

Radon on maaperässä oleva radioaktiivinen kaasu, joka kulkeutuu maaperästä asuntoihin perustusten kautta. Radon kaasu pääsee liikkumaan erityisen hyvin sora- ja hiekkaharjujen ilmahuokosissa. Tiiviissä moreeni- tai savimaassa radonpitoisuudet ovat huomattavasti alhaisemmat. Huoneiston radonpitoisuus voi kohota myös käytettäessä talousvettä. Tällöin on yleensä kysymys porakaivoista, joiden veden radonpitoisuus on moninkertainen rengaskaivojen ja vesijohtoverkostojen veteen verrattuna.

Radonin torjuntamenetelmät korjaus- ja uudisrakentamisessa tunnetaan hyvin. Korjausrakentamisessa on ensimmäisenä keinona tutkittava asunnon ilmanvaihdon toimivuus. Usein jo oikealla ilmanvaihdon säätämällä päästään suositusten mukaisiin arvoihin. Kalliimpia menetelmiä ovat radonkaivojen tai radonimurin asentaminen. Nämä järeimmät ja kalleimmat menetelmät ovat käytössä korkeimmilla radonpitoisuuden alueilla.

Uudisrakentamisessa on tärkeintä huolellinen rakennustyön toteutus pohjaratkaisuja tehtäessä. Laatan ja seinien väliset saumat ja kaikki laatan läpi tulevat putkistot on tiivistettävä ilmatiiviiksi. Radonturvallisin perustamistapa on tuulettuva alapohja. Uudisrakentamisen yhteydessä maanvaraisen laatan alle asennetaan useimmissa tapauksissa radonputkisto, joka otetaan käyttöön, jos mittaukset osoittavat ohjearvojen ylittyvän.

Käytännön osiona tässä insinööriyksessä on analysoitu Kontiolahden kunnassa tehtyjä radonmittauksia. Käytettävissä olivat mittauskohteista osoitetiedot, mutta esityksessä on tehtävä yleistyksiä, jotta asukkaiden tietosuoja säilyy.

Kaikki aiemmat kuntakohtaiset tiedot on koko Suomessa luokiteltu postitoimialueittain. Maaperä ja siten myös asuntojen todennäköinen radonpitoisuus ei kuitenkaan noudattele tällaisia rajoja. Tässä työssä on tehty Kontiolahden kunnan alueen osalta luokitus maaperän mukaan kolmeen suuralueeseen ja annettu suositukset radonmittausten kohdistamisesta.

Työn tärkein tulos on kuntakohtaisten radonmittausten ja maaperätietojen yhdistäminen. Tällä menetelmällä voidaan löytää kunnittain todennäköisimmät korkean radonpitoisuuden alueet ja kohdistaa täydentävät mittaukset näille alueille.

LÄHTEET

1. Pöllänen Roy / Säteily ympäristössä, Säteilyturvakeskus, Karisto Oy / Hämeenlinna 2003.
2. www.stuk.fi, luettu 2.2.2007
3. Terveellinen sisäilma, Suomen Sisäilmaston Mittauspalvelu Oy, Gummerus Kirjapaino Oy/ Jyväskylä 1996.
4. Terveyden suojelelaki (763/94).
5. Asumisterveysohje, Sosiaali- ja terveysministeriö Oppaita 2003:1. Edita Prima Oy /Helsinki 2003.
6. Terveydensuojelu, Suomen ympäristöterveys Oy, Gummerus kirjapaino Oy / Jyväskylä 2002.
7. Asumisterveysopas, Sosiaali- ja terveysministeriö, Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1 soveltamisopas, Ympäristö ja Terveys-lehti / Pori 2005.
8. <http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-a/a127.pdf>, luettu 10.12.2006
9. Radonin torjuminen pien- ja rivitaloissa, Ympäristöministeriö, opas 2/ 1993
10. www.sktuote.fi, luettu 2.3.2007
11. RT- 81-10791, maaliskuu 2003
12. www.stuk.fi/sateilytietoa/sateily_ymparistossa/radon/fi_FI/korjaukset/, luettu 4.1.2007
13. www.rakentaja.fi/Kuvat/lakan%20betoni/slammaus_280.jpg, luettu 6.1.2007
14. Talojen tuulettuva teräskeruustajärjestelmä, Juha Pitkänen/ Tampereen yliopisto julkaisu 59 pohja- ja maarakenteet, Tampere 2004.
15. www.suomirakentaa.fi/Default.aspx?id=357089, luettu 5.1.2007
16. www.stuk.fi/sateilytietoa/sateily_ymparistossa/radon/fi_FI/radon_files/71375236915790142/default/radonvesi.pdf, luettu 7.2.2007
17. Kontiolahden kunta, taloussuunnitelma 2006 – 2008.
18. www.kontiolahti.fi, luettu 12.12.2006
19. www.geokartta.gtk.fi/, luettu 15.1.2007
20. Kettunen Ulla/Kontiolahden kunnan rakennusvalvonnan laatujärjestelmä/ Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu rakennustekniikan koulutusohjelma/ Joensuu 2005.

21. Kontiolahden ympäristöterveysohjelma / Kontiolahti 1999.

LIITEIDEN LUETTELO

Tämä on liite 1.

Tämä on liite 2.