

# Radonkorjaustoimenpiteet koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon rakennuksissa

## Tiivistelmä

Tekijä Vainio, Daniel	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 29	Valmistumisaika Syksy 2019
Työn nimi <b>Radonkorjaustoimenpiteet koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon rakennuksissa</b>		
Tutkinto Ympäristötekniikka, Insinööri (AMK)		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö tutkii sisäilman radonpitoisuuden alentamistapoja kuudessa koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon kiinteistöissä. Kiinteistöissä oltiin mitattu radonpitoisuuden raja-arvon ylityksiä alphajälki-ilmaisimilla (radonpurkeilla) talvikaudella 2016 – 2017. Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Helsingin kaupungin kanssa syksyllä 2017.</p> <p>Tutkimuskohteiksi valikoitui kuusi koulurakennusta, joissa suoritettiin sisäilman radonpitoisuuden uusintamittauksia jatkuvatoimisilla radonmittareilla. Tutkimuksissa ei havaittu käytön aikaisia raja-arvon ylityksiä. Radonpitoisuuksissa oli vaihtelua kiinteistön ilmanvaihdon käyntiaikojen mukaan. Raja-arvot ylittyivät ilta- ja yöaikaan, kun kiinteistöissä ei ole toimintaa ja käyttäjiä. Radonpitoisuus oli korkeimmillaan viikonloppun aikana. Ilmanvaihdon käynnistämisaikaa voidaan tarvittaessa aikaistaa viikonloppujen jälkeen, jolloin ilmanvaihdolla on riittävästi aikaa huuhdella epäpuhtaudet sisäilmasta.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimustulosten perusteella voidaan todeta jatkotutkimusten tarve raja-arvon ylityksen jälkeen. Lisätutkimuksia suositellaan tehtäväksi etenkin rakennuksiin, joissa on ajastettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.</p>		
Asiasanat radon, radonmittaus, sisäilma, ilmanvaihto		

## Abstract

Author Vainio, Daniel	Type of publication Bachelor's thesis	Published Autumn 2019
	Number of pages 29	
Title of publication <b>Remedies with radon in a time-set ventilation system</b>		
Name of Degree Bachelor of Environmental Engineering		
Abstract <p>The objective of this thesis was to study different methods to reduce radon in indoor air in six buildings. Each building has a time-set ventilation system. The buildings had exceeded indoor air radon limit values in pre-measurements that took place in winter 2016 – 2017. The measurements had been done using an alpha track detector; long-term integrated radon measurement method. The thesis was done in collaboration with the City of Helsinki.</p> <p>The radon levels of the six buildings in the study were re-measured with continuous radon monitors. Radon limits were not exceeded when the buildings were in use and had users. Radon levels correlated with whether the ventilation system was on or off. Indoor-air radon level limits were reached when the buildings had no activity nor users, and transiently in the mornings. The level of radon had its peak after the weekend. After the weekend it is possible to prepone the start of the time-set ventilation system, so there is a sufficient amount of time to rinse off pollutants from indoor air.</p> <p>According to the thesis, it is important to do further research after radon levels have been exceeded. Further research is recommended especially in buildings that have a time-set ventilation system.</p>		
Keywords radon, radon measurement, indoor air, ventilation		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	SISÄILMAN RADON.....	2
2.1	Radonin terveysvaikutukset .....	2
2.2	Radonin pääsy rakennukseen.....	3
2.3	Radonalueet .....	5
2.4	Radonin havainnointi .....	6
3	LAINSÄÄDÄNTÖ JA RAKENNUSMÄÄRÄYKSET .....	8
3.1	Säteilyturvalaki.....	8
3.2	Rakennusmääräykset .....	9
4	RADONIN TORJUNTA .....	10
4.1	Radonkaivo.....	11
4.2	Radonimuri .....	13
4.3	Tiivistyskorjaukset.....	16
4.4	Ilmanvaihdon tehostaminen .....	16
5	RADONMITTAUKSET HELSINGIN SEUDUN KOULUISSA .....	18
5.1	Jatkuvatoimiset radonmittaukset.....	18
6	MITTAUSTULOKSET .....	19
6.1	Tutkimuskohteen 1 radonmittaukset .....	19
6.2	Tutkimuskohteen 2 radonmittaukset .....	20
6.3	Tutkimuskohteen 3 radonmittaukset .....	21
6.4	Tutkimuskohteen 4 radonmittaukset .....	23
6.5	Tutkimuskohteen 5 radonmittaukset .....	23
6.6	Tutkimuskohteen 6 radonmittaukset .....	25
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	26
8	YHTEENVETO .....	27
9	LÄHTEET .....	28

## 1 JOHDANTO

Radon on radioaktiivinen jalokaasu, jota syntyy uraanin hajoamistuotteena. Noin puolet suomalaisen saamasta säteilyannoksesta johtuu radonista. Radon aiheuttaa Suomessa noin 300 kuolemaan johtavaa keuhkosityöpätapausta vuodessa. Radonia ei voida havaita ihmisaistein, sen mittaamiseen löytyy kuitenkin eri menetelmiä.

Lähes jokaisessa Helsingin seudun koulussa mitattiin talvikaudella 2016 – 2017 radonpitoisuudet osana valtakunnallista radonkampanjaa. Radonpitoisuudet mitattiin alphajälki-ilmaisimilla (radonpurkeilla). Mittarit rekisteröivät radonpitoisuutta sisäilmassa mittausjakson ajan. Osassa kohteita mitattiin jatkotoimenpiteitä vaativia radonpitoisuuksien ylityksiä.

Opinnäytetyön tutkimukset on tehty harjoitteluni aikana syksyllä 2017 Helsingin kaupungin sisäilmaryhmässä. Sisäilman radonpitoisuutta mitattiin jatkuvatoimisilla radonmittareilla kuudessa eri kohteessa, joissa radonkampanjan aikana mitattiin raja-arvon ylityksiä. Tutkituissa kohteissa on käytön ja toiminnan mukaan ajastettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Mittaukset on tehty sen hetkisen epävirallisen radonmittausajankohdan ulkopuolella

Opinnäytetyössä käsitellään radonia yleisesti, eri mittaustapamenetelmiä, lainsäädäntöä sekä rakennusmääräyksiä ja esittelee yleisellä tasolla eri radonkorjausmenetelmiä. Säteilylain muutos joulukuussa 2018 hankaloitti opinnäytetyöprosessia.

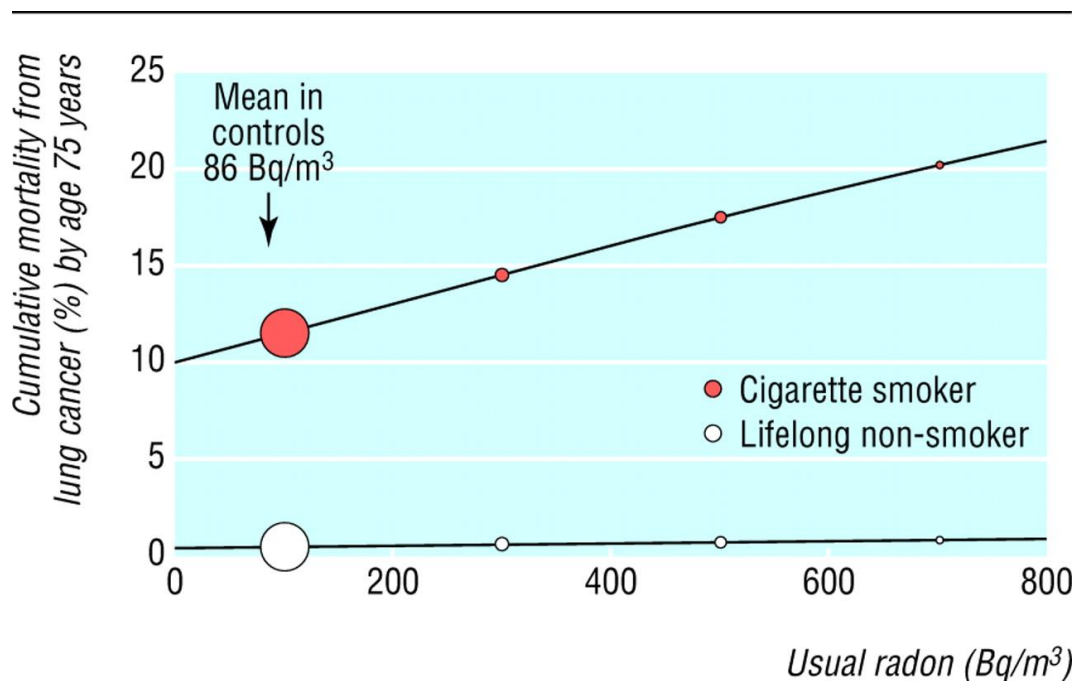
## 2 SISÄILMAN RADON

### 2.1 Radonin terveysvaikutukset

Radon ( $Rn-222$ ) on radioaktiivinen jalokaasu, jota ihminen ei pysty omilla aisteillaan havaitsemaan. Sitä voidaan kuitenkin mitata huoneilmasta erilaisin tavoin. Radonia syntyy uraanin ( $U-238$ ) hajoamistuotteena. Radon nousee maanpinnalle maaperän huokosia ja kallion halkeamista. Radon esiintyy vain kaasumuodossa. Radonpitoisuuden yksikkö on  $Bq/m^3$ . Se tarkoittaa, että yhdessä kuutiometrissä ilmaa hajoaa lukumäärän verran radonatomeita sekunnissa. (Säteilyturvakeskus 2011.)

Huoneilmasta radon kulkeutuu keuhkoihin hengitysilman mukana. Kaasu poistuu ulos hengittäessä, mutta radonin hajoamistuotteet jäävät kiinni keuhkorakkuloihin tuottaen siellä alfasäteilyä. Mitä suurempi pitoisuus, sitä enemmän hajoamistuotteita jää keuhkoihin tuottamaan säteilyä. (Säteilyturvakeskus 2011.)

Pitkäaikainen oleskelu suurissa radonpitoisuuksissa aiheuttaa vaaran sairastua keuhkosyöpään. Tutkimusten mukaan radon aiheuttaa Suomessa noin 300 keuhkosyöpätapausta vuodessa. Suomessa todetaan keskimäärin noin 2000 uutta keuhkosyöpätapausta vuodessa. (Säteilyturvakeskus 2011.) Tupakointi ja radon yhdessä moninkertaistavat riskin sairastua keuhkosyöpään. Keuhkosyövän riski kasvaa myös altistusajan ja -määrän mukaan. (Kuvio 1.)



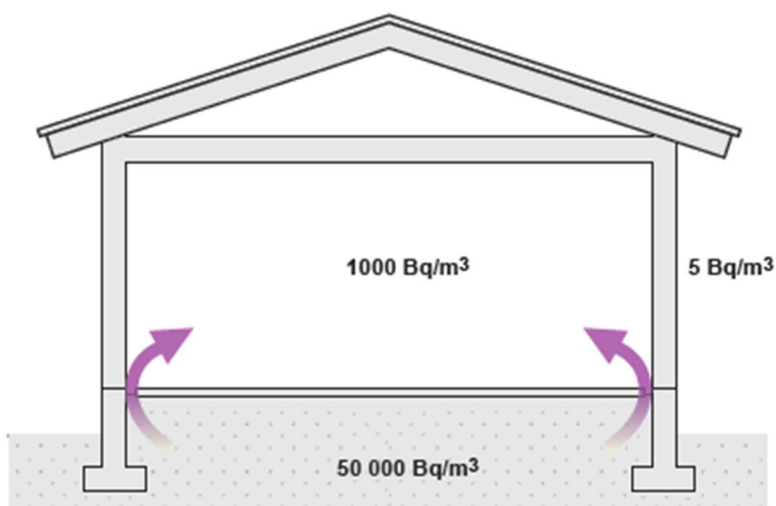
Kuvio 1. Radonin ja tupakoinnin yhteisvaikutus sairastua keuhkosyöpään 75-vuotiaana, verrattuna tupakoimattoman riskiin (Gray A, Read S, McGale P, Darby. 2009).

Suomalaisten vuosittaisesta säteilyannoksesta noin puolet johtuu sisäilman radonpitoisuudesta. Suomalainen saa keskimäärin luonnonsäteilyä vuodessa 3,2 mSv ja radonin osuus tästä on noin 2 mSv/vuosi. Säteilyannos on noin 1,5-kertainen muihin maihin verrattuna. (Ilmatieteen laitos 2006.)

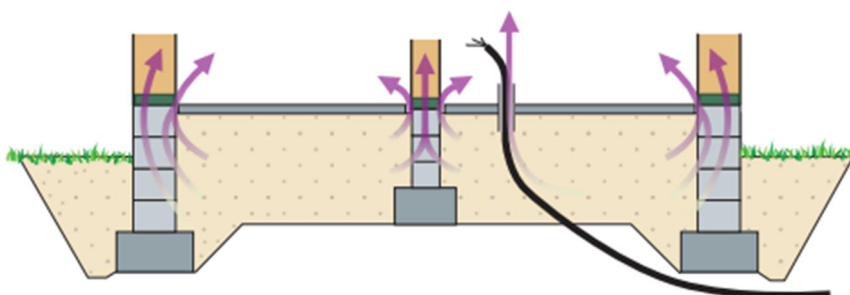
## 2.2 Radonin pääsy rakennukseen

Tärkein radonin lähde sisäilmassa on rakennuksen alla olevan maa-aineksen huokosilma (kuvio 2.) Kosteusteknisistä syistä rakennusten alle tuleva karkea täyttösora tai sepelikerros on hyvin vettä ja ilmaa läpäisevää. Noin kolmasosa sorasta tai murskeesta on tyhjää tilaa. Tätä kutsutaan huokosilmaksi. Huokosilman radonpitoisuus vaihtelee 20 000 – 100 000 Bq/m<sup>3</sup>. Maaperästä voi virrata lämpötila- tai paine-erojen takia tiivistämättömään ja alipaineiseen tyyppillisen kokoiseen pientaloon huokosilmaa tunnissa 0,2 – 2 m<sup>3</sup>. (Arvela & Reisbacka 2008, 11.)

Pohjoisessa ilmastossa sisälämpötila on korkeampi ulkoilmaan nähden. Sisä- ja ulkoilman tiheyserot aiheuttavat alipaineen etenkin rakennuksen perustusten tasolla. Alapohjalaatan ja seinän välissä riittää jo millimetrin rako, jotta rakennuksen alla oleva radonpitoinen huokosilma pääsee sisäilmaan. Rako yleensä syntyy, kun lattialaatan betoni kuivuu ja tiivistyy. Radon voi päästä rakennukseen myös tiivistämättömistä läpivienneistä ja lattian halkeamista. Mahdollisena kulkeutumisreittinä voi myös olla kantavat väliseinärakenteet, jotka läpäisevät alapohjarakenteet. (Arvela & Reisbacka 2008, 11.)



Kuvio 2. Radonpitoinen huokosilma kulkeutuu maaperästä rakennukseen kasvattaen sisäilman radonpitoisuutta (Asuntojen radonkorjaaminen, Arvela & Reisbacka, 2008, 12).



Kuvio 3. Radon voi päästä rakennukseen maanvastaisen laatan perustuksista tai tiivistämättömistä läpivienneistä (Asuntojen radonkorjaaminen, Arvela & Reisbacka, 2008, 13).

Rakennuksen korkea radonpitoisuus voi myös kertoa maaperän suuresta läpäisevyydestä. Karkean soran ja kalliomurskeen ilmanläpäisevyys on yli tuhatkertainen verraten hietaan tai saveen. Maaperän ilmanläpäisevyys vaikuttaa eniten rakennuksen alapuolelta tulevaan ilmavirtaukseen. (Arvela & Reisbacka 2008, 12.)

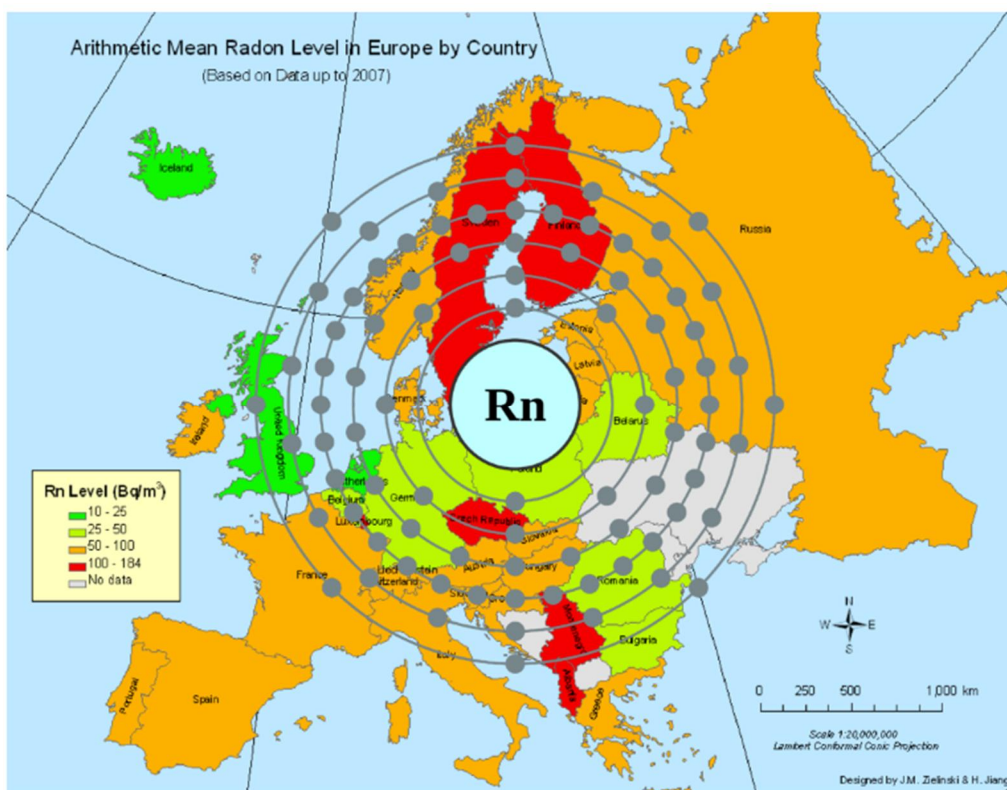
Radon voi myös päästä rakennukseen sisälle kellarin seinien raoista. Ongelmana ovat etenkin kevytsoraharkoista rakennetut tiivistämättömät seinät. Kevytsorarakenteet tulee tiivistää molemmin puolin, ulkopuolelta bitumikermillä ja sisäpuolelta esimerkiksi tasoitteella. (Petrow S & Kaskisuo T, 2016.)

Radonia tuottavat myös kiviperäiset rakennusmateriaalit. Yleensä betonielementeistä rakennettujen kerrostalojen yläkerrosten yleisin radonlähde on kiviseinät. Betonin valmistukseen käytettävä maa-aines saattaa sisältää pieniä määriä uraania, joka hajotessaan tuottaa radonia. Betonielementtien tuottamat radonpitoisuudet sisäilmassa ovat olleet 30 – 100 Bq/m<sup>3</sup>. (Arvela & Reisbacka 2008, 13.)

Radon voi päästä sisäilmaan radonpitoisen käyttöveden kautta. Tyypillistä tämä on, jos käyttövesi johdetaan rakennukseen porakaivon kautta, jonka vesi on radonpitoista. Porakaivon veden radonpitoisuus tulee aina selvittää. (Arvela & Reisbacka 2008, 13.)

### 2.3 Radonalueet

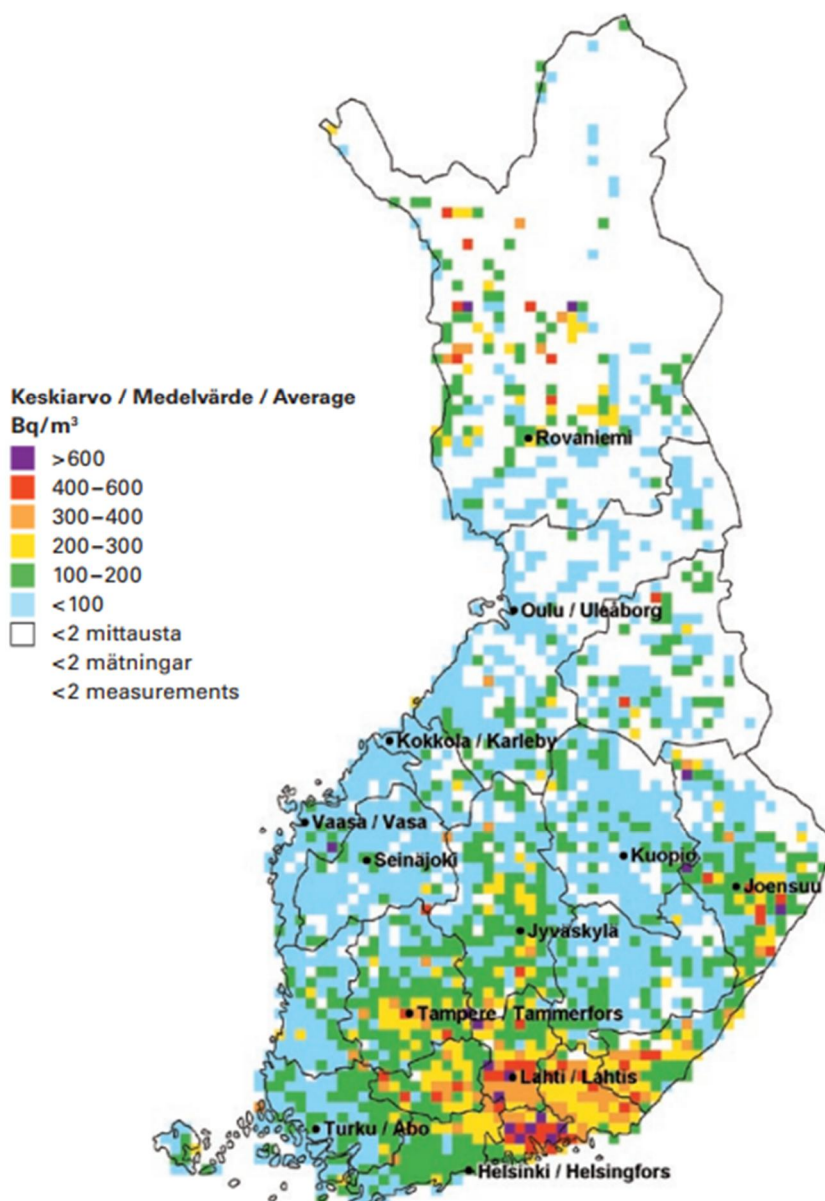
Suomi on riskialue radonin suhteen verrattuna muihin maihin. Muita riskialueita Euroopassa ovat Suomen lisäksi Ruotsi, Tšekki, Luxemburg, Serbia ja Montenegro. Radonriskialueilla radonia esiintyy sisäilmassa keskimäärin 100 – 184 Bq/m<sup>3</sup>, kun ei riskialueilla radonia on keskimäärin 10 - 100 Bq/m<sup>3</sup>.(kuvio 4.)



Kuvio 4. Sisäilman radonpitoisuuksien keskiarvopitoisuuksia Euroopassa (Zielinski J.M & Jiang H).

Suomessa radonia on eniten pientalojen sisäilmassa Itä-Uudenmaan, Päijät-Hämeen, Kymenlaakson, Kanta-Hämeen, Pirkanmaan ja Etelä-Karjalan maakunnissa (kuvio 5). Maakuntien mitatuista pientaloista 30 prosentissa esiintyi sisäilmassa yli 200 Bq/m<sup>3</sup>

radonpitoisuuksia. 2000-luvulla rakennetuissa pientaloissa esiintyi pienempiä radonpitoisuuksia kuin 1980- ja 1990-luvun rakennetuissa. (Valmari y., 2010.)



Kuvio 5. Säteilyturvakeskuksen valtakunnallinen pientalojen sisäilman radonpitoisuuden mittaus 2010. (T. Valmari, I. Mäkeläinen, H. Reisbacka & H Arvela, Suomenradonkartasto 2010, STUK-A245)

## 2.4 Radonin havainnointi

Radon on hajuton ja mauton radioaktiivinen kaasu, jota ei ihmisaistein pystytä havaitsemaan. Radonia pystytään kuitenkin mittamaan erilaisin tavoin. Erilaisia mittareita ja laitteita löytyy markkinoilta useita. Viranomaisen hyväksymillä mittareilla tulee olla voimassa oleva kalibrointitodistus. Mittaukset tulee suorittaa alimpien kerrosten tiloissa, joissa

pääasiallisesti oleskellaan (Säteilyturvakeskus, 2008.) Radonmittausjakso on syyskuun alusta toukokuun loppuun. (Säteilyturvakeskus, radonmittaus 2018).

Radonmittausmenetelmät voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan. Ensimmäisen kategorian mittarit ovat integroivia. Integroiva mittari tunnetaan kansankielellä paremmin radonpurkkina. (Säteilyturvakeskus, 2008.) Radonpurkillä tehdyn mittausjakson suositellaan kestävän kolme kuukautta. (Säteilyturvakeskus, radonmittaus 2018).

Toisen kategorian mittarit ovat jatkuvatoimisia. Mittalaitteet ovat tietokonepohjaisia mittareita. Mittausjakso kestää vähintään viikon. Mittalaitteille on mahdollista hakea viranomaishyväksyntä. (Säteilyturvakeskus, 2008.)

Kolmannen kategorian mittarit ovat hetkellisiä mittalaitteita. Nämä laitteet antavat tuloksen sillä hetkellä vallitsevasta radonpitoisuudesta. Lyhyt mittausväli tarkoittaa yleensä epätarkkoja tuloksia. Mittarit ovat kuitenkin hyödyllisiä lyhytaikaisilla kaivos- tai tunnelityömailla. Tämän kategorian mittareille ei ole mahdollista saada viranomaishyväksyntää (Säteilyturvakeskus, 2008.)

### 3 LAINSÄÄDÄNTÖ JA RAKENNUSMÄÄRÄYKSET

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 1044/2018 mukaan asunnon huoneilman radonpitoisuuden ei tulisi ylittää 300 Bq/m<sup>3</sup>.

*Asunnon ja muun oleskelutilan sisäilman radonpitoisuuden viitearvo on 300 becquereliä kuutiometrissä.*

*Asunnon radonpitoisuus määritetään radonpitoisuuden vuosikeskiarvona, joka mitataan tai mittauksen perusteella arvioidaan vuoden pituiselta yhtäjaksoiselta ajalta. Muun oleskelutilan radonpitoisuus lasketaan tilan käytön aikaisena radonpitoisuuden vuosikeskiarvona.*

*Radonpitoisuuden mittauksen on oltava yhtäjaksoinen ja kestettävä vähintään kaksi kuukautta. Mittaus on tehtävä syyskuun alun ja toukokuun lopun välisenä aikana. Lisäksi muussa oleskelutilassa voidaan tehdä täydentäviä mittauksia tilan käytön aikaisen radonpitoisuuden tarkempaa selvittämistä varten.*

Säteilyturvaviranomaisen ohjeen ST 12.1 kouluissa ja muissa julkisissa tuloissa sisäilman radonpitoisuuden toimenpidearvona sovelletaan enimmäisarvoa 400 Bq/m<sup>3</sup> riippumatta oleskelu- tai työajoista. (Säteilyohje 2011). Säteilylaki muuttui joulukuussa 2018 ja kouluissa ja julkisissa rakennuksissa uusi toimenpidearvo on 300 Bq/m<sup>3</sup>. (Sosiaali- ja terveysministeriö, 1044/2018).

Radonpitoisuuden vuosikeskiarvon tulkinnasta mainitaan Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeessa seuraavasti.

*Jos marras - huhtikuussa tehty mittaus osoittaa asunnon huoneilman radonpitoisuuden ylittävän 200 Bq/m<sup>3</sup> tai 400 Bq/m<sup>3</sup> enemmän kuin 20 prosentilla, radonpitoisuus ylittää sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen (994 / 92) mukaisen vuosikeskiarvon. (Asumisterveysohje 2003).*

#### 3.1 Säteilylaki

Toiminnan harjoittajan tulee selvittää luonnonsäteilystä aiheutuva säteilyaltistus, jos on epäily mahdollisesta terveyshaitasta. Vuosittainen hengitetty radonmäärä ei työpaikoilla saa ylittää 500 000 (Bq/m<sup>3</sup>). (Sosiaali- ja terveysministeriö, 1044/2018.)

*Työpaikan radonpitoisuuden viitearvo on 300 becquereliä kuutiometrissä työtilassa, jossa työaika on suurempi tai yhtä suuri kuin 600 tuntia vuodessa. Radonpitoisuus lasketaan työnaikaisen radonpitoisuuden vuosikeskiarvona.*

*Työperäistä altistusta koskeva viitearvo radonille on 500 000 becquereltuntia kuutiometrissä vuodessa. Altistus lasketaan kaikissa työtiloissa vuoden aikana kertyneiden altistusten summana.*

*Työperäistä altistusta koskevaa viitearvoa radonille ei sovelleta, jos työntekijä työskentelee ainoastaan työtilassa, jossa radonpitoisuus on työpaikan sisäilman radonpitoisuuden viitearvoa pienempi.*

### 3.2 Rakennusmääräykset

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto mukaan uusi asunto pitää suunnitella ja rakentaa siten, että sisäilmassa ei esiinny terveydelle haitallisessa määrin kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja. Radonista mainitaan kohdassa 3.7.7 sivulla 19.

*Rakennuksen paineet ja rakenteiden tiiviys suunnitellaan ja toteutetaan siten, että ne osaltaan vähentävät radonin ja muiden epäpuhtauksien siirtymistä rakennuksessa.*

Pohjarakenteiden radonratkaisuista ohjeistetaan rakennusmääräyskokoelman osassa B3, siten että sisäilman radonin enimmäispitoisuus 200 Bq/m<sup>3</sup> ei tule ylittyä. Radontekninen suunnittelu voidaan jättää toteuttamatta vain, jos paikkakuntakohtaisissa tutkimuksissa on todettu alue radonturvalliseksi. Toteuttamatta jätetystä suunnittelusta tulee kuitenkin jättää rakennuskohteen suunnitelma-asiakirjoihin kirjalliset perusteet.

Suomen Rakennusmääräyskokoelman B3 sivulla 9 on ohje suunnitteluun:

*Suunnittelun ohjearvona oleva radonpitoisuuden raja 200 Bq/m<sup>3</sup> ylittyy ilman vastatoimia yleisesti suurimmassa osassa maata. Rakennuspohjan radonriskiin vaikuttavat aina sekä alkuperäismaa että paikalle tuotavat täyttömaat ja salaojasorat. Paksu täyttösorakerros voi jo yksinään tuottaa sisätiloihin enimmäisarvon ylittäviä radonpitoisuuksia. Rakennuksen radonpitoisuuteen voidaan vaikuttaa merkittävästi alapohjarakenteiden ja perustustavan valinnalla*

Pienimmät radonpitoisuudet ovat rakennuksissa, joissa on riittävän tuulettuva alapohja. Toinen radonturvallinen ratkaisu voi olla tiivis ja yhtenäinen kantava laatta. Tiivistämällä alapohjan epätiiveyskohdat ja kellarirakenteet voidaan estää radonin virtausta sisätiloihin. Tiivistystyöt tulee huomioida alapohjaratkaisuissa, joissa perusmuuri ja laatta rakennetaan erikseen. Laatan alle voidaan myös asentaa radonputkisto ja estää sillä radonin pääsy sisäilmaan. (B3 Suomen Rakennusmääräyskokoelma s.9)

## 4 RADONIN TORJUNTA

Säteilyturvakeskus suosittelee ensisijaisena korjaustoimenpiteenä radonpitoisuuden alenemiseksi radonimuria tai -kaivoa. Tehostustoimenpiteinä tulevat tiivistystyöt sekä ilmanvaihdon tehostaminen (kuvio 6).

Korjausmenetelmä	Radonpitoisuuden alenema, %
Radonimuri	65 - 90
Radonkaivo	75 - 95
Ryömintätilan tuuletus	30 - 80
Kellarin ilmanvaihdon parantaminen	20 - 60
Ilmanvaihdon tehostaminen	10 - 50
Uusi poistoilmanvaihto	10 - 40
Uusi tulo/poistoilmanvaihto	20 - 50
Vuotojen tiivistäminen, puurakenteiset seinät	10 - 35
Vuotojen tiivistäminen, betonielementtiseinät	30 - 55
Vuotojen tiivistäminen, kerrostalot	30 - 65

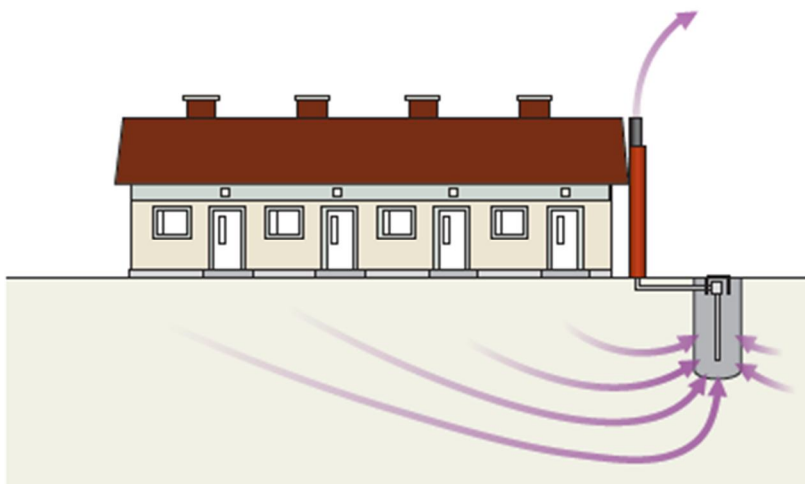
Kuvio 6. Radonpitoisuuden alenemat eri korjausmenetelmin pientaloissa (<http://www.stuk.fi/aiheet/radon/radonkorjaukset>.)

## 4.1 Radonkaivo

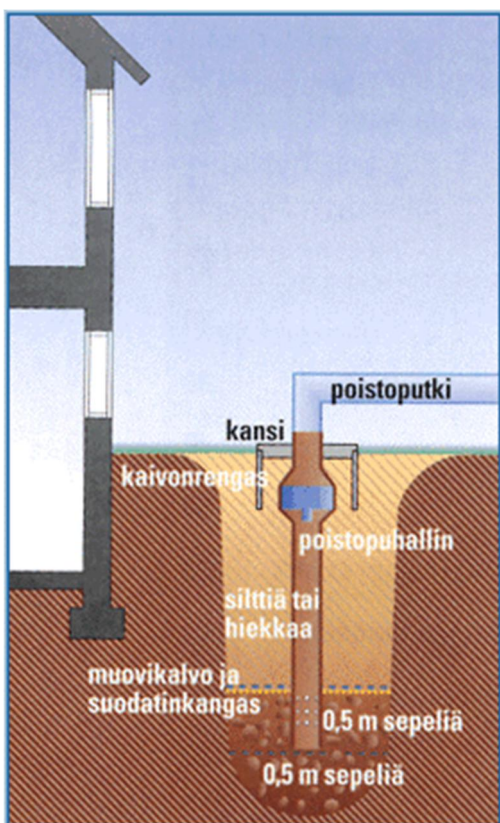
Radonkaivo toimii vain tiivistämättömillä karkearakeisilla sorailla, kuten hiekka ja sora. Radonkaivo asennetaan rakennuksen ulkopuolelle muutaman metrin päähän perustuksista. (Arvela & Reisbacka 2012.) Sisäilman radonpitoisuus radonkaivon avulla alenee 75 – 95 prosenttia (kuvio 6).

Radonkaivon imuputken pää tulee asentaa 3 – 5 metrin syvyyteen ympärysmitaltaan puolen metrin kuoppaan, joka täytetään soralla. Sen pää tulee myös sijoittaa niin, että pää jää rakennuksen perustusten alapuolelle, jotta imu saadaan aikaiseksi myös rakennuksen koko pohjapinta-alalle. (Arvela & Reisbacka 2012).

Toimintaperiaatteena radonkaivo imee radonpitoista huokosilmaa rakennuksen alta ja ympäriltä laimentaan sitä. Radonpitoinen ilma johdetaan poistopuhaltimella rakennuksen vesikatton yläpuolelle tai muutaman metrin päähän rakennuksen ulkoseinästä. (Arvela & Reisbacka 2012).



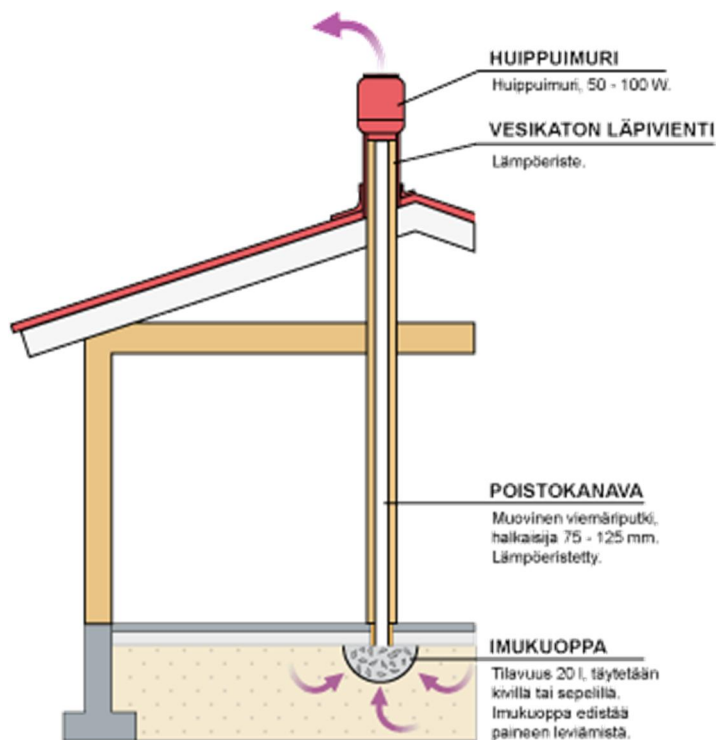
Kuvio 7. Radonkaivon toimintaperiaate. Imuputken pää tulee asentaa muutama metri pohjarakenteiden alapuolelle, jotta teho kattaa koko rakennuksen alapuolisen alueen (Asuntojen radonkorjaaminen 2012, STUK-A252).



Kuvio 8. Radonkaivon asennuskuva (Säteilyturvakeskus, radonkaivo).

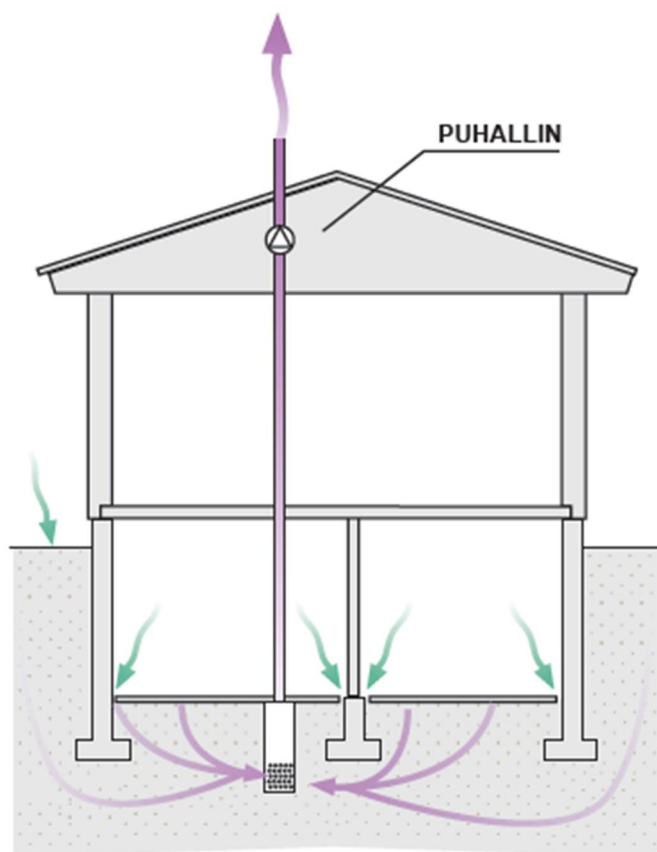
## 4.2 Radonimuri

Keskimäärin radonimurin avulla sisäilman radonpitoisuus alenee 65 – 90 prosenttia. (kuvio 6) Toimintaperiaate radonimurilla on sama kuin radonkaivolla. Radonkaivo imee rakennuksen alta radonpitoista huokosilmaa joko laimentaen huokosilmaa tai estäen sen pääsyn sisäilmaan. Oikeaoppisesti asennettu radonimuri toimii rakennuspohjan tuulettajana. (Arvela & Reisbacka, 2008.) Radonimuri voidaan asentaa myös rakennuksen ulkopuolelta sokkelin läpi. (Arvela & Reisbacka, 2012).

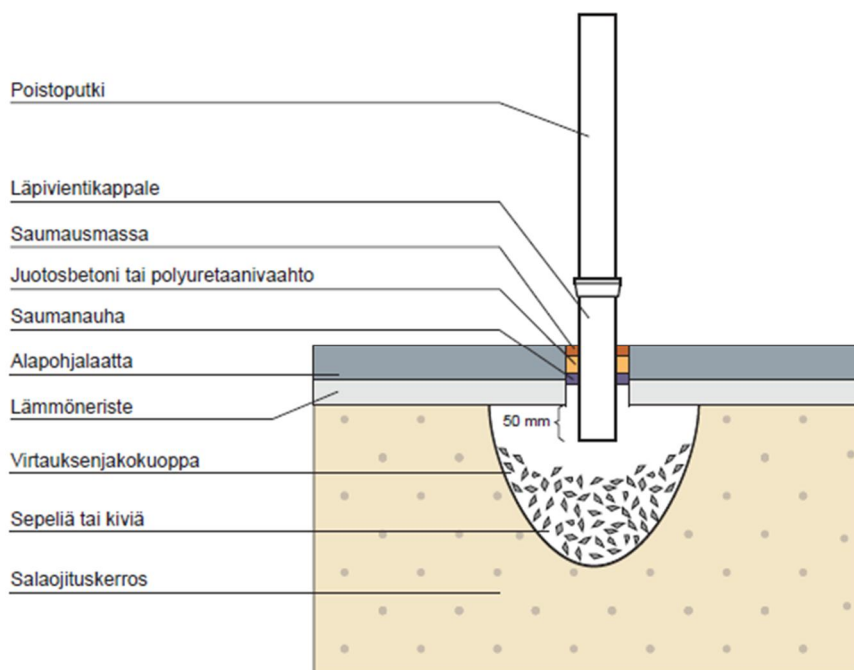


Kuvio 9. Radonimurin toimintaperiaate matalaperusteisessa talossa (Arvela & Reisbacka, 2008).

Lattialaatan läpäisevälle imuputkelle tehdään noin 20 – 30 litran imukuoppa, joka täytetään pienillä kivillä tai sepeleillä. Imukuoppa auttaa virtauksen leviämistä sekä pienentää virtaushäviötä. (Arvela & Reisbacka, 2008.) Kuviossa 11 on esitetty tarkemmin imukuopan ja läpiviennin rakenne. Imukuopasta putki ohjataan rakenteiden läpi vesikatolle. Vesikaton läpäisevään putken päähän tulee usein asentaa huippuimuri vaikutustehon lisäämiseksi. (Arvela & Reisbacka, 2012).



Kuvio 10. Radonkaivon pää on ulotettu alapohjarakenteiden alapuolelle tehostaakseen vaikutusalueetta. Vaikutus ulottuu myös sisätiloihin (Arvela & Reisbacka, 2008).



Kuvio 11. Imukuopan rakenne (Arvela & Reisbacka, Asuntojen radonkorjaaminen, 2008).

Radonimurin suunnittelu on haasteellisempaa kuin radonkaivon. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon eri kosteustekniset seikat. (Arvela & Reisbacka, 2008.) Ympäristöministeriön vuoden 2008 julkaisussa, Pien- ja rivitalojen radontekninen korjaus, Imupistemennetelmä, asiasta löytyy kattavasti lisätietoja.

Radonimurin toimintaan vaikuttavat samat asiat, jotka liittyvät sisäilman radonpitoisuuteen. Rakennuksen alla oleva maa-aines ei saa olla liian hienoa vaan sen on oltavan riittävän läpäisevää. Alipaineistus kuitenkin liian läpäisevässä maa-aineksessa saattaa aiheuttaa kosteusrasitusta rakenteisiin. Ongelmana on etenkin kosteuden kapillaarinen nousu tai tiivistyminen rakenteisiin. Liian tiiviiseen maaperään taas on hyvin hankalaa saada alipainetta aikaiseksi. (Arvela & Reisbacka, 2008.)

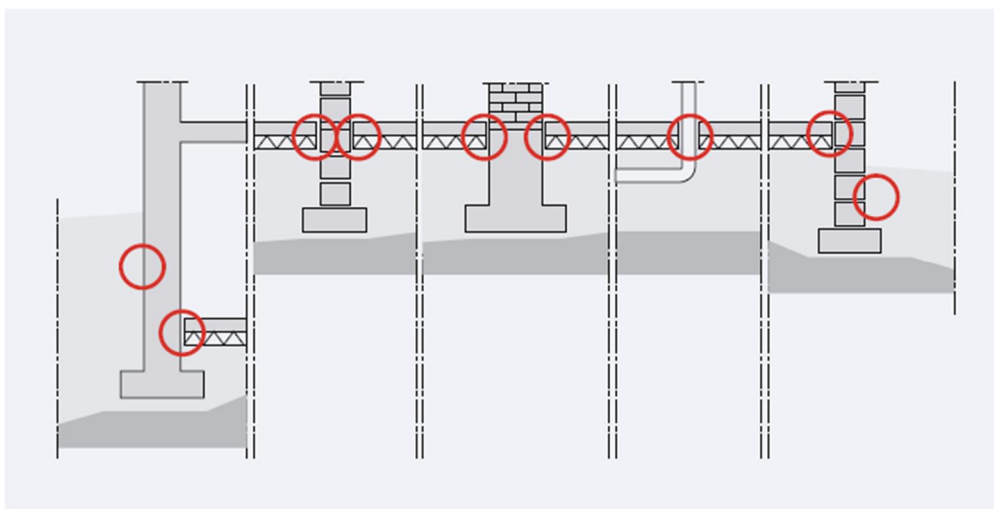
Imun tehoa voidaan tarvittaessa säätää suuremmaksi, jos sisäilman radonpitoisuus ei ole laskenut halutulle tasolle. Kuitenkin jos imettävän ilmamäärä virtaus ylittää 0,5 m<sup>3</sup>/h pohjapinta-ala neliötä kohti tulee huomioida lämpö- ja kosteustekniset ongelmat. (Arvela & Reisbacka, 2008.)

Radonimurin sijoittamisessa tulee ottaa huomioon alapohjarakenteiden ja kantavien väliseinien sijainti, jotta vaikutusalue saadaan mahdollisimman suurelle alalle. Suunnittelussa tulee huomioida myös maanvaraisen lattiarakenteen tyyppi etenkin, jos lattialaatan päällä on koolattu puulattia. Kosteaa sisäilmaa saattaa tiivistyä puulattian pintaan aiheuttaen

kosteusvaurion. Kosteus voi myös tiivistyä ulkoilmaan rajoittuviin rakenteisiin. (Arvela & Reisbacka, 2008.)

### 4.3 Tiivistyskorjaukset

Tiiveyskorjauksen perimmäinen tarkoitus on katkaista ilmavuodot rakenteista sisäilmaan. Korjaus tulee suunnitella ja toteuttaa oikeaoppisesti ja varmistaa laatu merkkiainekokein. (Sobott J., 2014.)



Kuvio 12. Radonin torjunnan kannalta kriittiset kohdat maanvaraisessa laattassa. (Petrow S & Kaskisuo T, 2016)

Radonkorjauksia tehtäessä tiivistyskorjaus kannattaa tehdä vain tehostustoimenpiteenä. Radonimurin asennuksen yhteydessä on tärkeää tiivistää radonimurin imupisteen läheisyydessä olevat läpiviennit. (Arvela & Reisbacka, 2008.) Säteilyturvakeskuksen mukaan pelkkä tiivistyskorjaus vähentää radonpitoisuutta 10 – 55 prosenttia riippuen rakenteiden rakennusmateriaalista. (kuvio 6)

Tiivistyskorjauksissa tulee tiivistää alapohjan ja seinän liittymät sekä lattialäpiviennit. Tiivistyskorjaukset tulee tehdä myös viereisiin tiloihin, jottei radon kulkeudu sisäilmaan viereisen tilan epätiiveyskohdista. (kuvio 12).

### 4.4 Ilmanvaihdon tehostaminen

Ilmanvaihtoa tehostamalla voidaan saada radonpitoisuutta pientalojen huoneilmassa laskemaan 10 – 50 prosenttia (Kuvio 6). Säteilyturvakeskuksen ilmoittamat tutkimustulokset

eivät kuitenkaan huomioi kohteita, joissa on ajastettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.

Ilmanvaihdon tehostamisella tarkoitetaan uusien raitisilmaventtiilien asennusta, koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtolaitteen tasapainottamista ja puhdistamista taikka uuden ilmanvaihtolaitteen asennusta. Pientaloissa, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto, alipaineisuus on yleensä suurempi kuin painovoimaisen tai koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon pientaloissa. Alipaineisuutta voidaan vähentää koneellisen poiston kiinteistöissä asentamalla uusia korvausilmaventtiilejä rakennukseen. (Arvela & Reisbacka, 2008.)

## 5 RADONMITTAUKSET HELSINGIN SEUDUN KOULUISSA

Helsingin kaupunki mittautti talven 2016 - 2017 noin 250 koulu- ja oppilaitosrakennuksen radonpitoisuudet. Mittaukset tehtiin osana Säteilyturvakeskuksen valtakunnallista kampanjaa, jonka tavoitteena oli selvittää koulujen sisäilman radonpitoisuuksia ja vähentää oppilaiden ja työntekijöiden altistumista radonille. Mittaukset suoritettiin rakennusten alimmissa kerroksissa sijaitsevissa tiloissa Säteilyturvakeskuksen vaatimien standardien mukaisesti Landauer Nordicin alphajälki-ilmaisimilla ns. radonpurkeilla.

24 koulussa mitattiin yli 400 Bq/m<sup>3</sup> pitoisuuksia. Näistä seitsemässä kohteessa ylityksen katsottiin olevan alle vuosikeskiarvon 480 Bq/m<sup>3</sup>. Kuudessa kohteessa mitattiin toisarvoisia tiloja, joissa ei pääsääntöisesti oleskella. Kahdessa kohteessa oli käynnistymässä peruskorjaushanke. Kolmessa kohteessa oli valmiina radonputkisto, joka kytkettiin käyttöön, tai kohdistettiin huoltotöitä. Kuuden kohteen voitiin katsoa olevan jatkotutkimuksia vaativia.

### 5.1 Jatkuvatoimiset radonmittaukset

Jatkuvatoimiset mittaukset on tehty tiloihin, joissa mitattiin yli 480 Bq/m<sup>3</sup> radonpitoisuuksia talven 2016 - 2017 purkkimittauksissa. Tutkituissa kohteissa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Ilmanvaihdon käyntiajat vaihtelevat kiinteistön käytön mukaan. Mitatut tilat ovat maanvastaisia ja pohjakerroksessa sijaitsevia opetuskäytössä olevia tiloja. Mitatuissa liikuntasaleissa ja teknisentyönluokissa on korotettu puulattia.

Uusintamittattujen tilojen talven 2016 - 2017 sisäilman keskiarvolliset radonpitoisuudet olivat välillä 550 – 1570 Bq/m<sup>3</sup>. Jatkuvatoimiset uusintamittaukset suoritettiin syys- ja loka-kuun aikana 2017.

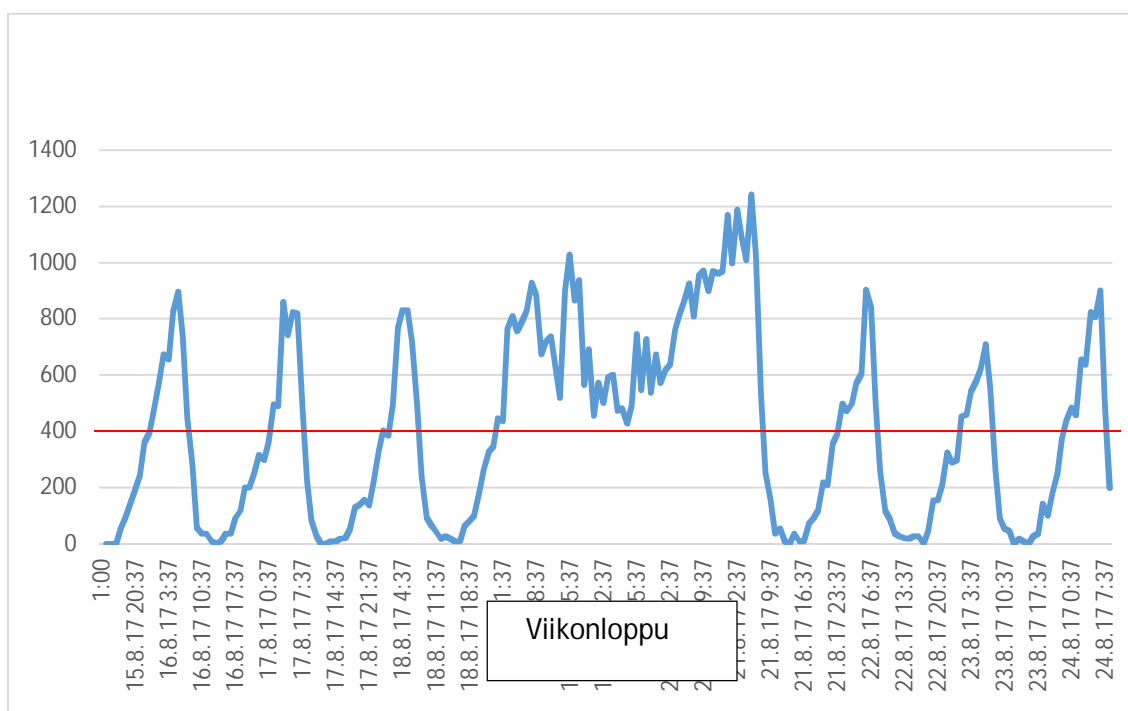
Ensimmäinen radonmittaus (tutkimuskohde 1, kuvio 13) suoritettiin Suomen Radonhallinta Oy lainatulla jatkuvatoimisella Alpha Guard -radonmittarilla. Mittarilla on säteilyturvaviranomaisen hyväksymä.

Muut mittaukset (tutkimuskohteet 1 – 6, taulukot 2 - 10) on suoritettu Helsingin kaupungin Corentium Pro -jatkuvatoimisilla radonmittareilla. Taulukoissa on vihreällä pohjalla arkipäivien radonpitoisuudet aikavälillä 8:00 - 16:00. Radonpitoisuuden raja-arvo on esitetty punaisella viivalla. Helsingin kaupungin mittalaitteilla ei vielä mittausajankohtana ollut säteilyturvaviranomaisen hyväksyntää. Radonmittarit saivat alkuvuodesta 2018 Säteilyturvaviranomaisen hyväksynnän.

## 6 MITTAUSTULOKSET

### 6.1 Tutkimuskohteen 1 radonmittaukset

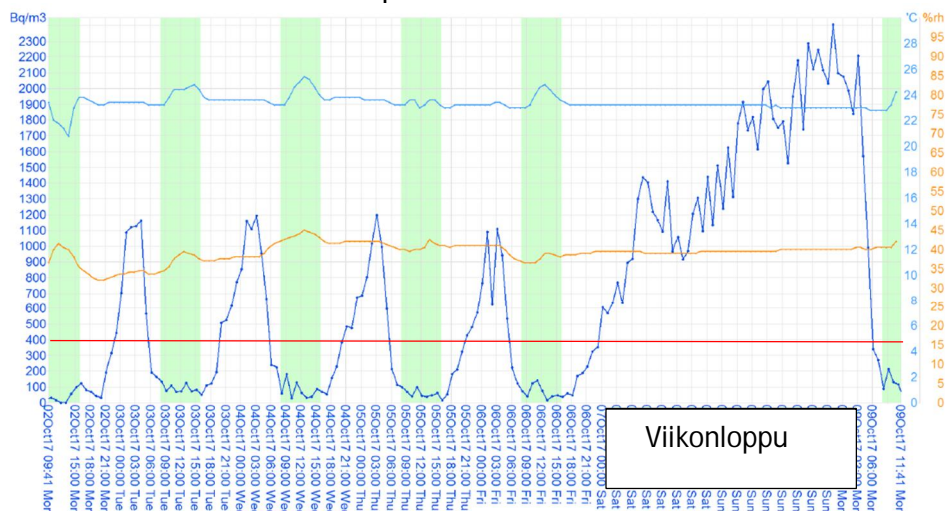
Talven 2016 - 2017 radonpurkkimittauksissa kahdessa tilassa oli radonpitoisuuden ylityksiä: opetustilassa a  $1570 \text{ Bq/m}^3$  sekä opetustilassa b  $1170 \text{ Bq/m}^3$ . Opetustilassa a (kuvio 13) mitattiin aikavälillä 15.8. - 24.8.2017 sisäilman radonpitoisuutta jatkuvatoimisella mittarilla. Pitoisuuksissa oli vuorokausivaihtelua ilmanvaihdon käyntiaikojen mukaan siten, että keskimääräinen koulupäivän radonpitoisuus oli  $70 \text{ Bq/m}^3$  ja koko mittausjakson kokonaisradonpitoisuus oli  $701 \text{ Bq/m}^3$ . Opetustilaa palveleva ilmanvaihtokone oli säädetty toimimaan arkisin 6:00 – 15:30.



Kuvio 13. Tutkimuskohteen 1 opetustilan a radonmittaukset 15.8. - 24.8.2017

Radonmittaus suoritettiin jatkuvatoimisella radonmittarilla aikavälillä 2.10. - 9.10.2017. Pitoisuuksissa oli vuorokausivaihtelua ilmanvaihdon käyntiaikojen mukaan siten, että keskimääräinen koulupäivän radonpitoisuus oli  $70 \text{ Bq/m}^3$  ja koko mittausjakson kokonaisradonpitoisuus oli  $701 \text{ Bq/m}^3$  (taulukko 1). Ennen opetustilan b jatkuvatoimista radonmittausta aluetta palvelevan ilmanvaihtokoneen käyntiaikaa aikaistettiin kolmella tunnilla. Ilmanvaihto toimi arkisin välillä 3:00 - 15:30.

Taulukko 1. Tutkimuskohteen 1 opetustilan b radonmittaukset 2.10 – 9.10.2017.



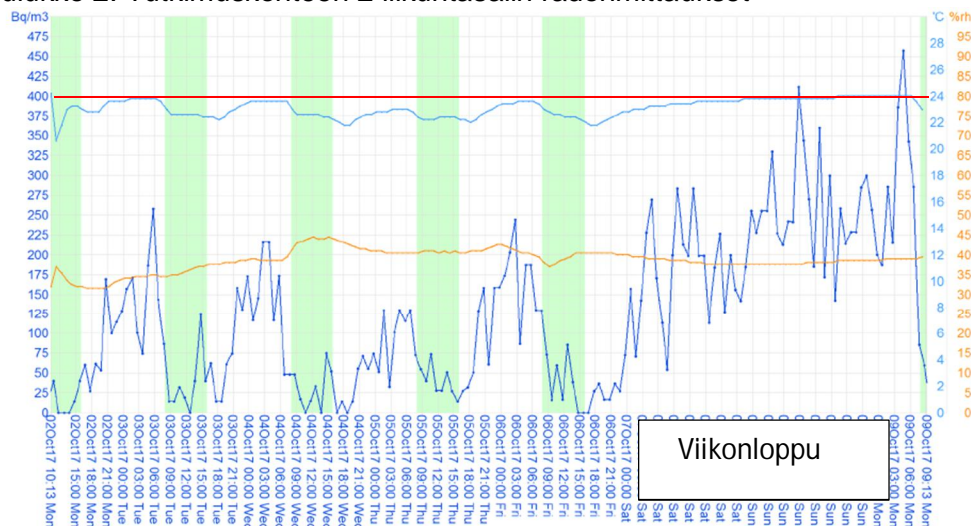
The plot shows the time interval from 2017-Oct-02 Mon 09:41 to 2017-Oct-09 Mon 11:41 (170 hours). Average radon concentration in this period is **701 Bq/m<sup>3</sup>** ( $\pm 7\%$ ). If one includes only Mon-Fri, 08:00-16:00 (a total of 42 hours), one finds an average radon concentration of **70 Bq/m<sup>3</sup>** ( $\pm 21\%$ ).

## 6.2 Tutkimuskohteen 2 radonmittaukset

Talven 2016 - 2017 radonpurkkimittauksissa yhdessä tilassa oli radonpitoisuuden ylityksiä: Liikuntasalin liikuntavälinevarastossa  $630 \text{ Bq/m}^3$ . Liikuntavälinevarasto on toisarvoisen tila. Purkkimittauksien tulosten pitoisuutta ei voida pitää liikuntasalin sisäilman radonpitoisuutena.

Uusintamittaus suoritettiin liikuntasalissa jatkuvatoimisella radonmittarilla 2.10. - 9.10.2017. Radonpitoisuuksissa oli vuorokausivaihtelua ilmanvaihdon käyntiaikojen mukaan, siten että keskimääräinen koulupäivän radonpitoisuus oli  $35 \text{ Bq/m}^3$ . Koko mittausjakson kokonaisradonpitoisuus oli  $126 \text{ Bq/m}^3$  (Taulukko 2). Liikuntasalia palveleva ilmanvaihtokone oli säädetty toimimaan arkisin välillä 6:30 - 17:30.

Taulukko 2. Tutkimuskohteen 2 liikuntasalin radonmittaukset



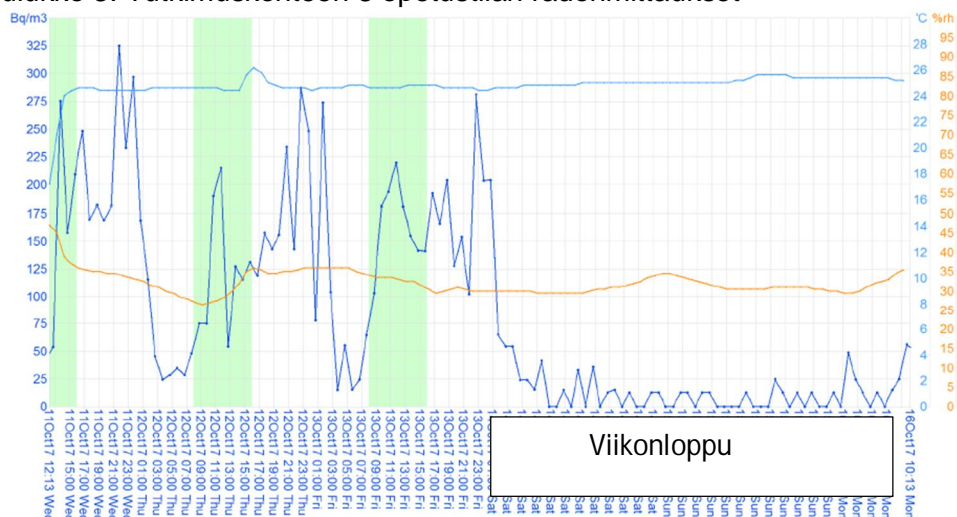
The plot shows the time interval from 2017-Oct-02 Mon 10:13 to 2017-Oct-09 Mon 09:13 (167 hours). Average radon concentration in this period is **126 Bq/m<sup>3</sup>** ( $\pm 12\%$ ). If one includes only Mon-Fri, 08:00-16:00 (a total of 39 hours), one finds an average radon concentration of **35 Bq/m<sup>3</sup>** ( $\pm 11$  Bq/m<sup>3</sup>).

### 6.3 Tutkimuskohteen 3 radonmittaukset

Talven 2016 - 2017 radonpurkkimittauksissa kahdessa tilassa oli radonpitoisuuden ylityksiä: liikuntasalissa 600 Bq/m<sup>3</sup> sekä opetustilassa 550 Bq/m<sup>3</sup>.

Opetustilan uusintamittaukset suoritettiin jatkuvatoimisella radonmittarilla aikataulullisista syistä, vain viiden päivän ajan aikavälillä 11.10. - 16.10.2017. Radonpitoisuudessa oli hetkittäistä vaihtelua siten, että keskimääräinen koulupäivän radonpitoisuus oli 164 Bq/m<sup>3</sup> ja koko mittausjakson kokonaisradonpitoisuus oli 83 Bq/m<sup>3</sup> (Taulukko 3). Rakennuksen ilmanvaihto toimi uusintamittauksen ajan 24 tuntia vuorokaudessa.

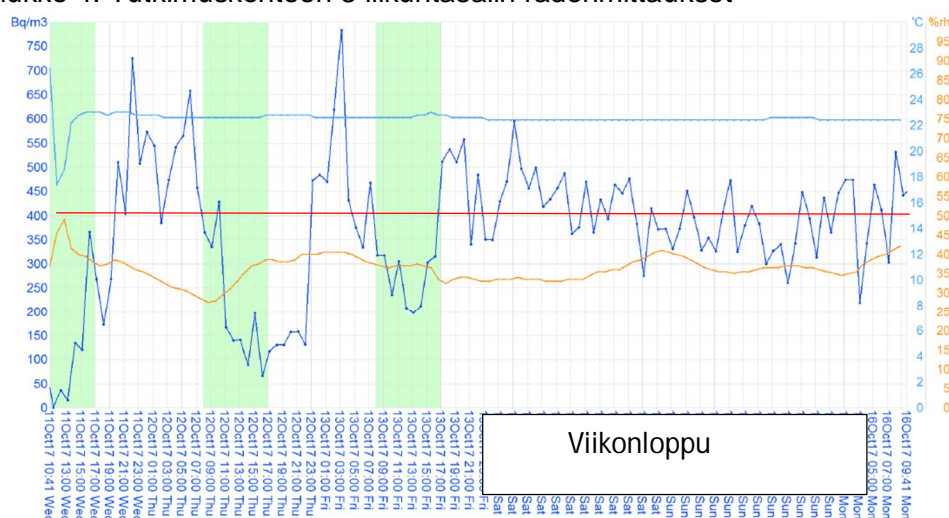
Taulukko 3. Tutkimuskohteen 3 opetustilan radonmittaukset



The plot shows the time interval from 2017-Oct-11 Wed 12:13 to 2017-Oct-16 Mon 10:13 (118 hours). Average radon concentration in this period is **83 Bq/m<sup>3</sup>** ( $\pm 16\%$ ). If one includes only Wed-Fri, 08:00-16:00 (a total of 20 hours), one finds an average radon concentration of **164 Bq/m<sup>3</sup>** ( $\pm 17\%$ ).

Liikuntasalin uusintamittaukset suoritettiin jatkuvatoimisella radonmittarilla viiden päivän ajan aikavälillä 11.10 – 16.10.2017. Radonpitoisuudessa oli hetkittäistä vaihtelua siten, että keskimääräinen koulupäivän radonpitoisuus oli 205 Bq/m<sup>3</sup> ja koko mittausjakson kokonaisradonpitoisuus oli 369 Bq/m<sup>3</sup> (Taulukko 4). Rakennuksen ilmanvaihto toimi uusintamittauksen ajan 24 tuntia vuorokaudessa.

Taulukko 4. Tutkimuskohteen 3 liikuntasalin radonmittaukset



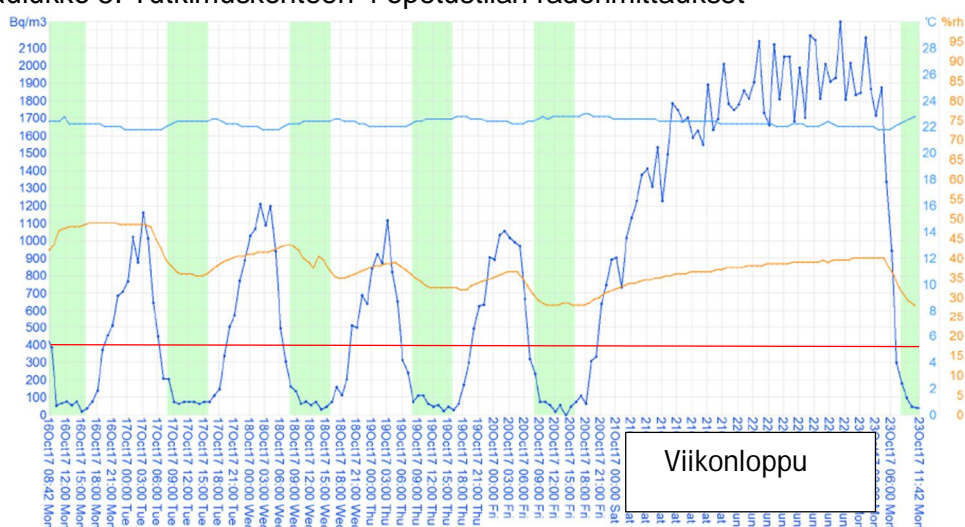
The plot shows the time interval from 2017-Oct-11 Wed 10:41 to 2017-Oct-16 Mon 09:41 (119 hours). Average radon concentration in this period is **369 Bq/m<sup>3</sup>** ( $\pm 9\%$ ). If one includes only Wed-Fri, 08:00-17:00 (a total of 24 hours), one finds an average radon concentration of **205 Bq/m<sup>3</sup>** ( $\pm 15\%$ ).

## 6.4 Tutkimuskohteen 4 radonmittaukset

Talven 2016 - 2017 radonpurkkimittauksissa yhdessä tilassa oli radonpitoisuuden ylityksiä: opetustilassa  $660 \text{ Bq/m}^3$ .

Uusintamittaus suoritettiin opetustilassa jatkuvatoimisella radonmittarilla 16.10. - 23.10.2017. Radonpitoisuuksissa oli vuorokausivaihtelua ilmanvaihdon käyntiaikojen mukaan siten, että keskimääräinen koulupäivän radonpitoisuus oli  $83 \text{ Bq/m}^3$  ja koko mittausjakson kokonaisradonpitoisuus oli  $815 \text{ Bq/m}^3$  (Taulukko 5). Opetustilaa palveleva ilmanvaihtokone käy arkisin 5:00 - 17:00.

Taulukko 5. Tutkimuskohteen 4 opetustilan radonmittaukset



The plot shows the time interval from 2017-Oct-16 Mon 08:42 to 2017-Oct-23 Mon 11:42 (171 hours). Average radon concentration in this period is  $815 \text{ Bq/m}^3$  ( $\pm 7\%$ ). If one includes only Mon-Fri, 08:00-16:00 (a total of 43 hours), one finds an average radon concentration of  $83 \text{ Bq/m}^3$  ( $\pm 22\%$ ).

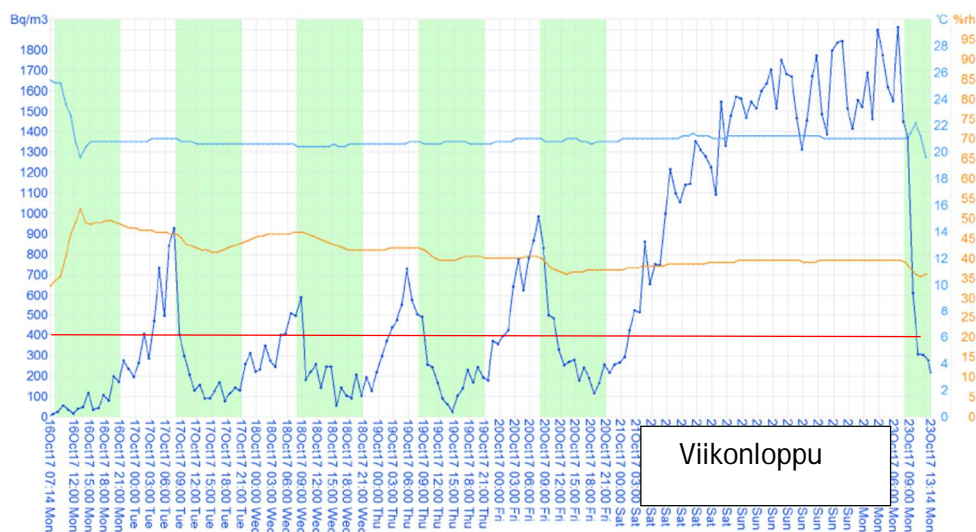
## 6.5 Tutkimuskohteen 5 radonmittaukset

Talven 2016 - 2017 radonpurkkimittauksissa kahdessa tilassa oli radonpitoisuuden ylityksiä: liikuntasalissa  $600 \text{ Bq/m}^3$  sekä teknisentyön luokassa  $700 \text{ Bq/m}^3$ .

Liikuntasalin uusintamittaukset suoritettiin 16.10. - 23.10.2017 sekä 30.10. - 6.11.2017. Radonpitoisuuksissa oli vuorokausivaihtelua ilmanvaihdon käyntiaikojen mukaan siten, että keskimääräiset koulupäivien radonpitoisuudet olivat  $245 \text{ Bq/m}^3$  ja aikaistuksen jälkeen  $194 \text{ Bq/m}^3$  koko mittausjakson kokonaisradonpitoisuus oli  $644 \text{ Bq/m}^3$  ja aikaistuksen jälkeen  $534 \text{ Bq/m}^3$  (Taulukot 6 ja 7).

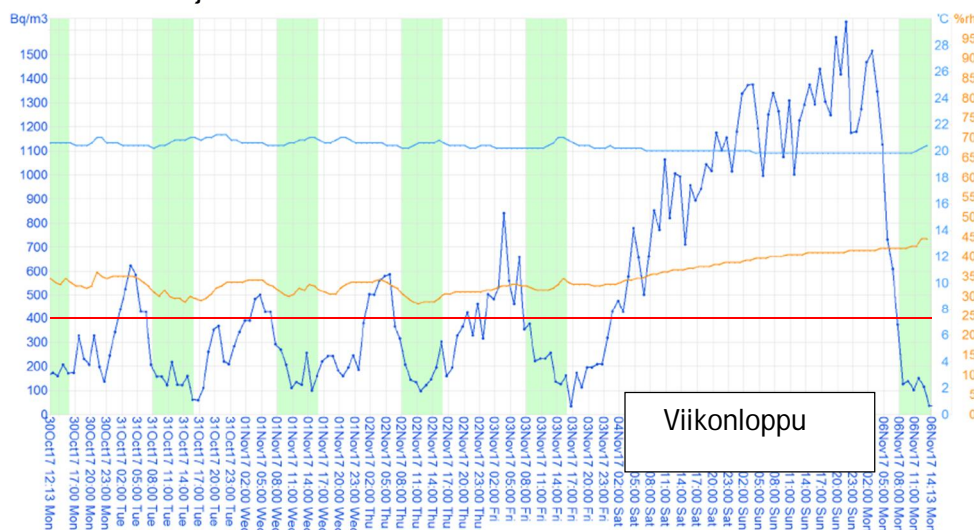
Liikuntasalia palveleva ilmanvaihtokone toimi ajastetusti ensimmäisen uusintamittausjakson aikana 6:30 – 22:00 sekä toisen uusintamittausjakson aikana 4:00 – 22:00.

Taulukko 6. Tutkimuskohteen 5 liikuntasalin 1. radonmittaus 16.10 – 23.10.2017



The plot shows the time interval from 2017-Oct-16 Mon 07:14 to 2017-Oct-23 Mon 13:14 (174 hours). Average radon concentration in this period is  $644 \text{ Bq/m}^3$  ( $\pm 7\%$ ). If one includes only Mon-Fri, 08:00-21:00 (a total of 70 hours), one finds an average radon concentration of  $245 \text{ Bq/m}^3$  ( $\pm 11\%$ ).

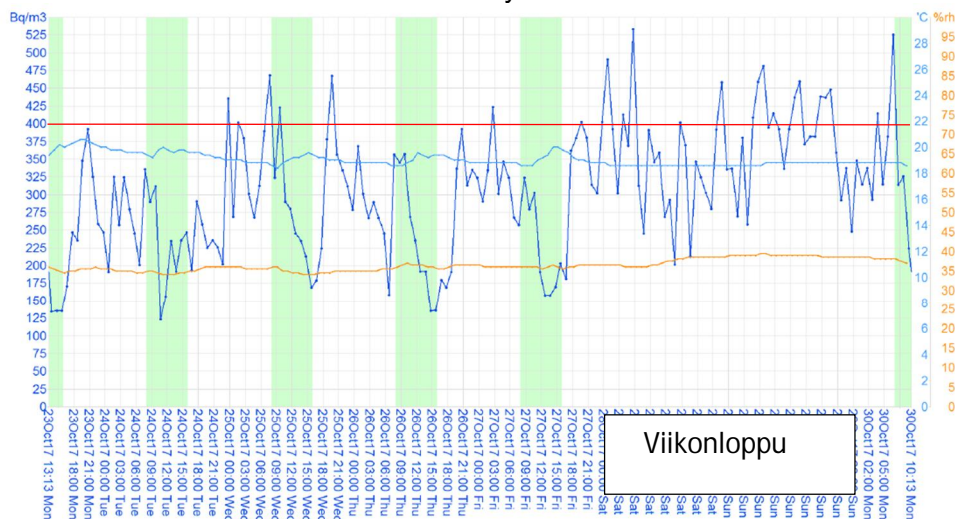
Taulukko 7. Tutkimuskohteen 5 liikuntasalin 2. radonmittaus 30.10 - 6.11.2017 ilmanvaihdon aikaistuksen jälkeen



The plot shows the time interval from 2017-Oct-30 Mon 12:13 to 2017-Nov-06 Mon 14:13 (170 hours). Average radon concentration in this period is  $534 \text{ Bq/m}^3$  ( $\pm 7\%$ ). If one includes only Mon-Fri, 08:00-16:00 (a total of 42 hours), one finds an average radon concentration of  $194 \text{ Bq/m}^3$  ( $\pm 13\%$ ).

Teknisentyön luokan jatkuvatoimiset radonmittaukset suoritettiin 23.10 – 30.10.2017. Luokan sisäilman radonpitoisuuksissa on vuorokausivaihtelua ilmanvaihdon käyntiaikojen mukaan siten, että keskimääräinen koulupäivän radonpitoisuus on  $288 \text{ Bq/m}^3$  ja mittausjakson kokonaisradonpitoisuus on  $306 \text{ Bq/m}^3$  (Taulukko 8). Teknisentyön luokkaa palveleva ilmanvaihtokone on ajastettu toimimaan 7:00 – 15:00.

Taulukko 8. Tutkimuskohteen 5 teknisentyön luokan radonmittaukset



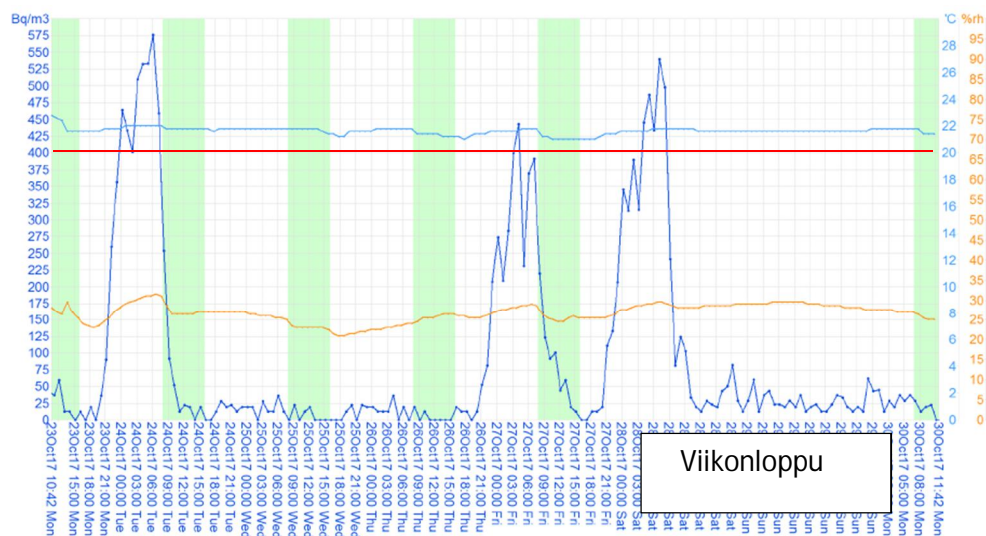
The plot shows the time interval from 2017-Oct-23 Mon 13:13 to 2017-Oct-30 Mon 10:13 (166 hours). Average radon concentration in this period is 306 Bq/m<sup>3</sup> ( $\pm 9\%$ ). If one includes only Mon-Fri, 08:00-16:00 (a total of 37 hours), one finds an average radon concentration of 288 Bq/m<sup>3</sup> ( $\pm 11\%$ ).

## 6.6 Tutkimuskohteen 6 radonmittaukset

Talven 2016 - 2017 radonpurkkimittauksissa yhdessä tilassa oli radonpitoisuuden ylityksiä: teknisentyönluokassa 550 Bq/m<sup>3</sup>.

Uusintamittaukset suoritettiin teknisentyön luokassa jatkuvatoimisella radonmittarilla 23.10 – 30.10.2017. Sisäilman radonpitoisuudessa oli vaihtelua. Kiinteistön ilmanvaihdon automaatiossa oli ongelmia mittaushetkellä ja laitteiston käyntiajoista ei löytynyt tietoja. Radonmittaustuloksista voidaan selkeästi huomata ilmanvaihdon käyntiajat (Taulukko 9).

Taulukko 9. Tutkimuskohteen 6 teknisentyön luokan radonmittaukset



The plot shows the time interval from 2017-Oct-23 Mon 10:42 to 2017-Oct-30 Mon 11:42 (170 hours). Average radon concentration in this period is 92 Bq/m<sup>3</sup> ( $\pm 16\%$ ). If one includes only Mon-Fri, 08:00-16:00 (a total of 41 hours), one finds an average radon concentration of 34 Bq/m<sup>3</sup> ( $\pm 11$  Bq/m<sup>3</sup>).

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mittaustulosten perusteella mitattujen koulujen käytön aikainen radontilanne on hyvä ja niissä ei mitattu käytön aikaisia raja-arvon ylityksiä. Mitatuissa kohteissa, joissa ilmanvaihto toimi ajastetusti, oli selkeästi havaittavissa radonpitoisuuden alenemat ilmanvaihdon käyntiaikojen mukaan. Raja-arvon ylittävät radonpitoisuudet rajoittuvat ilta- ja yöaikaan, kun kiinteistöissä ei ole toimintaa ja käyttäjiä. Muutamassa kohteessa havaittiin hetkellisiä raja-arvon ylityksiä.

Mitattujen koulujen radonpitoisuuksissa oli vuorokausivaihtelua ilmanvaihdon käyntiaikojen mukaan siten, että radonpitoisuudet olivat kiinteistön käytön aikana 35 – 245 Bq/m<sup>3</sup> kun mittausjakson kokonaisradonpitoisuudet olivat 126 - 815 Bq/m<sup>3</sup>. Radonpitoisuudet olivat korkeimmillaan viikonloppuisin.

Tutkimuskohteissa 1, 2, 4, 5 (liikuntasalissa) ja 6 ilmanhuuhtelusta voidaan havaita ilmanvaihdon toimivuus. Vaikka tutkimuskohteessa 6 ilmanvaihdon automaatiojärjestelmä oli tutkimusajankohtana epäkunnossa, voidaan mittauksista huomata radonpitoisuuden selkeä lasku ilmanvaihdon käynnistyessä.

Tutkimuskohteessa 3 ilmanvaihto on automaatiojärjestelmän mukaan toiminnassa jokaisena viikonpäivänä 24 tuntia vuorokaudessa. Radontuloksista voidaan todeta, että automaatiojärjestelmässä ja ilmanhuuhtelussa on puutteita. Viikonloppuna ja yöaikaan opetustilassa on vähemmän radonia, kuin koulupäivän ja illan aikana. Liikuntasalissa koko viikonloppun radonpitoisuus on lähes sama. Arkisin päiväsaikaan radonpitoisuus on alimmillaan ja iltaisin korkeimmillaan. Tutkimuskohteeseen 3 suositellaan ilmanvaihdon mittauksia.

Tutkimuskohteen 5 teknisentyön luokassa radonpitoisuus sahasi puoleen päivään asti, jolloin pitoisuus laski. Radonpitoisuudessa nähdään selkeä nousu aluetta palvelevan ilmanvaihtokoneen sammussa koulupäivän päätteeksi. Teknisentyön luokassa on useita oppilaiden käytössä olevia erillispoistolla varustettuja työkoneita. Radonpitoisuuksista voidaan huomioda, että työkoneiden käyttö aiheuttaa tilassa hetkittäisiä ilmanvaihdon epätasapainosuhteita, jolloin korvausilmaa tulee hallitsemattomasti alapohjasta. Teknisentyön luokan ilmanvaihdon painesuhteita tulee tarkastella.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tutkimustulosten perusteella radonpurkilla mitatun raja-arvon ylityksen jälkeen tulisi suorittaa jatkuvatoiminen radonmittaus, jos kohteessa on ajastettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Jatkuvatoimisella radonmittauksella voidaan välttää korjaustoimenpiteet, jos sisäilman radonpitoisuudessa on vaihtelua kiinteistön ilmanvaihdon käyntiaikojen mukaan.

Kiinteistön käyttäjien radonaltistumista voidaan alentaa aikaistamalla ilmanvaihtoa ja ilmanvaihto voidaan optimoida energiatehokkaasti radonmittaria apuna käyttäen. Ilmanvaihtoa voidaan aikaistaa alkamaan, jos radonpitoisuudet nousevat korkeiksi viikonloppujen aikana ja ovat vielä koholla kiinteistön käytön alkaessa.

Tutkimuksesta jäi epäily, että radonpitoisuudet saattavat olla moninkertaisia kouluissa lomakausien aikana, jos ilmanvaihto on lomien ajan pois päältä. Tästä syystä lomien aikainen ja jälkeinen radonpitoisuus olisi hyvä mitata ja ryhtyä mahdollisiin korjaustoimenpiteisiin.

Radonongelmaisissa kohteissa viikonloppujen ja lomakausien jälkeen voidaan ilmanvaihtoa aikaistaa riittävästi, jotta sillä on riittävästi aikaa huuhdella epäpuhtaudet sisäilmasta. Pitkien lomien jälkeen voidaan mitata radonpitoisuudet ja säätää ilmanvaihto alkamaan riittävän aikaiseksi, radonaltistumisen pienentämiseksi. Kohteissa, joissa radonpitoisuus on korkea myös päiväsaikaan, tulee sisäilman radonpitoisuuden alentamiseksi tarkastella erilaisia rakennusteknisiä korjaustoimenpiteitä.

Radonpurkeilla tehtyjen mittaustulosten ja opinnäytetyön tutkimustulosten radonpitoisuuksissa oli keskiarvopitoisuuden vaihtelua. Mittaustuloksissa on otettava huomioon, että tutkimuksessa käytetyt Corentium Pro- radonmittarit kalibroitiin säteilyturvaviranomaisen toimesta mittausten jälkeen. Mittaustuloksiin voi vaikuttaa myös mittausten ajankohta. Radonpurkilla tehdyt mittaukset on tehty talvikaudella, jolloin radonpitoisuudet ovat keskimäärin korkeampia. Purkimittausten radonlukemaa saattaa myös nostattaa lomien aikaiset radonpitoisuudet.

## 9 LÄHTEET

Arvela, H. & Reisbacka, H. 2008. Asuntojen radonkorjaaminen 2008. STUK-252-opas. Säteilyturvakeskuksen julkaisuja.

Arvela, H. & Reisbacka, H. 2012. Asuntojen radonkorjaaminen 2012. STUK-252-opas. Säteilyturvakeskuksen julkaisuja.

Gray A, Read S, McGale P, Darby, Lung cancer deaths from indoor radon and the cost effectiveness and potential of policies to reduce them. 2009 [https://openi.nlm.nih.gov/details/result.php?img=PMC2769068\\_graa626861.f1\\_default&req=4](https://openi.nlm.nih.gov/details/result.php?img=PMC2769068_graa626861.f1_default&req=4)

Asumisterveysohje 2003. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003. [viitattu 12.09.2017]. Saatavissa: <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/111050/Opp200301.pdf?sequence=1>

Ilmatieteenlaitos 2006, Luonnon säteily on suomalaisten suurin säteilynlähde [viitattu 26.10.2017]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/1145952444>

Petrow, S. & Kaskisuo, T. Harkkokäsikirja 2016, Kevytsoraharkot ja betoniharkot. Betoniteollisuus ry käsikirja 2016. [viitattu 20.9.2017]. Saatavissa: [http://betoni.com/wp-content/uploads/2015/04/harkkokasikirja\\_2016-sisallysluettelolla.pdf](http://betoni.com/wp-content/uploads/2015/04/harkkokasikirja_2016-sisallysluettelolla.pdf)

Pien- ja rivitalojen radontekninen korjaus, Ympäristöministeriö. 2008, [viitattu 17.10.2017]

Radonmittaus, Säteilyturvakeskus 2018, [viitattu 10.11.2019]. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/palvelut/radonmittaukset>

Sisäilman radon. Säteily- ja ydinturvallisuuskatsauksia 2011. Säteilyturvakeskuksen julkaisuja. [viitattu 11.10.2017]. Saatavissa: <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/125205/katsaus-sisailman-radon-12-2011.pdf?sequence=1>

Sobott, J. 2014. Tiiveystarkastelut ja tiivistyskorjaukset toimisto- ja palvelurakennuksiin, 2014. Opinnäytetyö [viitattu 12.10.2017]. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/82613/Tiiveystarkastelut%20ja%20tiivistyskorjaukset%20liike-%20ja%20palvelurakennuksiin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 1991. Säteilyasetus 1512/1991. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ls/19911512#L2>

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 1992. Säteilyasetus 944/1992. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920944>

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 2018. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoivasta säteilystä. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20181044#Lidp447555024>

Suomen rakentamismääräyskokoelma B3, Ympäristöministeriö. Pohjarakenteet, Määräykset ja ohjeet. 2004. [viitattu 13.10.2017].

Suomen rakentamismääräyskokoelma D2, Ympäristöministeriö. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet. 2012. [viitattu 13.10.2017].

Säteilyohje 2011. Säteilyturvallisuus 12.1 Ohje. Saatavissa: <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/ST12-1>

Säteilyturvakeskus 2017a. Radonimuri [viitattu 22.9.2017]. Saatavissa: <http://www.stuk.fi/aiheet/radon/radonkorjaukset/radonkorjausmenetelman-valinta/radonimuri>

Säteilyturvakeskus. Säteilyturvakeskuksen hyväksymät radonmittausmenetelmät. [viitattu 9.2.2017]. Saatavissa <http://www.stuk.fi/stuk-valvoo/sateilyn-kayttajalle/sateilymittaukset/stukin-hyvaksymat-radonmittausmenetelmat>

Säteilyturvakeskus, radonkaivo Saatavissa: <http://www.stuk.fi/aiheet/radon/radonkorjaukset/radonkorjausmenetelman-valinta/radonkaivo>

Valmari T., Mäkeläinen I., Reisbacka H. & Arvela H., Suomen radonkartasto 2010, STUK-A245. Saatavissa: <http://julkari.fi/bitstream/handle/10024/124319/stuk-a245.pdf?sequence=1>

Zielinski J., M. & Jiang H., Cancer epigenetics Society. Saatavissa: <https://ces.b2sg.org/radon/>