

Alexi Ojanperä

**RADONMITTAUSSUUNNITELMA  
VANTAAN KAUPUNGIN  
JULKISIIN TILOIHIN**

Opinnäytetyö  
Ympäristötekniologia

2019



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Aleksi Ojanperä	Insinööri (AMK), Ympäristöteknologia	Elokuu 2019
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Radonmittaus suunnitelma Vantaan kaupungin julkisiin tiloihin		32 sivua 13 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Vantaan kaupungin tilakeskus		
<b>Ohjaaja</b>		
Henna Kauppi, Leena Stenlund, Jari Mattila		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Suomen säteilylaki muuttui joulukuussa 2018. Lakimuutos velvoittaa työnantajia entistä tarkempaan radonpitoisuuksien valvontaan työpaikoilla. Opinnäytteessä kartoitettiin kaikki Vantaan kaupungin kiinteistöt, joihin radonmittaukset tulee lähitulevaisuudessa tehdä. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, missä kiinteistöjen tiloissa työskentelee kaupungin työntekijöitä ja näiden työskenneltävien maanvastaisten tilojen neliömäärien perusteella määrittää, kuinka paljon kohteeseen tarvitaan radonmittauspurkkeja. Lisäksi selvitettiin säteilylain seurauksena muuttuneita radonmittauskriteerejä sekä usein käytettyjä mittausmenetelmiä.</p> <p>Tutkimusta toteutettiin yhteistyössä Vantaan kaupungin tilahallinnan alueisännöitsijöiden sekä kiinteistöjen omien huoltomiesten kanssa. Tutkimusongelmana oli, mihin kartoitettavista kaupungin kiinteistöistä tarvitsee tehdä radonmittaukset, kun mittaustarpeeseen vaikuttavat niin monet eri tekijät. Aineistona käytettiin kaupungin omia järjestelmiä ja materiaaleja rakennuksista ja aikaisemmista radonmittaustuloksista. Lisäksi säteilylain muutokseen liittyvissä kysymyksissä oltiin sähköpostin välityksellä yhteydessä Säteilyturvakeskuksen (STUK) valvojaan. Tutkimuksessa ei tehty konkreettisia radonmittauksia, sillä niiden toteutus alkaa lämmityskauden 2019–2020 aikana tämän kiinteistökartoituksen pohjalta.</p> <p>Viimeisen kymmenen vuoden aikana sataan päiväkotiin on tehty radonmittaukset, kun taas 82 päiväkotiin osoitettiin tehtäväksi mittaukset. Näistäkin suurimpaan osaan on tehty aikaisemmin mittaukset, jotka tulee kuitenkin uusia. Kouluissa vastaavasti aikaisemmin mitattuja kohteita on 60 kappaletta, ja 30 kouluun tulee tehdä uudet mittaukset. Sosiaali- ja terveysasemista 57 kappaletta tulee mitata. Muita merkittäviä mitattavia kohteita Vantaalla ovat suuret rakennukset, joissa työskentelee päivittäin runsaasti henkilöstöä. Yhteensä kaikkia mitattavia kohteita Vantaalla on 235.</p> <p>Vertailtaessa Vantaan kaupungin aikaisempia radon mittaustuloksia Vantaan alueella ja STUK:n saamia tuloksia kaupungin pientaloista voidaan todeta, että vaihtelua radonpitoisuuksissa esiintyy runsaasti kaupunginosienkin sisällä. Tämän takia mittaustoimintaa tulee suorittaa yksittäisissä kiinteistöissä pienten alueiden sisällä ahkerasti. Taustaselvitys mitattavista kohteista on iso osa suuren kaupungin radonmittausprosessia, jossa kohteita on suuri määrä.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
radon, terveyshaitta, torjunta, säteilylaki		

Author (authors)	Degree	Time
Aleksi Ojanperä	Bachelor of Environmental Engineering	August 2019
<b>Thesis title</b>		32 pages
Radon measuring plan for the public facilities of the city of Vantaa		13 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>		
Vantaa Facility Management		
<b>Supervisor</b>		
Henna Kauppi, Leena Stenlund, Jari Mattila		
<b>Abstract</b>		
<p>Finnish radiation law was changed in December 2018 and now it requires more active measurement action and radiation monitoring by employers at workplaces. In this thesis all the facilities of the city of Vantaa were surveyed, where it is necessary to measure radon concentrations in the near future. The objective of this study was to locate the facilities in which the city's employees are working in, and based on the surface area of the ground floor of each facility, to calculate the number of radon measuring cans required. Additionally, the study involved exploring the changed criteria of radon monitoring as well as the typical radon measuring methods.</p>		
<p>A part of the study was implemented in co-operation with the city's Facility Managers and Servicemen and the data was collected from the city's own building data systems. Radiation Safety Supervisor was also interviewed, regarding the change in radiation law. The research problem was to locate the facilities that require radon measuring, as multiple factors influence the need of measurement. Concrete measurements were not conducted as part of this project.</p>		
<p>Radon concentrations have been measured in several schools and kindergartens during the past ten years. However, the study discovered that 82 kindergartens and 30 schools require radon measurements to be implemented. In addition to schools and kindergartens, 57 healthcare facilities need to be measured together with several other facilities that host a large number of employees. Overall there are 235 different buildings in Vantaa, where radon measurements need to be conducted.</p>		
<p>Comparing Vantaa's previous radon measurement results and the results from small houses in Vantaa, obtained by the Radiation Safety Center, it can be stated that there are considerable variations in the measurement results, even inside individual suburbs. Therefore, it is necessary to measure radon concentrations actively in occupied spaces even within smaller areas. This project is an important framework for the large radon measurement project implemented by the city of Vantaa, as the number of buildings and occupied spaces in the city is significant.</p>		
<b>Keywords</b>		
radon, health issue, prevention, radiation law		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	RADON.....	8
2.1	Esiintyminen .....	8
2.2	Terveyshaitat ja tutkiminen .....	11
2.3	Efektiivinen annos ja hajoamistuotteet.....	13
2.4	Torjunta.....	14
2.4.1	Menetelmät.....	16
2.5	Valvonta.....	18
3	SÄTEILYLAIN MUUTOS 15.12.2018.....	19
3.1	Radon työpaikoilla .....	20
3.2	Työnantajan vastuut .....	21
3.3	Mittaaminen .....	21
3.3.1	Integroiva mittaus .....	22
3.3.2	Jatkuvatoiminen mittaus .....	23
3.3.3	Hetkellinen mittaus.....	24
4	AINEISTOT JA MENETELMÄT .....	24
4.1	Vantaan kaupungin aiempi mittauskäytäntö .....	26
5	TULOKSET.....	27
5.1	Tulosten tarkastelu .....	31
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	32
7	POHDINTA .....	33
	LÄHTEET.....	35

## LIITTEET

Liite 1. Pientalojen radonpitoisuuksien keskiarvot Vantaalla

Liite 2. Aikaisempia mittaustuloksia kouluista ja päiväkodeista

Liite 3. Mitattavat kohteet

Liite 4. Sähköpostikeskustelu

## Käytettyjä termejä ja yksiköitä

### Viitearvo

Viitearvo -termillä tarkoitetaan radonpitoisuuksien aktiivisuuspitoisuutta, jonka yksikkönä käytetään Becquereliä kuutiometrissä (STUK s.a).

### Puoliintumisaika

Puoliintumisajalla tarkoitetaan jonkin aineen aktiivisuuden puolittumista alkuperäiseen aktiivisuuteen nähden ja aktiivisuus osoittaa ydinten hajoamisen määrän aikayksikköä kohden (STUK s.a).

### Becquerel

Becquerel (Bq) vastaa yhden atomin hajoamista sekunnissa ja niiden määrä osoittaa säteilyn voimakkuuden. Työssä radonpitoisuudet ilmoitetaan Becquereleinä kuutiometrissä (Bq/m<sup>3</sup>). (STUK s.a.)

### Sievert

Ihmiseen kohdistuvaa säteilyannosta tarkastellaan Sievert -yksiköllä (Sv) ja useimmiten säteilyannos ilmoitetaan millisieverteinä (mSv). 3,2 mSv on keskimääräinen Suomalaisen saama säteilyannos vuodessa ja 6000 mSv on annos, johon ihminen voi äkillisen altistumisen seurauksena menehtyä. (STUK s.a.)

### Diffuusio

Diffuusiolla tarkoitetaan molekyylien pyrkimystä hävittää pitoisuuseroja sekoittamalla toisiinsa, jolloin aine siirtyy suuremmasta pitoisuudesta pienempään (Kyllönen s.a).

## Epidemiologia

Epidemiologia keskittyy sairauksien esiintyvyyteen väestössä. Epidemiologiset tutkimukset painottuvat sekä sairauksien syiden selvittämiseen, että sairauksien ennusteisiin ja päätöksentekoon. Tutkimuskohde voi olla esimerkiksi syöpäsairaus. (Tampereen yliopisto 2016.)

## Dosimetria

Dosimetria on fysiikan tieteenala, joka tutkii säteilystä saatavan annoksen mittausta ja mittausmenetelmiä. Säteilyaltistusta tutkittaessa on tärkeää valita oikea dosimetrinen menetelmä fysikaalisen annoksen määrittämiseksi, jotta tulos säteilyaltistuksesta olisi mahdollisimman luotettava. (Physico-Medicae 2017.)

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön taustalla on muuttunut säteilylaki (859/2018), joka astui voimaan joulukuussa 2018. Lakimuutos velvoittaa työnantaja entistä runsaampaan radonpitoisuuksien valvontaan työpaikoilla ja tällä pyritään vähentämään työperäistä radonaltistusta. Suomen säteilylain muutos perustuu EU:n säteily-suojeludirektiiviin (2013/59/EURATOM). Opinnäytetyössä selvitetään radonmittattavat työtilat Vantaalla. Tutkimusongelmana on, mihin kartoitettavista kaupungin kiinteistöistä tarvitsee tehdä radonmittaukset, kun mittaustarpeeseen vaikuttaa niin monet eri tekijät. Vantaa kuuluu alueisiin, joilla työntekijöiden radonaltistus tulee selvittää. Työn tarve ja tilaus on tullut Vantaan kaupungin tilahallinnasta, jonka tulee myös työnantajana selvittää ja ehkäistä työntekijöidensä radonaltistumista. Mitattavat kohteet ovat pääasiassa kouluja, päiväkoteja ja sosiaali- ja terveystalouksien rakennuksia.

Vantaalla on runsaasti omia tiloja sekä osakeomistus- ja vuokratiloja, joiden käyttö, oleskelu ja kerroksien maanvastaisuus tulee radonmittauksia varten selvittää. Nämä tiedot selvitetään kaupungin omien järjestelmien avulla sekä yhteistyössä kaupungin alueisännöitsijöiden, huoltomiesten ja kiinteistöjen omien isännöitsijöiden kanssa. Työn tilaaja tarvitsi kartoituksen tekijäksi henkilön, joka on perehtynyt radonin mittausvelvoitteisiin ja uusiutuneeseen säteilylainsäädäntöön.

Opinnäytetyö auttaa edistämään tietoisuutta radonin esiintymisestä Vantaalla ja sitä kautta pienentää myöhemmin radonista kohdistuvaa terveyshaittaa työntekijöihin työpaikoilla. Selvitys on oleellinen osa myöhemmin toteutettavaa mittausprosessia ja mahdollisia radonkorjaustoimenpiteitä. Työn yhteydessä ei tehdä konkreettisia radonmittauksia, vaan mittaukset aloitetaan lämmityskauden 2019–2020 aikana Vantaan kaupungin toimesta. Kun tilojen käyttö on kartoitettu, selvitetään maanvastaisten oleskelutilojen neliömäärät, ja sen mukaan määritetään radonmittausten purkkimäärät kohteisiin. Työssä osoitetaan radonmittaukset kiinteistöissä tehtäviksi, jos kiinteistön maanvastaaisissa tiloissa työskentelee kaupungin työntekijöitä ja kyseisessä rakennuksessa ei viimeisen kymmenen vuoden aikana ole radonpitoisuutta tutkittu.

## 2 RADON

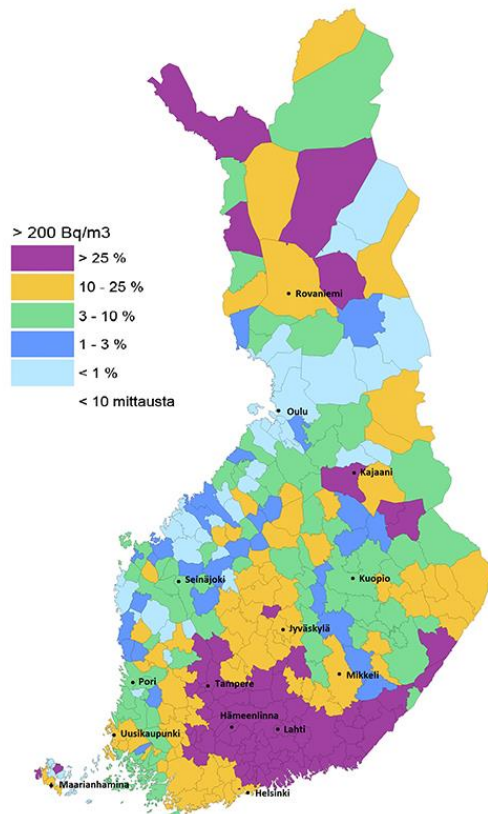
### 2.1 Esiintyminen

Radonkaasua muodostuu, kun maa- ja kallioperän radioaktiivinen torium ja uraani hajoavat stabiiliksi lyijyksi. Työssä radonista puhuttaessa tarkoitetaan yleisimmin esiintyvää radon (Rn)-222 isotooppia. Radonia muodostuu useina eri isotooppeina, joista pitkäaikaisin ja terveyden kannalta tärkein tutkittava on juuri  $^{222}\text{Rn}$  (puoliintumisaika 3,8 vrk), joka kuuluu hajoamissarjaan  $^{238}\text{U}$ . (Weltner ym. s.a, 112.)

Maaperästä radonkaasu kulkeutuu huoneilman alakerrokseen rakenteiden aukkojen kautta, ja yleinen rakennustapa Suomessa on ylipäänsä radonin kulkeutumiselle suotuisa. Usein talojen sisäilman liian runsas alipaineisuus ja rakenteiden heikko tiiveys edistävät radonkaasun kulkeutumista huoneilmaan, jota esiintyy vuodenaajoista eniten talvella. Suomessa huoneilman radonpitoisuudet ovat myös keskimäärin korkeat maailman mittapuulla, mikä johtuu kylmästä ilmastosta, rakenteista sekä uraanipitoisesta maaperästä. Radonia voi kulkeutua huoneilmaan maaperän lisäksi myös talon alapuolella olevasta kallioperästä sekä joistain rakennusmateriaaleista, kuten esimerkiksi peruslaatan betonista. Pitoisuuksiin vaikuttaa pääasiassa maaperän uraanipitoisuus, mutta myös täytemaan läpäisevyys, rakenteet, alapohjan tuuletus, ilmanvaihto ja vuodenaika. (Weltner ym. s.a, 112.)

Radonia ei ympäristössä aistillisesti pysty havaitsemaan, minkä takia pitoisuuksien selvittäminen vaatii erilliset mittaukset. Otollisimpia radonalueita ovat ilmaville hiekka- ja soraharjuille rakennetut talot, joita on Etelä-Suomessa pääasiassa Uudellamaalla, Lahdessa ja Pirkanmaalla (kuva 1). Suurimmat pitoisuudet Suomessa on mitattu Etelä-Suomen alueella, jossa sijaitsee 80 prosenttia viitearvon  $300 \text{ Bq/m}^3$  ylittävistä asunnoista ja työpaikoista. Keskimääräinen radonpitoisuus Suomalaisessa asunnossa on  $120 \text{ Bq/m}^3$ . (STUK 2019.)





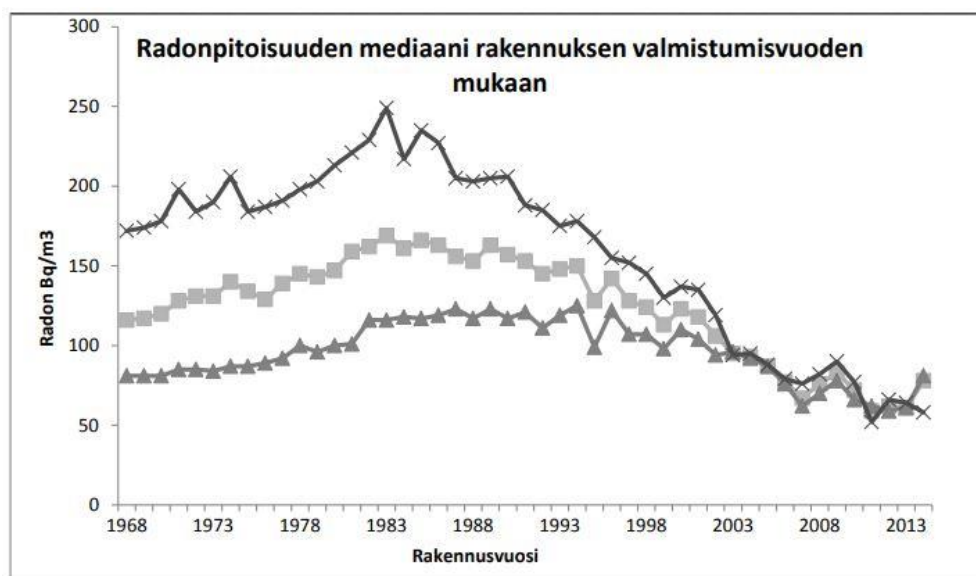
Kuva 1. Sisäilman radonpitoisuudet pientaloissa (STUK 2017)

Radonin terveyshaittoja on alettu tutkia ensimmäisen kerran jo 1500-luvulta Saksan alueella, kun iso osa kaivostyöntekijöitä sairastui ja menehtyi keuhkosityöpään. Keuhkosityövän ja kaivostyöskentelyn yhteys pystyttiin myöhemmin toteamaan, mutta vasta vuonna 1898 aiemmin tuntemattoman alkuaineen radiumin havaittiin muodostavan radioaktiivista kaasua. Ensimmäisiä radonmittauksia on tehty jo 1900-luvun alussa, kaivostoiminnan lisääntyessä lähinnä sotilaallisten tarpeiden seurauksena. 1930-luvulla esimerkiksi Saksan Schneebergin alueen kaivoksien radonpitoisuuksiksi ilmoitettiin 70 000–120 000 Bq/m<sup>3</sup>. (Weltner ym. s.a, 114.)

Säteilysuojeluasioihin ei kuitenkaan alkuvaiheessa osattu kiinnittää huomiota, eikä radonia mitattu säännöllisesti ennen 1950-lukua. Pahimman keuhkosityövän taudinaiheuttajan arvioitiin olevan arseenista ja muista myrkyllisistä aineista syntyvä pöly, kun radonin ei epäilty olevan merkittävä keuhkosityövän lähde. Lisäksi katsottiin, ettei teoreettisilla laskelmilla keuhkojen ekvivalenttiannoksen johtamisesta keuhkosityöpään ollut riittävää näyttöä. Kun tutkijoille selvisi radonin hajoamistuotteiden rooli, selvisi myös terveysriski. Epidemiolo-

giset kaivosilman pioneeritutkimukset 1970-luvulla osoittivat radonin hajoamistuotteiden haitallisuuden ja yhteyden keuhkosyöpään. Tällöin radonpitoisuuksia ruvettiin mittaamaan kaivoksista myös Suomessa ja asunnoissa mittauksia tehtiin ensimmäisen kerran samana vuosikymmenenä. Säteilysuojeluongelmana radonia on pidetty 1980-luvun alusta lähtien. (Weltner ym. s.a, 114.)

Talojen radonpitoisuudet lähtivät keskimäärin nousuun 1960-luvulta eteenpäin, kun rakentamisessa maanvarainen lattialaatta alkoi olla yleisin perusratkaisu. Koneellinen ilmanvaihto otettiin yleisemmin käyttöön 1980-luvulta lähtien, jota ennen yleisin ilmanvaihtotapa oli painovoimainen. Koneellisen ilmanvaihdon sekä korvausilmaventtiilien yleistymisen jälkeen talojen radonpitoisuudet ovat vähentyneet (kuva 2). 1980-luvulla ruvettiin myös vaatimaan radonkaasulle torjuntatoimenpiteitä, ja ensimmäinen tutkimus radonin torjumiseksi tehtiin samana vuosikymmenenä. Vuonna 1992 työpaikkojen toimintapöytäkirjaksi asetettiin säteilyasetuksessa (1512/1991)  $400 \text{ Bq/m}^3$ , kun taas ensimmäiset torjuntaohjeet tulivat julki 1993. Näillä ohjeilla pyrittiin jo rakentamisvaiheessa panostamaan radonpitoisuuksien ehkäisyyn ja siinä onnistuttiinkin pitoisuuksien lähtiessä laskuun. Yleisesti asuntokannan muutos Suomessa on hidasta, joten radon pitoisuuksien vaihtelu vuosittain mitattuna on vähäistä. (Kurtio ym. 2016, 10.)



Kuva 2. Korkeiden radonpitoisuuksien maakunnissa (rasti) (Pirkanmaa, Päijät-Häme, Kanta-Häme, Etelä-Karjala, Kymenlaakso, ent. Itä-Uusimaa), koko Suomessa (neliö) ja muissa maakunnissa (kolmio) mitatut mediaanit pientaloissa rakennusvuosittain (Kurtio ym. 2016, 2)

## 2.2 Terveyshaitat ja tutkiminen

Radonsäteily aiheuttaa soluvaurioita, joka saattaa ajan kuluessa johtaa keuhkosyöpään. Altistuminen ja riski sairastua ovat keskenään lineaariset, eli altistumisen kasvaessa keuhkosyöpäriski kasvaa, mutta myös vähäinen altistuminen aiheuttaa alhaisen riskin. Vauriot kehossa ja niiden ilmentyminen voi riippua mm. siitä, altistutaanko lyhyessä ajassa isoille pitoisuuksille vai pidemmällä aikavälillä pienemmille pitoisuuksille. (Kurttio ym. 2016, 18.) Radonia mitataan talvikauden aikana, koska tällöin tuuletus on sisätiloissa vähäisempää ja radonia kulkeutuu runsaammin sisätiloihin myös lämpötilaerojen vuoksi. (Kurttio 2017).

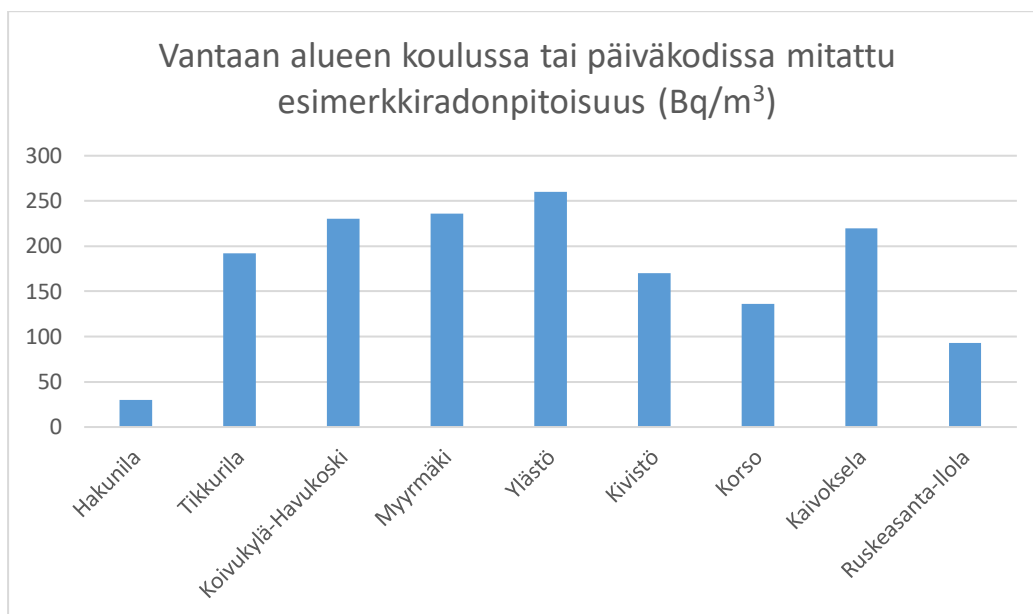
Radonkaasu ei kuitenkaan itsessään ole keuhkosyövän riskitekijä, vaan sen hajoamistuotteet, jotka aiheuttavat ihmisen keuhkoille säteilyannoksen tarttumalla keuhkoputkistoon ja -rakkuloihin. Keuhkosyövän ja radonin yhteyden selvittämisessä on käytetty epidemiologisia ja dosimetrisia menetelmiä sekä eläinkokeita. Epidemiologisia tutkimuksia voidaan toteuttaa seurantatutkimuksin tai tapaus-verrokkitutkimuksin. Seurantatutkimuksen kohteena on usein ihmisjoukko, jonka keskuudesta selvitetään sairauden ilmaantuvuutta. Seurantatutkimusten toimintaympäristönä ovat usein kaivokset. Radonin aiheuttamaa keuhkosyöpää tutkittaessa tapaus-verrokkitutkimuksella tarkastellaan syöpään sairastuneiden henkilöiden altistumista ja verrataan sitä valittujen verrokkien henkilöiden altistumiseen. Nämä tutkimukset ovat useimmiten toteutettu asuinympäristöissä. (Weltner ym. s.a, 113.)

Radondosimetrian tutkimukset ovat sekä kokeellisia että teoreettisia, ja menetelmä arvioi syöpäriskiä radonista ja sen hajoamistuotteista aiheutuvan säteilyannoksen perusteella. Laajimmat ja laadullisesti parhaiten toteutetut epidemiologiset radontutkimukset ovat usein kohdistettu kaivoksissa työskenteleviin miehiin. Radondosimetrian avulla syöpäriskin riskinarviota voidaan soveltaa myös muihin ihmisryhmiin ja toimintaympäristöihin. Eläinkokeet auttavat tutkimuksissa käytännön tasolla osoittamaan, millainen vaikutus esimerkiksi säteilyaltistuksen jaksottamisella on keuhkosyövän riskiin. Eläinkokeiden tulokset eivät kuitenkaan suoraan ole verrattavissa ihmiseen. (Weltner ym. s.a, 113.)

Tupakointi on kuitenkin suurin yksittäinen keuhkosityöpäriskeä aiheuttava tekijä ja Säteilyturvakeskuksen (STUK) raportin mukaan tupakoimattoman henkilön koko eliniän asuminen 3000-10 000 Bq/m<sup>3</sup> radonpitoisuudessa vastaa tupakoitsijan keuhkosityöpäriskeä. (Weltner ym. s.a, 119). Yleisesti säteilyaltistuminen huonontaa elimistön toimintakykyä, ja tämä näkyy esimerkiksi imusolujen tuhoutumisena, valkosolujen määrän vähenemisenä, sukupuolirauhasten perintötekijöiden muutoksina ja lisääntyneinä mutaatioiden määränä. Radonin hajoamistuotteiden ei ole havaittu aiheuttavan muita terveysvaikutuksia kuin keuhkosityöpää. (Tieteen kuvalehti 2016.)

STUK:n mukaan radonille altistumisen seurauksena n. 300 ihmistä sairastuu vuosittain keuhkosityöpään. Suurin riski sairastua on tupakoinnin yhdistäminen pitkäaikaiselle radonaltistukselle. Siksi tupakoitsijat myös hyötyvät radonkorjauksista ja vähäisestä radonaltistuksesta tupakoimattomia enemmän. Vantaan alueiden radonpitoisuudet ovat hieman keskitasoa korkeammat, sillä talvella 2014 kaupungin keskiarvo oli noin 185 Bq/m<sup>3</sup>. Korkeimpia lukemia Vantaalla STUK:n mukaan on mitattu Askistossa, Mikkolassa, Ylästössä ja Hakunilan suuralueella. Ympäristökeskuksen mukaan Vantaa ei kuitenkaan ole erityisen riskialtis alue radonpitoisuuksien osalta. (Vantaan Sanomat 2014.)

Vantaan kaupunki on aikaisemmin tehnyt radonmittaukset suurimpaan osaan kaupungin kouluista ja päiväkodeista. Näiden mittausten perusteella yli 200 Bq/m<sup>3</sup> lukemia on mitattu Kaivokselassa, Ylästössä, Myyrmäessä sekä Koivukylässä (kuva 3). Joissain tapauksissa mittaustulokset ovat ensimmäisessä mittauksessa saattaneet olla vielä korkeammat. Tällaisessa tapauksessa kohteeseen suoritetaan kuitenkin korjaustoimenpiteet, jotta pitoisuudet saadaan viitearvon alapuolelle. Vantaan kaupungin mitattavista päiväkodeista 55 % on tehty radonmittaukset viimeisen kymmenen vuoden aikana. Kouluissa vastaava luku on 69 %.



Kuva 3. Vantaan kaupungin kouluihin ja päiväkoteihin tekemiä radonmittaustuloksia Vantaalla suuralueittain. Tulokset ovat kerätty yksittäisistä kouluista kyseisillä alueilla.

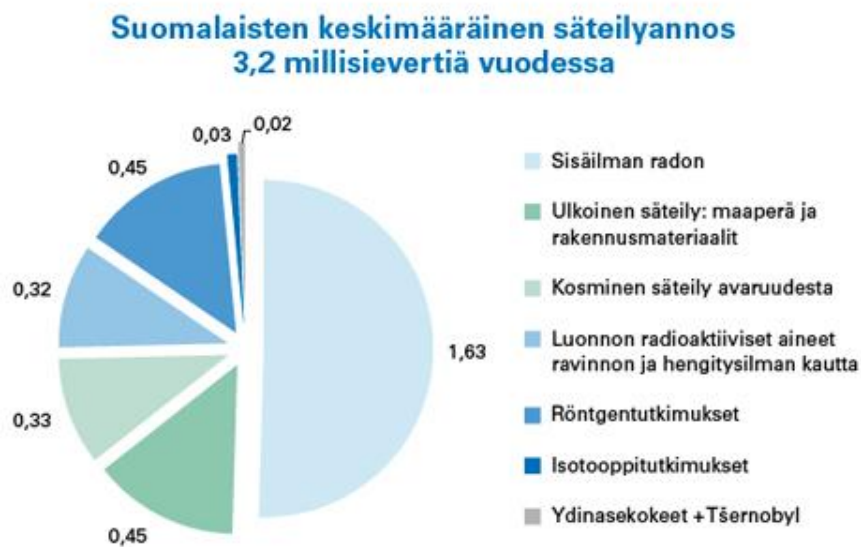
### 2.3 Efektiivinen annos ja hajoamistuotteet

Radonin efektiivisellä annoksella tarkoitetaan radonin ja sen hajoamistuotteiden kokonaiskuorman aiheuttamaa terveyshaittaa. Ihmisen keuhkoille aiheuttavasta efektiivisestä annoksesta suuri osa on alfasäteilyn hajoamistuotteita ja vain pieni osa (n. 2 %) radonkaasua. Muu elimistö keuhkojen lisäksi saa myös samansuuruisen annoksen radonia vereen liukenemalla. Beeta- ja gammasäteilyn osuus on olemattoman pieni, ja siksi niitä ei riskitekijänä tarvitse huomioida. (Weltner ym. s.a, 115.)

Radonin hajoamistuotteita on ilmassa joko aerosolihiukkasiin kiinnittyneessä tai kiinnittymättömässä muodossa, ja ne muodostavat yhdessä ilman höyryjen ja kaasujen kanssa erilaisia molekyyliyhdistelmiä. Molekyylit joko kiinnittyvät aerosolihiukkasiin diffuusion vaikutuksena tai vaihtoehtoisesti aerosolihiukkasen rekylyidin voi irrota alfahajoamisessa. Ilman hajoamistuotteiden ja radonin pitoisuuksiin vaikuttaa kaksi prosessia, jotka ovat kiinnittymättömien hajoamistuotteiden tartunta aerosolihiukkasiin ja aerosolihiukkasten siirtyminen pois ilmasta huonetilan pinnoille. Hiukkaspitoisuuden ollessa suuri hengitysilmassa on tällöin kiinnittymättömien hajoamistuotteiden osuus alhainen. Vastaavasti hiukkaspitoisuuden ollessa pieni kiinnittymättömien hajoamistuotteiden osuus on suurempi. Ilman hiukkaspitoisuuden kasvaessa tarttuvat myös

hajoamistuotteiden molekyylit aerosolihiukkasiin ja hajoamistuotteita kiinnittyvät enemmän ympäröiville pinnoille. (Weltner ym. s.a, 117.)

Kiinnittymättömät hajoamistuotteet tarttuvat sekä keuhkoputkistoon että huoneiden pinnoille kiinnittyneitä huomattavasti nopeammin, kun kiinnittyneet hajoamistuotteet pysyvät esimerkiksi huoneilmassa merkittävästi kiinnittymättömiä pidempään. Asuinympäristöissä radonpitoisuudet ovat useimmiten matalia, ja siksi siitä aiheutuvaa todellista keuhkosyöpäriskiä on hankala määrittellä verrattaessa esimerkiksi tupakointiin. (Weltner ym. s.a, 117.) Noin puolet suomalaisen saamasta säteilyannoksesta on peräisin sisäilman radonista kokonaisannoksen ollessa 3,2 mSv (kuva 4). Tästä vuosittain noin 30 prosenttia on luonnon taustasäteilyä ja terveydenhuollon säteilyn käyttöä 15 prosenttia. (STUK s.a.)



Kuva 4. Suomalaisten saamat vuosittaiset efektiiviset säteilyannokset millisievertinä (STUK s.a)

## 2.4 Torjunta

Radonin esiintymiseen huoneilmassa pystytään vaikuttamaan suuresti niin rakennusvaiheessa kuin myös myöhemmillä korjaustöillä. Uudiskohteita rakennettaessa huomioidaan uudiskohteille asetettu viitearvo  $200 \text{ Bq/m}^3$ , jota ei tule ylittää. (STUK 2016, 36.) Yleensä radonkorjaukset ovat melko pieniä toimenpiteitä, mutta haasteita korjauksienkin osalta voi syntyä. Jos radonpitoisuudet maaperässä ovat suuret, voi radonin kulkeutumista huonetiloihin olla jopa vaikea estää kokonaan. Torjunnan suunnittelussa on otettava huomioon muun

muassa seuraavat seikat: pitoisuudet tulee saada alle viitearvon; menetelmät ehkäisemisessä ovat kestävä ja toimivat luotettavasti rakennuksen elinkaari huomioiden; menetelmät ovat mahdollisimman hiljaisia ja huomaamattomia, kustannustehokkaita sekä helppoja asentaa ja ylläpitää. (Zeeb, & Shannoun 2009, 42.)

Olemassa olevien rakennusten radon torjuntatoimenpiteissä tulee arvioida etenkin, mitä kautta radonkaasu pääsee kulkeutumaan sisäilmaan ja sen perusteella toteuttaa korjaavat toimenpiteet (kuva 5). Suurin syy radonkaasun kulkeutumiselle huoneilmaan on usein paine-erot maaperän ja oleskelutilojen välillä, ja siksi sen ehkäisymenetelmät painottuvat yleensä paine-erojen tasaukseen. Torjuntatoimenpiteitä voivat olla esimerkiksi radonputkitus, maatason kanssa kosketuksissa olevien rakenteiden eristäminen, alapohjan tuuletus, aktiivisen tai passiivisen paineistusjärjestelmän asentaminen ja ilmanvaihdon tasapainotus. (Zeeb & Shannoun 2009, 43.)



Kuva 5. Radonin kulkeutumistavat (Weltner ym. s.a, 120)

### 2.4.1 Menetelmät

Pientalojen perustusratkaisuissa maanvarainen laatta on yleisin käytössä oleva. Peruspilareilla tai paaluilla perustetuissa rakennuksissa käytetään tyyppillisesti tuulettuvaa ryömintätilaa. Radonturvalliseen rakentamiseen liittyen on olemassa toimenpiteitä perustuksiin, joilla voidaan ehkäistä pitoisuuksia merkittävästi. Perustukset tulisi tehdä heti rakentamisvaiheessa tiiviiksi, jotta radonkaasu ei pääse tunkeutumaan rakenteiden kautta huoneilmaan. Alumiinibitumihuopaa voidaan myös asentaa perustusvaiheessa potentiaalisiin vuoto-kohtiin. Lisäksi lattialaatan alapuolelle salaojasoraan voidaan asentaa ilmavaa radonputkistoa, joka liitetään tuuletinjärjestelmään radonin poistamiseksi. (Ravea & Arvela 1997, 10.)

Maanvaraisen laatan taloissa radonin korjaustoimenpiteitä tehdään useimmiten perustusrakenteita tiivistämällä ja tekemällä rakennuspohjaan tuuletusjärjestelmiä. Yleensä tavoitteena on kuitenkin tiivistää rakenteet siten, että tuuletusjärjestelmää ei tarvitsisi hyödyntää radonin poistossa. Tuuletusjärjestelmässä radonpitoisuuksia vähennetään tuulettamalla salaojakerroksen huokosilmaa, alipaineistamalla rakennuspohja tai yhdistämällä nämä kaksi menetelmää. (Ravea & Arvela 1997, 10.)

Pohjan alipaineistamisessa ilmavirtausten suuntaa käännetään, jotta radonia ei pääsisi huoneilmaan. Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmään sisältyy siirtokanava, salaojakerroksen imukanava, poistopuhallin sekä poistohormi. Näistä rakennusvaiheessa asennetaan vain imu- ja siirtokanavat sekä tarvittaessa poistohormi. Tarkistusmittausten osoittaessa liian korkeita pitoisuuksia huoneilmassa asennetaan järjestelmään tarvittaessa puhallin tehostamaan painovoimaista menetelmää. (Ravea & Arvela 1997, 10.)

### Tiivistäminen

Alapohjarakenteissa tiivistämisellä pyritään ”ilmansulkuun”, jotta alapohjan ilmavirtaukset eivät pääsisi huoneilmaan, ja se kattaa koko rakennuksen pohjan alueen. Tiivistämisen kohteina ovat saumat perusmuurin ja betonilattian välillä, itse perusmuuri ja läpiviennit betonilattiassa. Betonilattian läpivientikoh-



tia syntyy esimerkiksi LVIS-asennuksista sekä takan ja kantavien seinien perustuksista. Rakennuksen ollessa kellarillinen ja harkoista muurattu tiivistämisessä tulee tehdä yksikerrosrappaus vähintään perusmuurin ulkopintaan, mutta suositeltavaa olisi suorittaa sama toimenpide myös muurin sisäpintaan. Betonilattian ja perusmuurin saumavaraukset tiivistetään joko kuumabitumilla tai saumausmassalla. Jos sokkeli läpäisee hyvin ilmaa, kuten harkkosokkeli, estetään pystysuuntaiset virtaukset asentamalla alumiinibitumihuopaa sokkelin yläpintaan. Samoin menetelmin voidaan tiivistää myös betonilattian läpiviennit. (Ravea & Arvela 1997, 10.)

### **Radonimuri**

Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmää toteutettaessa suunnitellaan imukanaviston (radonimuri) toteutusperiaate pohjan muotojen mukaan. Lisäksi valmistellaan kanaviston sijoittuminen alapohjassa, koko ja muut tarvittavat yksityiskohdat. Järjestelmän tärkein vaikutus on alipaineen synnyttäminen rakennuksen laatan alle, joka pienentää maaperän ilman kulkeutumista sisätiloihin. Imukanaviston järjestelmätyyppi voi olla joko rengasmallinen tai monihaarainen riippuen rakennuksen pituus-/leveysuhteesta. (Ravea & Arvela 1997, 10.)

Rakennuksen ollessa valmis ja normaalikäytössä suoritetaan huoneilmaan radonmittaukset. Tuuletusjärjestelmä otetaan käyttöön, jos tulos ylittää viitearvon  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Käyttöönotto tapahtuu valitsemalla ensin joko suurempi- tai pienempitehoinen puhallin rakennustyyppin mukaan ja asentamalla se imuputkiston poistohormiin. Seuraavaksi säädetään rakennuspohjasta imetyt ilmamäärän suuruus, jonka järjestelmä imee rakennusalustasta. Lopuksi suoritetaan radonpitoisuuksien tarkistusmittaukset tuuletusjärjestelmän riittävän tehokkuuden varmistamiseksi. (Ravea & Arvela 1997, 13.)

### **Radonkaivo**

Radonkaivo sijoitetaan talon ulkopuolelle, ja sen käyttö soveltuu parhaiten rakennuksiin, jotka sijaitsevat ilmavilla soramailla. Radonkaivon toiminta perustuu puhaltimeen, joka imee maaperän ilmaa puoleensa, mikä taas vähentää ylöspäin virtaavan ilman radonpitoisuutta. Kaivon toimintaan ja tehokkuuteen

vaikuttavat esimerkiksi syvyys, poistotuulettimen teho sekä maaperän huokoisuus ja rakenne. Olosuhteiden ollessa suotuisat radonkaivo vaikuttaa ympäröivässä maaperässä jopa 20-40 metrin alueella. Tiivis maalaji ei ole optimaalinen ympäristö radonkaivolle, koska imurin aiheuttava alipaine ei pääse laajenemaan tarpeeksi tällaisessa ympäristössä. (Weltner ym. s.a, 145.)

### **Ilmanvaihdon tehostus**

Ilmanvaihdon tehostamisella voidaan myös vaikuttaa huoneilman radonpitoisuuksiin riippuen siitä, kuinka tehokas ilmanvaihto asunnossa on jo valmiiksi ja kuinka suuria radonpitoisuuksia asunnossa on mitattu. Esimerkiksi jo yli 800 Bq/m<sup>3</sup> radonpitoisuudessa ilmanvaihdon tehostaminen ei yksinään ole riittävä toimenpide. Liian tehokas ilmanvaihto voi myös aiheuttaa vetoisuutta ja meluhaittoja sisätiloissa. Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän tehostaminen tapahtuu tuloilmaventtiilien lisäasennuksilla tai suurentamalla sekä tulo- että poistoilmaventtiilien aukkoja. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon talossa kellari voidaan eristää muista tiloista ja oleskelutilojen ilmavirrat tasapainotetaan, jotta asunto saadaan vähemmän alipaineiseksi. (Weltner ym. s.a, 148.)

## **2.5 Valvonta**

Radonpitoisuuksia mitataan työpaikoilta, asunnoista ja muista oleskelutiloista pitkäaikaisesti, vähintään kahden kuukauden ajan, luotettavan tuloksen saamiseksi. Mittaaminen on pitkäaikaista, koska pitoisuuksiin vaikuttaa niin monet eri tekijät, kuten esimerkiksi tuulen suunta, lämpötilaerot sisä- ja ulkoilman välillä, tuuletus ja ilmanvaihdon jaksotus. Muihin oleskelutiloihin käsitetään mm. kauppakeskukset, oppilaitokset, päiväkodit, museot ja kuntoilupaikat. Näiden ja jo rakennettujen asuntojen radonviitearvo on 300 Bq/m<sup>3</sup>. Kunnan terveys- ja suojeluviranomainen valvoo asuntojen ja muiden oleskelutilojen sisäilmanlaatua. Viranomaisella on myös oikeus viitearvon ylittyessä ja asukkaan pyytäessä määrätä toimenpiteitä pitoisuuksien pienentämiseksi asunto-osakeyhtiöiden tai vuokra-asuntojen osalta terveys- ja suojelulakiin vedoten. Jos muu oleskelutila on jonkin henkilön työpaikka, menee se työpaikkojen radonvalvonnan piiriin. (Turtiainen ym. 2019, 76.)

### 3 SÄTEILYLAIN MUUTOS 15.12.2018

Suomen uuden säteilylain (859/2018) perustana on Euroopan unionin säteily-suojeludirektiivi 2013/59/EURATOM. Direktiivillä pyritään vähentämään radonaltistusta työpaikoilla ja asunnoissa sekä edistetään tietoisuutta jäsenmaissa radonin haitallisuudesta paremmalla tiedottamisella. Muuttuneita tekijöitä ovat käsitteen sisäilman radonin toimenpidearvo korvaaminen käsitteellä viitearvo. Työpaikkojen, asuntojen ja muiden oleskelutilojen viitearvot eivät saa ylittää  $300 \text{ Bq/m}^3$ . Uudisrakenteisille asunnoille viitearvo on  $200 \text{ Bq/m}^3$ . Työtiloihin, joissa työskennellään enemmän kuin 600 h vuodessa, sovelletaan edellä mainittua  $300 \text{ Bq/m}^3$  viitearvoa. Radonin mittausjakso on myös aikaisempaa pidempi ja kestää nyt syyskuusta toukokuun loppuun. Jos työntekijä työskentelee vaihtuvissa olosuhteissa eri työtiloissa, sovelletaan radonaltistuksessa viitearvoa  $500\,000 \text{ Bq h/m}^3$ . Vaihtuvissa työolosuhteissa työajan ollessa lyhyt radonaltistuminen lasketaan kaikkien työskenneltävien tilojen altistumisten summana. Näin ollen pitoisuudet voivat tapauskohtaisesti ylittää viitearvon, jos tiloissa oleskellaan vähäisiä aikoja. (Turtiainen ym. 2019, 76.)

Käytännössä säteilylain muutos tarkoittaa entistä runsaampaa mittaustoimintaa, kun viitearvo on laskenut aikaisemmasta  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Uutena määräyksenä ovat myös integroivien mittauksien määrien lisääntyminen, sillä aikaisemmin mittauspurkeissa riitti 1 kpl/200  $\text{m}^2$ , kun nyt purkkeja tulee olla 1 kpl/100  $\text{m}^2$  ja jokaiselta alkavalta 200  $\text{m}^2$  1 kpl/200  $\text{m}^2$ . Poikkeuksena ovat hallimaiset tilat, joihin riittää yksi mittari 3000  $\text{m}^2$  kohti, ja yli 4000  $\text{m}^2$  oleskelutilat, joissa riittää vähintään 20 mittauspurkkia. Integroivilla mittauksilla tarkoitetaan niin kutsuttuja radonpurkkeja, jotka asetetaan mittauskohteeseen. Toisena mittausmenetelmänä voidaan käyttää henkilökohtaista, sähkötoimista altistusmittaria. Hyvin tuulettuvan alapohjan rakennuksissa mittauksia ei tarvitse suorittaa, ja huonetiloissa mittaukset tulisi tehdä jokaisen erillisen ilmanvaihtokoneen piirissä olevista tiloista. (Turtiainen ym. 2019, 76.)

Säteilylain muutoksen seurauksena suositellun radonin mittauskauden ajankohta on muuttunut marras-huhtikuusta syys-toukokuuhun. Suositeltu mittauksen kesto tällä aikavälillä on kolme kuukautta, mutta kuitenkin vähintään kaksi kuukautta. Ennen säteilylain uudistusta radonpitoisuuden vuosittainen keskiarvo laskettiin kertomalla mittaustulos mitatulta aikaväliltä arvolla 0,83; kun

nyt mittauskaudelta saatu arvo kerrotaan luvulla 0,9. Nämä ovat radonmittausten ns. korjauskertoimet. (Turtiainen ym. 2019, 76.)

### 3.1 Radon työpaikoilla

Työnantajaa velvoittavat radonmittaukset tulee tehdä, jos perustellusti on oletettavissa, että radonpitoisuus työtiloissa ylittää viitearvon. Mittaukset tulee tehdä myös sellaisten alueiden työpaikkoihin, jotka ovat rakennettu huokoiselle maaperälle ja lisäksi kohteisiin, joiden aikaisemmin mitattu radonpitoisuuden vuosikeskiarvo on ainakin 10 % suurempi kuin uusi viitearvo. Koska radonpitoisuuksissa on alueesta riippuen huomattavia eroja, pakollisuus kunnissa radonmittauksiin vaihtelee postinumeroalueittain. Mittaukset on tarpeellista tehdä ensimmäisissä kerroksissa sijaitseviin työtiloihin, mutta niitä ei edellytetä esimerkiksi sellaisessa tilassa, jossa lattian ja maan välinen tila tuulettaa hyvin, eivätkä lattia ja seinä kosketa maatasoa. (STUK 2018.)

Ennen säteilylain uudistusta mittaukset isossa työpaikkarakennuksessa saatettiin Turtiaisen ym. (2019, 76) mukaan ottaa vain yhdestä kohdasta, joka ei välttämättä ollut edes varsinainen työskentelytila. Tällaisella mittauksella ei todennäköisesti saada luotettavaa tietoa työntekijöihin kohdistuvasta altistumisriskistä, koska isoissa työpaikkarakennuksissa radonpitoisuudet voivat paikallisestikin vaihdella huomattavasti. Mittaustulosten ylittäessä viitearvon voidaan mittauksia jatkaa vähintään viikon kestäville jatkuvatoimisilla mittauksilla. Näitä mittauksia voidaan toteuttaa työpaikoilla, joissa käytetään jaksotettua ilmanvaihtoa. Jatkuvatoiminen mittaus rekisteröi tuloksia vähintään kerran tunnissa, ja niistä lasketaan työviikon työskentelyaikaisten tuntien pitoisuuksien ja yhden viikon pitoisuuksien suhde. Radonin vuosikeskiarvo lasketaan kertomalla suhdeluku ja korjauskerroin aiemmin määritellyllä pitkäaikaisen integroivan mittauksen keskiarvolla. (Turtiainen ym. 2019, 76.)

Kaikissa työpaikoissa ei ole mahdollista radonkorjauksillakaan alittaa viitearvoa. Näitä työpaikkoja voivat olla esimerkiksi suuret tunneliverkot, joissa radonkorjaustyöt kävisivät hyvin hankaliksi ja kalliiksi. Tällaisissa tapauksissa työnantajan tulee määrittää työntekijän säteilyaltistumismäärä useammin, ja näiden työpaikkojen työntekijät rinnastuvat myös säteilytyöntekijöihin. Vastavissa tapauksissa työpaikka määrittää myös omat rutiinit säteilysuojeluun,

jossa hankitaan tietoa asiantuntijalta mm. säteilyltä suojautumisen suunnittelussa ja toteutuksessa. Vastaavissa tapauksissa säteilysuojelun toteutumisesta vastaa erikseen työpaikalla nimetty henkilö. (Turtiainen ym. 2019, 77.)

STUK:n toimesta työpaikkoja pyritään tiedottamaan pakollisista radonmittauksista, jotta erillisiä määräyksiä ei tarvitsisi erikseen antaa. STUK pyrkii myös helpottamaan työnantajien radonmittauksien ilmoittamista kehittämällä digitaalista asiointipalvelua, joka auttaa työnantajia radoniin liittyvissä asioissa. Lisäksi STUK valvoo valvontaiskuillaan niin pitkään niiden työpaikkojen radonalistumista, joissa on havaittu korkeampia pitoisuuksia kuin viitearvo. Valvontaa toteutetaan pitoisuuksien saamiseksi turvalliselle tasolle työntekijöiden kannalta. (Turtiainen ym. 2019, 77.)

### **3.2 Työnantajan vastuut**

Työnantajalla on oma vastuunsa työntekijänsä työsuojelussa. Työturvallisuuslain (23.8.2002/738) mukaan työnantaja on vastuussa työntekijän turvallisuudesta ja terveydestä työpaikalla. Työturvallisuuslain 39 §:n mukaan työntekijän altistuminen säteilylle on rajoitettava niin vähäiseksi, ettei siitä aiheudu vaaraa tai haittaa työntekijän turvallisuudelle, terveydelle tai lisääntymisterveydelle. Työnantajan kannalta radonkaasun terveysvaikutuksiin keskittyttäessä keskeistä on uuden säteilylain tulkinta, joka velvoittaa tietyiltä osin entistä säteilylakia enemmän kartoittamaan radonpitoisuuksia työpaikalla mm. tiukemman pitoisuusrajan osalta. Työnantaja selvittää radonpitoisuudet työpaikalla, jos työpaikka sijaitsee radonmittausvelvoitealueella ja jos tarkasteltava työtila sijaitsee maanalaisessa tai maanvastaisessa ensimmäisessä kerroksessa. (STUK s.a.)

### **3.3 Mittaaminen**

Viranomaisvalvonnan yhteydessä toteutettavien mittausten tulee aina olla STUK:n hyväksymiä. Mittaustapojen testausselostoiden tulee täyttää ISO-standardien kriteerit, ja mittauspisteiden tarkat sijainnit tulee olla eriteltyinä. Jatkuvatoimisen mittauksen testausselostuksessa tulee lisäksi olla tulokset, joiden avulla suhdeluku voidaan laskea. STUK on antanut määräyksen säteilymittausten hyväksymiskriteereistä (S/6/2018). (Turtiainen ym. 2019, 77.)

Radonmittausmenetelmän valintaan vaikuttaa laitteiston hinta, mittausolosuhteet, laitteiden saatavuus ja se, kuinka tarkkaa tietoa mittauksella halutaan saada. Mittalaitteilla on erilaisia herkkyystasoja, ja useimmiten laite on kalliimpi, jos sillä on suurempi herkkyys. Herkällä laitteella lyhytaikaisempi mittaus riittää, kun epätarkalla mittauksen keston tulee olla pidempi luotettavan tuloksen saamiseksi. Pitkissä integroivissa mittauksissa herkkyys ei välttämättä tarvitse olla suuri, koska mittauksen pituus kompensoi mittalaitteen herkkyyttä. (Turtiainen s.a.)

Radonia mitattaessa voidaan käyttää integroivia (passiivisia), jatkuvatoimisia (aktiivisia) tai hetkellisiä mittauksia. Jatkuvatoimiset ja hetkelliset mittaukset ovat kestoaltaan lyhyemmät kuin integroivat mittaukset. Niitä käytetäänkin usein vain radonkorjausten ohella, valittaessa korjaustoimenpiteitä ja arvioi-  
dessa niiden vaikutusta radonpitoisuuksiin. Luotettavimman tuloksen saamiseksi tiloihin tehdään ensin normaali, pitkäkestoinen integroiva radonmittaus, jonka jälkeen toteutetaan tarvittavat korjaustoimenpiteet, jos tarpeen. Tämän jälkeen suoritetaan edellä mainittuja lyhytkestoisia mittauksia, ja lopuksi tehdään vähintään kaksi kuukautta kestävä tarkistusmittaus. (STUK s.a.)

Monilla jatkuvatoimisilla mittareilla voidaan määrittää pitoisuuksien keskiarvo 48 tunnilta, jolloin saadaan suuntaa antavaa tietoa radonkorjausten riittävydestä. Korjausten tulos on kuitenkin lopuksi tarkistettava pitkäaikaisella mittauksella. Itse mittaus tehdään tyypilliseltä hengityskorkeudelta, eli n. 1–2 metrin korkeudelta lattiatasosta ja vähintään 25 cm päästä seinistä. Mittari tulee olla myös riittävän kaukana ovista, ikkunoista ja ilmaventtiileistä, jotta mittausolosuhteet olisivat mahdollisimman samankaltaiset kuin normaaliolosuhteet. (STUK s.a.)

### **3.3.1 Integroiva mittaus**

Passiivinen integroiva mittaus (radonpurkki) on halpa, luotettava ja pitkäkestoinen menetelmä. Sen edullisuuden ansiosta mittauksia voidaan toteuttaa samaan aikaan monia, esimerkiksi suuremman rakennuksen tiloissa (kuva 6). Se on myös hyvä tapa mitata radonpitoisuudet kodeissa ja työpaikoilla sekä selvitetessä henkilökohtaista altistumista. Mittaukset suoritetaan tiloihin, joissa oleskellaan eniten, jotta arvio radonaltistuksesta olisi mahdollisimman

tarkka. Yleensä kodeissa nämä tilat ovat makuu- ja olohuone. Työpaikalla vastaavasti tilanne katsotaan tapauskohtaisesti, eli suuriin toimistorakennuksiin valitaan radonpurkkien määrä maanvastaisten kerrosten neliöiden perusteella. Henkilökohtaista altistumista tulee mitata sellaisissa työolosuhteissa, joissa varsinaisia radonkorjauksia ei voida tehdä. Tällainen olosuhde voi olla esimerkiksi tunneliverkostossa työskentely. (Turtiainen s.a.)

Integroivan mittarin näytteenottimessa on radonille herkkä filmi, joka ilmaisee radonsäteilyn suuruutta. Filmi kerää huoneilmasta säteilyjälkiä, ja mitä pidempään sen annetaan mitata, sitä enemmän se myös tallentaa kyseisiä jälkiä. Tulos määritetään jälkien määrän ja mittauksen keston perusteella, ja lopullinen tulos on radonpitoisuuden keskiarvo mittaushetkellä. (Turtiainen s.a.) Integroivat muoviset mittauspurkit ovat pieniä, erityisvalmistettuja purkkeja, joiden sisään on suljettu suodattimella peitetty diffuusiokammio. (Zeeb & Shannoun 2009, 23).



Kuva 6. Yleisimmin käytetty radonmittauspurkki (Turtiainen s.a)

### 3.3.2 Jatkuva-toiminen mittaus

Jatkuva-toiminen radonmittaus on tarpeen tutkittaessa esimerkiksi työpaikan pitoisuuksia tietyllä aikavälillä, tutkittaessa radonpitoisuuksien vaihtelua jaksoitetussa ilmanvaihdossa, tarkastellessa radonkorjausten onnistumista tai selvittäessä radonimurin tehokkuutta (Turtiainen s.a). Jatkuva-toimisten radonmittarien osalta markkinoilla on useita, kaupallisesti myytäviä vaihtoehtoja, joiden sensoritekniikka vaihtelee tuotteen mukaan. Yleensä laitteet keräävät ilmaa analyysiin joko pumpun avulla tai antamalla ilman diffusoitua anturikammioon. (Zeeb & Shannoun 2009, 23.)

Kaikista jatkuvatoimisista mittareista (kuva 7) saa yhteenvedon mittaustuloksista, ja yleensä ne myös sisältävät jaksotetun tallennuksen, minkä avulla saadaan laskettua radonpitoisuus eri aikoina. Eri laitteilla on kuitenkin omat puolensa. Toiset laitteet voivat mitata jotain tiettyä radonin isotooppia, toisella taas pystytään esimerkiksi eliminoimaan herkkyys ilmankosteudelle kuivaamalla tuuloilma mittauksen yhteydessä. Mittauslaitteille pienin havaittava konsentraatio on tyypillisesti  $5 \text{ Bq/m}^3$  ja näytteenottoväli 10 min–60 min. (Zeeb & Shannoun 2009, 24.) Paremmilla mittareilla pystytään samanaikaisesti mittaamaan esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuksia sekä lämpötilaa ja ilmankosteutta. Näiden mittareiden haittapuolena on kuitenkin kallis hinta ja tulosten tulkintaan tarvittava aika. (Turtiainen s.a.)



Kuva 7. Jatkuvatoiminen radonmittari (Bertin-instruments 2016)

### 3.3.3 Hetkellinen mittaus

Hetkellinen radonmittaus toteutetaan ottamalla halutusta tilasta ilmanäyte, jonka pitoisuus mitataan jo paikan päällä tai erikseen laboratoriossa. Menetelmää käytetään tutkittaessa rakennuksen alapohjan läpivientien vuotokohtia, kun epäillään pitoisuuksien olevan suuret tai jos altistus on lyhytkestoista ja mittaustulos tarvitaan mahdollisimman nopeasti. Tarve hetkelliselle radonmittaukselle voi tulla myös, jos mittalaitteita ei erikseen voida jättää tutkimuskohteeseen. (Turtiainen s.a.)

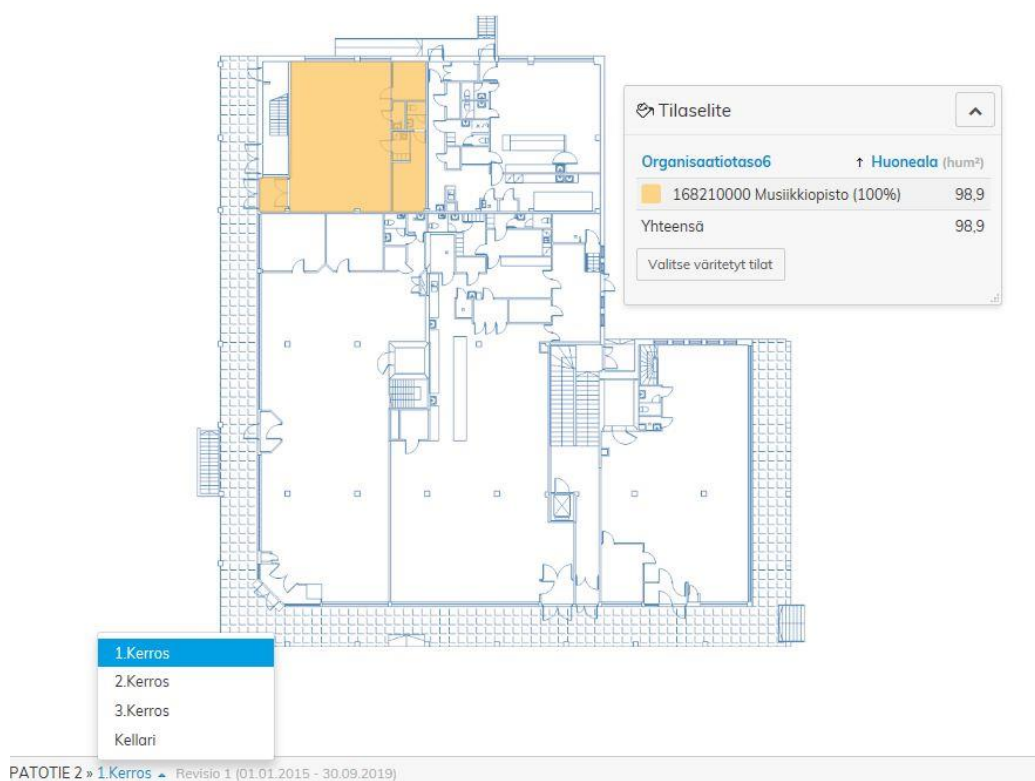
## 4 AINEISTOT JA MENETELMÄT

Vantaan kaupungilla on käytössään vuokrattuja tiloja, osakeomistustiloja sekä omistustiloja. Radonmittaustarpeen kartoitusta kaupungin käytössä oleviin kiinteistöihin toteutettiin yhteistyössä kaupungin tilahallinnan toimihenkilöiden kanssa. Kartoitus tuli saada tehtyä kesän 2019 aikana, koska mittaustoiminta alkaa mittauskauden alusta syyskuussa. Oletuksena oli, että vuokra- ja osake-



tiloja hallinnoivat henkilöt olisivat kesälomalla kesä-/heinäkuun aikana. Kyseisiin henkilöihin ei välttämättä olisi saatu yhteyttä, mikäli tilojen käytöstä olisi tarvittu lisätietoja. Tästä johtuen työntekijöiden käyttämien tilojen mittaustarpeen kartoitus aloitettiin toukokuun 2019 aikana vuokra- ja osaketiloista. Myöhemmin kesällä selvitettiin omien tilojen käyttö.

Kohteiden radonkartoitusta suoritettiin kysely- ja toimintatutkimusmenetelmin. Pääasiassa tietoa tilojen käytöstä kerättiin kaupungin tilakeskuksella työskenteleviltä alueisännöitsijöiltä, jotka ovat päivittäin tekemisissä kiinteistöjen kanssa. Muita henkilöitä, joilta eri tilojen käyttöä ja maanvastaisuutta tiedusteltiin, olivat kiinteistöjen omat isännöitsijät ja huoltomiehet. Kohdekohtaisen harkinnan jälkeen jokaiseen kohteeseen päätettiin erikseen, onko kyseiseen kohteeseen järkevää tai tarpeellista tehdä radonmittaukset. Tilojen käytön tarkastelussa ja maanvastaisten kerrosten neliöiden laskemisessa käytettiin Vantaan kaupungin omaa tilankäytön, talouden ja ympäristövaikutusten hallinnan järjestelmää (Optimize moment, kuvat 8 ja 9) sekä Vantaan kaupungin rakennusvalvonnan piirustuksia. Järjestelmän tietojen perusteella pystyttiin päättämään, mitkä kiinteistön maanvastaista tiloista ovat kaupungin työntekijöiden käytössä. Järjestelmästä pystyttiin myös suoraan näkemään eri kerrosten ja tilojen suuruudet neliömetreinä.



Kuva 8. Optimize moment -järjestelmän esimerkki pohjapiirros kaupungin tiloista



VANTAAN KIRJASTOTALO » Pohjakerros Revisio 3 (01.07.2019 - )

Kuva 9. Optimize moment -järjestelmän esimerkki pohjapiirros kaupungin tiloista

Vantaan kaupungin käytössä olevat tilat ovat yleisesti kouluja, päiväkoteja, sosiaali- ja terveystilavien tiloja, urheilupaikkoja, virastotaloja, toimistotiloja, esittelytiloja, asuinrakennuksia ja kierrätyskeskuksia. Tuloksissa on esitetty mitattavien rakennusten määrät, tarvittavat purkkimäärät kohderyhmittäin sekä osoitettu ensimmäisenä mitattavien kohteiden lukumäärät. Lisäksi taulukon muodossa on listattuna mitattavia kouluja, päiväkoteja, sosiaali- ja terveystalorakennuksia sekä muita merkittäviä kohteita Vantaalla.

#### 4.1 Vantaan kaupungin aiempi mittauskäytäntö

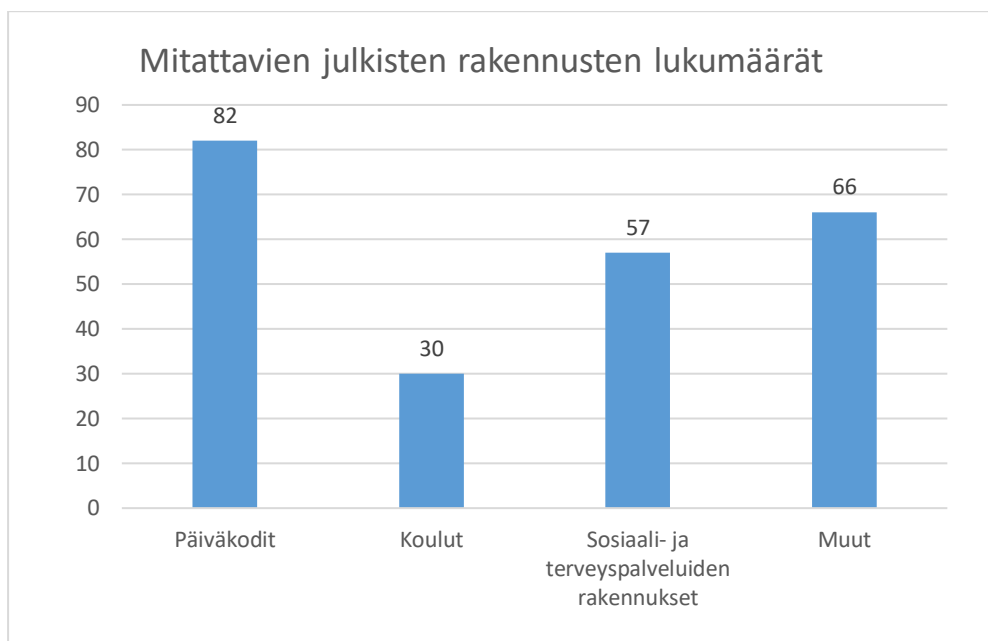
Vantaan aiemmassa radonmittaus käytännössä on suunniteltu kausittaiset mittauskohteet ja toteutettu mittaukset listauksen pohjalta. Esimerkiksi kevään 2018 listauksessa päiväkoteja ja kouluja oli yhteensä 23 kappaletta. Mitattaviksi kohteiksi valittiin ensisijaisesti sellaiset kohteet, joissa ei ole tehty aikaisempia mittauksia. Mukaan otettiin myös muutamia sellaisia kohteita, joissa radonmittauksia on tehty yli 10 vuotta sitten, tai kiinteistöön on tehty laajennus- tai alapohjan korjauksia viimeisimmän mittauksen jälkeen. Muutamaan kiinteistöön tehtiin myös uusintamittaus perustuen edellisvuoden mittauksilok-

siin. Mittauspisteisiin, eli huone-/luokkatiloihin, jätettiin myös tiedotteita käynnissä olevista radonmittauksista. Lisäksi tiedotteita jätettiin kiinteistöihin, joissa informoitiin, missä tiloissa mittaukset ovat käynnissä.

Tulevan kauden radonmittaukset tullaan todennäköisesti toteuttamaan edellä mainitun periaatteen mukaisesti. Vantaan kaupunki on aiemmin mitannut radonpitoisuuksia runsaasti kouluista ja päiväkodeista, joille on tarvittaessa tehty tarvittavat jatkotoimenpiteet (liite 2). Pääsääntöisesti mittaustulokset ovat ympäri kaupungin olleet kuitenkin viitearvon alapuolella, eivätkä vaadi jatkotoimenpiteitä.

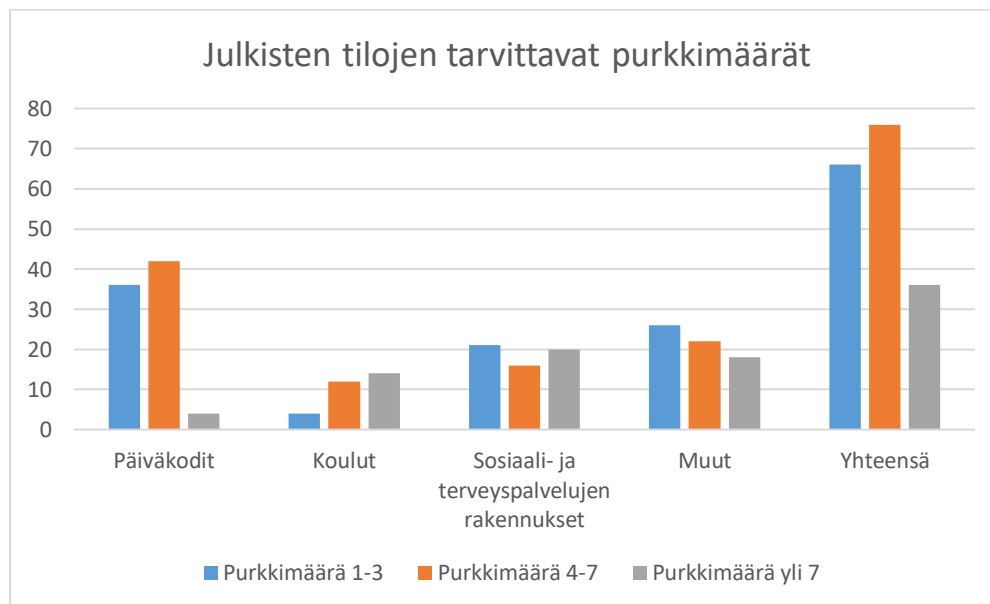
## **5 TULOKSET**

Vantaan kaupungin julkiset rakennukset jaettiin päiväkotien ja koulurakennusten lisäksi sosiaali- ja terveyspalvelujen rakennuksiin sekä muihin kohteisiin. Sosiaali- ja terveyspalvelualan rakennusten määrä on suuri suhteessa muihin (esim. urheilupaikka rakennukset) yksittäisiin kohderyhmiin, ja siksi sitä tarkastellaan omana ryhmänään. Suurin osa Vantaan kaupungin rakennuksista, joihin radonmittaukset tulee tehdä, ovat päiväkoteja ja kouluja (kuva 10). Niiden osuus kaikista mitattavista kohteista on 48 %. Sosiaali- ja terveyspalveluiden rakennusten osuus on puolestaan 24 %. Muut kohteet ovat pieniä ryhmäperhepäiväkoteja, urheiluhalleja, urheilupaikka rakennuksia, järjestötiloja, yksittäisiä toimistorakennuksia ja pienempiä nuorisotiloja. Näiden osuus on yhteensä loput 28 %.



Kuva 10. Suurin osa mitattavista rakennuksista Vantaalla on päiväkoteja ja kouluja

Purkkimäärien tarve kohteissa vaihtelee maanvastaisten tilojen neliöiden perusteella. Kuvassa 11 on havainnollistettu, kuinka paljon kunkin kohderyhmän rakennuksissa suurin piirtein tarvitaan radonmittauspurkkeja.

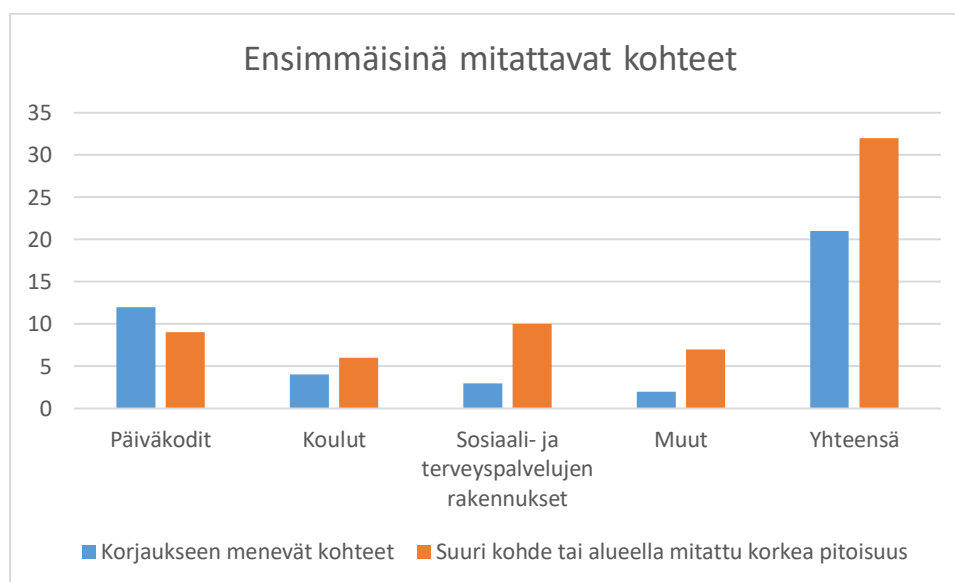


Kuva 11. Mittauspurkit päiväkodeissa, kouluissa, sosiaali- ja terveyspalveluiden rakennuksissa sekä muissa kohteissa

Kohteet jaettiin vielä mittausjärjestykseen kahden kriteerin perusteella (kuva 12). Ensimmäisenä tarkasteltiin, onko kohde menossa lähivuosien aikana korjaukseen. Mahdollisia lähitulevaisuuteen suunniteltuja korjaustöitä ovat osakorjaus, peruskorjaus ja sisäilmakorjaus. Jos kohteeseen oli suunniteltu tehtä-

väksi jokin edellä mainituista, osoitettiin sinne tehtäväksi mittaukset ensimmäisten joukossa. Jos mittauksissa havaitaan korkeita radonpitoisuuksia, voidaan suunnitellun korjauksen yhteydessä toteuttaa korjaustoimenpiteet myös radonin ehkäisemiseksi.

Toisena kriteerinä mittauksen kiireellisyydessä on kaksi tekijää. Nämä ovat suuri kohde tai alueella aikaisemmin mitattu korkea radonpitoisuus (liite 1). Nämä valittiin, koska suuressa kohteessa on todennäköisesti paljon henkilöstöä, jolloin yhdellä mittauksella saadaan selville mahdollisimman monen henkilön altistumista. Suuren pitoisuuden alueella radonaltistuminen voi olla myös runsaampaa, vaikka alueelliset vaihtelut pitoisuuksissa ovat myös yleisiä.



Kuva 12. Ensimmäisinä mitattavien rakennusten lukumäärät

Vantaalla sijaitsee runsaasti kohteita, joihin tulee tehdä radonmittaukset (taulukko 1). Taulukossa 1 on esitetty vain pieni osa mitattavista kohteista. Liitteissä 2 ja 3 on kattavammat listaukset jo mitatuista ja tulevaisuudessa mitattavista rakennuksista.

Taulukko 1. Esimerkkejä Vantaan mitattavista kohteista

<b>Kohde</b>	<b>Alue</b>	<b>Pinta-ala yht. (m<sup>2</sup>) maanvas- taiset ker- rok- set=kel- lari &amp; 1.krs.</b>	<b>Mit- taus- purk- kien määrä</b>	<b>Korjaus- kohde (x)</b>	<b>Suuri kohde, tai alueella on aikaisem- min mitattu korkeita pi- toisuuksia (x)</b>
Aisakellon päiväkoti	Haku- nila	265	2		
Aurinkokiven päiväkoti	Kivistö	4405	20		x
Dickursby skola	Tikku- rila	2400	14		
Hansin päivä- koti	Koivu- kylä	911	6		x
Havukosken koulu	Koivu- kylä	2082	12		x
Havukosken nuorisotalo	Havu- koski	594	4	x	
Hiekkaharjun päiväkoti	Hiekkaharju	925	6	x	
Jokiniemen koulu	Tikku- rila	1786	10	x	
Koivukylän palvelutalo	Koivu- kylä	2100	12		x
Myyrmäen sos.- ja terv. asema	Myyr- mäki	2692	15		x
Vantaan kir- jastotalo	Tikku- rila	2542	14		x

## 5.1 Tulosten tarkastelu

Kouluja on paljon erikokoisia, ja siksi myös radonpurkkien määrä niissä vaihtelee useammin. Päiväkodit puolestaan mitataan kokonsa takia useimmiten 1–6 mittauspurkillä. Mittauspurkkien määrien arvioinnissa on noudatettu STUK:n antamaa määräystä purkkien lukumäärästä. STUK:n mukaan isot kohteet (yli 4000 m<sup>2</sup>) tulee mitata vähintään 20 mittauspurkillä, ja siitä yli menevissä määrissä voidaan käyttää omaa harkintaa (Liite 4). Yli 4000 m<sup>2</sup> kohteissa ei siis tarvitse neliölleen noudattaa STUK:n laatimaa ohjeistusta. Näitä mitattavia kohteita, joissa maanvastaiset tilat ylittivät 4000 m<sup>2</sup>, oli yhteensä kuusi kappaletta.

Mittausjärjestystä suunniteltiin kohteiden paljouden vuoksi, ja tässä oli tärkeää päättää, millä perusteella valitaan nopeimmin mitattavat kohteet. Selkeää ohjeistusta tähän ei viranomaistahoilta ole, joten kriteerit päätettiin yhdessä kaupungin tilahallinnan toimihenkilöiden kanssa. Tuloksista on kohteiden paljouden vuoksi jätetty pois pienimmät ja radonmittausten kannalta vähiten kiireellimmät päiväkodit, koulut, sosiaali- ja terveysasemat sekä muut kohteet.

Radonmittausten siirtymäväli on 10 vuotta, jolloin mittaus tulee STUK:n mukaan uusiksi. Päiväkotirakennuksia oli yhteensä 182, jonka lisäksi oli vielä yksittäisiä lisärakennuksia. 82 päiväkotirakennukseen osoitettiin tehtäväksi radonmittaukset. Tämä johtui siitä, että suureen osaan päiväkodeista on jo tehty mittaukset viimeisen kymmenen vuoden aikana. Osa kaupungin päiväkodeista on myös jo aikaisemmin purettu tai ei ole enää käytössä. 82 mitattavasta päiväkodista mittaukset on puolestaan jo tehty 39 päiväkotiin, vuosien 2000–2010 aikana. Näissäkin suuntaa antava radonpitoisuus on siis jo tiedossa, mutta kymmenen vuoden uusintamittaussyklin mukaan näihin rakennuksiin mittaukset tulee uusiksi. Mittaukset tulee uusiksi kymmenen vuoden välein, koska rakenteiden tiiveys heikkenee vuosien saatossa ja esimerkiksi ilmanvaihdon tehokkuus saattaa muuttua.

Kartoitettavia koulurakennuksia lisärakennuksineen oli puolestaan yhteensä 106 kappaletta, joista 30 osoitettiin tehtäväksi radonmittaukset. Näistä neljäntoista oli tehty mittaukset vuosien 2000–2010 aikana. Niin kuin päiväkoteihin, on myös isoon osaan kouluista (69 %) tehty radonmittaukset viimeisen

kymmenen vuoden aikana. Osa kouluista ollaan purettu, ja osa tiloista muutetaan tai on jo muutettu eri käyttötarkoitukseen. Liitteessä 2 on eriteltyä kouluja ja päiväkoteja, joissa mittauksen perusteella on havaittu korkeita radonpitoisuuksia. Taulukossa on eriteltyä myös rakennuksiin tehdyt korjaustoimenpiteet radonpitoisuuksien saamiseksi viitearvon alapuolelle.

Sosiaali- ja terveyshuollon kohteita tarkasteltavana oli yhteensä 81 kappaletta, joista 57 osoitettiin tehtäväksi mittaukset. Kohteet, joihin radonmittauksia ei tehdä, ovat kaupungin toimesta myynnissä olevia kohteita, eivät sijaitse maanvastaisissa kerroksissa tai ne ovat jo aikaisemmin purettu.

Tuloksissa ei ole huomioitu varsinkin koulujen yhteydessä usein olevia lisärakennuksia, jotka yleensä ovat neuvoloita, hammashoitoloita tai voimistelu-saleja. Niissä oleskelevien henkilömäärien työntekijöiden osalta on katsottu olevan suhteellisen pieni, mutta ne tullaan kuitenkin kaupungin toimesta mittaamaan suurimmaksi osin, jos ne ovat koulun aktiivisessa käytössä. Muita Vantaan kaupungin kohteita, joihin radonmittaukset tehdään ja jotka eivät ole kirjattuna tuloksiin, ovat pienet ryhmäperhepäiväkodit, urheiluhallit, urheilupaikka rakennukset, järjestötilat, yksittäiset toimistorakennukset ja pienemmät nuorisotilat. Mittauksia ei kuitenkaan tehdä esimerkiksi sellaisiin tiloihin, joissa työtä tehdään ihmisten kodeissa, kuten esimerkiksi vanhusten/vammaisten asuntoloissa.

## **6 JOHTOPÄÄTÖKSET**

Verrattaessa Vantaan kaupungin kouluihin ja päiväkoteihin tehtyjä radonmittauksia STUK:n pientaloihin tekemiin radonmittauksiin voidaan todeta, että paikallista vaihtelua radonpitoisuuksissa esiintyy Vantaalla runsaasti. Suurien pitoisuuksien alueita ei siis voida suoraan erottaa pienempien pitoisuuksien alueista paria poikkeusaluetta lukuun ottamatta. STUK on esimerkiksi mitannut Ylästön alueella pientaloissa korkeita pitoisuuksia, ja samoin Vantaan kaupungin aikaisemmin kouluihin ja päiväkoteihin tehdyissä mittauksissa Ylästöstä on löytynyt muita alueita korkeampia pitoisuuksia. Sama tilanne on myös Koivukylässä. Toisaalta esimerkiksi Kivistössä sijaitsevasta Kanniston koulusta on mitattu muihin kouluihin ja päiväkoteihin verrattuna korkea lukema



470 Bq/m<sup>3</sup>, mutta STUK:n vastaava keskiarvo Kivistön pientaloista on alhainen 160 Bq/m<sup>3</sup>. Radonpitoisuuksien paikallinen vaihtelu on myös osoitus siitä, miksi työpaikkarakennuksissa pitoisuuksia tulee mitata pientenkin alueiden sisällä.

Taustaselvitys mitattavista kohteista on iso osa suuren kaupungin radonmittausprosessia, jossa kohteita on suuri määrä. Ison kaupungin kiinteistökantha on valtava, ja siksi suunnitelma mitattavista kohteista on työnantajalle hyödyllinen. Mitattavien kohteiden jako prioriteettijärjestykseen auttaa myös mittaus-ten jaksotuksessa.

Mittausuunnittelun avulla tieto radonpitoisuuksista kymmenen vuoden mit-  
taussykli huomioiden pysyy järkevänä. Samalla tiedostetaan korjaukseen me-  
nevät kohteet, todennäköisesti suurten radonpitoisuuksien alueet sekä tule-  
vien kausien aikana mitattavat kohteet. Koska kohteita on paljon ja mittaukset  
tulee uusia kymmenen vuoden välein, on tärkeä noudattaa konkreettista mit-  
taussuunnitelmaa ja näin suorittaa mittauksia kootusti mittauskausien aikana.  
Ilman selkeää suunnitelmaa pitkän aikavälin radonmittaaminen olisi todennä-  
köisesti epäsäännöllistä ja mittausaikavälin tavoitteessa olisi hankala pysyä.

## **7 POHDINTA**

Pitkäaikainen altistuminen korkeille radonpitoisuuksille on merkittävä terveys-  
riski, siinä missä muutkin sisäilman terveellisyyteen vaikuttavat tekijät. Radon-  
pitoisuuksien haitallisuus ei ole yksiselitteistä, ja terveysriskin tarkkaa arvioin-  
tia on hankala toteuttaa, koska eri ihmisten elimistöt reagoivat säteilylle eri ta-  
voin. Vertailua voitaisiin tehdä enemmän esimerkiksi niin ikään keuhkosityöpää  
aiheuttavaan asbestikuituun, joka yleisesti tuntuu olevan enemmän pelätty ter-  
veysriski. Radonia ei terveysriskinä välttämättä oteta aina riittävän vakavasti  
sen havaitsemattomuuden takia, varsinkin silloin kun sen terveyshaittaa ei  
kunnolla tiedetä. Tupakoivan ihmisen on syytä tiedostaa, että tupakansavun,  
radonin ja asbestin yhteisvaikutus on haitallisinta ja yhdessä muodostaa suu-  
rimman riskin sairastua keuhkosityöpään.

Säteilylain muutoksessa mainittu mittausajankohdan vaihtuminen marras-huhtikuusta syys-toukokuulle laajentaa radonin mittausmahdollisuuksia. Se saattaa kuitenkin myös vaikuttaa radonmittausten tulosten luotettavuuteen esimerkiksi silloin, jos sisätiloja tuuletetaan mittauksen aikana säännöllisesti ja mitaus kestää vain vähimmäissuosituksen verran, eli kaksi kuukautta esimerkiksi syys-lokakuun aikana. Radonmittauksen luotettavuuden parantamiseksi mitauspurkkien sijoittelussa tulee huomioida myös ilmanvaihtokoneiden sijainnit, jos niitä on useampia. Jokaisen ilmanvaihtolaitteen piirissä tulisi olla oma mitauspurkkinsa huonetilan koosta riippuen.

Luotettavuuteen voi vaikuttaa myös ilmanvaihdon säädöt, sillä säätöarvot ja ilmanvaihtokoneiden toiminta eivät välttämättä ole aina jatkuvasti vakiot. Ilmanvaihtokoneiden toimintaa voidaan vähentää esimerkiksi osana energiansäästötoimenpiteitä tai hiilidioksidiohjausta. Tällöin ilmanvaihto on tehottomampaa tiettyinä aikoina, kun tilan käyttäjämäärät ovat pienemmät. Nämä toimenpiteet voivat taas näkyä suoraan korkeampina radonpitoisuuksina huoneilmassa.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjaaminen tulee todennäköisesti yleistymään rakennuksissa, kun pyritään entistä runsaampaan energiansäästöön, jolloin ilmanvaihtoa säädetään ihmismäärien ja olosuhteiden mukaan. Tällä tietysti säästetään energiaa, mutta radonpitoisuudet saattavat oleskelun aikana lisääntyä, jolloin terveysriski kasvaa. Ilmanvaihdon säätö on kuitenkin yksi helpoimmista radonin torjuntatoimenpiteistä, jota tehostamalla käytön aikaiset pitoisuudet saadaan usein viitearvon alapuolelle.

## LÄHTEET

Alphaguard radon monitor. s.a. Bertin instruments. WWW-sivut. Saatavissa: <https://www.bertin-instruments.com/product/radon-professional-monitoring/radon-alphaguard/#gallery> [viitattu 6.7.2019].

Arvela, H., Mäkeläinen, I., Turtiainen, T., Valmari, T. & Weltner, A. s.a. Radon sisäilmassa. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja2\\_4.pdf/e4ad6bfe-b60f-4394-b6a5-049d9c63e148](https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja2_4.pdf/e4ad6bfe-b60f-4394-b6a5-049d9c63e148) [viitattu 25.6.2019].

Arvela, H. & Ravea, T. 1997. Radonturvallinen rakentaminen Suomessa. Helsinki: Edita.

Dosimetria. s.a. Physico medicae. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.physicomedicae.fi/palvelut/dosimetria/> [viitattu 27.6.2019].

Epidemiologia. s.a. Tampereen yliopisto. WWW-dokumentti. Päivitetty 24.2.2016. Saatavissa: <http://www.uta.fi/hes/tutkimus/tutkimusryhmat/Epide-miologia.html> [viitattu 28.6.2019].

Esimerkkejä säteilyannoksista. s.a. Säteilyturvakeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/web/selkosivut/sateilyvaara-ja-suojautuminen/esimerkkeja-sateilyannoksista> [viitattu 28.6.2019].

Holmgren, O., Kojo, K., Kurttio, P. & Turtiainen, T. 2016. Kansallinen toimintasuunnitelma radonriskien ehkäisemiseksi. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/documents/12547/103383/kansallinen-toimintasuunnitelma-radonriskien-ehkaisemiseksi-luonnos-kommentoitavaksi-19-12-2016.pdf/> [viitattu 10.4.2019].

Ionisoiva säteily. s.a. Säteilyturvakeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/ionisoiva-sateily> [viitattu 2.7.2019].

Jeminen, S. 2019. Valvoja. Sähköpostikeskustelu. 6.6.2019 - 19.7.2019. Säteilyturvakeskus.

Kankare, M. 2018. Tämä on ikävä yllätys – STUK löysi Vantaalta 7000 becquerelin radonpitoisuuden, nykyinen toimenpideraja on 400. Artikkel. Päivitetty 26.4.2018. Saatavissa: <https://www.talouselama.fi/uutiset/tama-on-ikava-yllatys-stuk-loysi-vantaalta-7000-becquerelin-radonpitoisuuden> [viitattu 18.7.2019].

Kurttio, P. 2017. Juuri nyt on paras aika mitata radioaktiivisen radonin pitoisuus kodissa – mutta onko se tarpeen? Artikkel. Päivitetty 10.12.2017. Saatavissa: <https://www.aamulehti.fi/a/200552658> [viitattu 5.8.2019].

Kyllönen, R. s.a. Solukalvon tarkka rakenne ja toiminta. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://slideplayer.fi/slide/4867615/> [viitattu 28.6.2019].

Miksi radioaktiivinen säteily on vaarallista? 2016. Tieteen kuvalehti. Artikkel. Päivitetty 25.7.2016. Saatavissa: <https://tieku.fi/fysiikka/miksi-radioaktiivinen-sateily-on-vaarallista-0> [viitattu 4.6.2019].

Pientaloasuntojen radonpitoisuudet Suomen kunnissa. 2018. Säteilyturvakeskus. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/aiheet/radon/radon-suomessa/pientalo-asuntojen-radonpitoisuudet-suomen-kunnissa> [viitattu 18.7.2019].

Radon-kaasua Vantaalla keskivertoa enemmän – näillä alueilla suurimmat arvot. 2014. Vantaan sanomat. Artikkel. Päivitetty 11.12.2014. Saatavissa: <https://www.vantaansanomat.fi/artikkeli/254874-radon-kaasua-vantaalla-keskivertoa-enemman-nailla-alueilla-suurimmat-arvot> [viitattu 2.5.2019].

Radonpitoisuuden pikamittaus. s.a. Säteilyturvakeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/palvelut/radonmittaukset/radonpitoisuuden-pikamittaus> [viitattu 17.7.2019].

Radonin lähteet. s.a. Säteilyturvakeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/aiheet/radon/radonin-lahteet> [viitattu 13.4.2019].

Radon Suomessa kunnittain. 2017. Säteilyturvakeskus. WWW-dokumentti. Päivitetty 27.7.2017. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/aiheet/radon/radon-suomessa/suomen-radonkartat/radon-suomessa-kunnittain> [viitattu 21.4.2019].

Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos. s.a. Säteilyturvakeskus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/ihmisen-radioaktiivisuus/suomalaisen-keskimaarainen-sateilyannos> [viitattu 3.5.2019].

Shannon, F. & Zeeb, H. 2009. World health organization. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44149/9789241547673\\_eng.pdf;jsessionid=C74F0F7DF4FCD0A128B4C2F4005B016E?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44149/9789241547673_eng.pdf;jsessionid=C74F0F7DF4FCD0A128B4C2F4005B016E?sequence=1) [viitattu 12.7.2019].

Säteilylaki 9.11. 859/2018.

Turtiainen, T., Holmgren, O., Kojo, K. & Kurttio, P. 2019. Sisäilmastoseminaari 2019. PDF-dokumentti. Päivitetty 14.3.2019. Saatavissa: [https://www.sisailmautiset.fi/Sisailmastoseminaari\\_2019.pdf](https://www.sisailmautiset.fi/Sisailmastoseminaari_2019.pdf) [viitattu 3.5.2019].

Turtiainen, T. s.a. Radonin mittaaminen. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.stuk.fi/documents/12547/5944511/3\\_Mittaaminen\\_2018.pdf/](https://www.stuk.fi/documents/12547/5944511/3_Mittaaminen_2018.pdf/) [viitattu 17.7.2019].

Työturvallisuuslaki 23.8. 738/2002.

Uusi säteilylaki tiukentaa työnantajien radonmittausvelvoitteita. 2018. Säteilyturvakeskus. WWW-dokumentti. Päivitetty 14.12.2018. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/-/uusi-sateilylaki-tiukentaa-tyonantajien-radonmittausveloitteet-1> [viitattu 5.5.2019].

**Pientalojen radonpitoisuuksien keskiarvot Vantaalla Bq/m<sup>3</sup> suurimmasta pienimpään postinumeroalueittain (STUK s.a.).**

Taulukko 2. Pientalojen radonpitoisuuksien keskiarvot postinumeroalueittain.

<b>Alue ja radonpitoisuus Bq/m<sup>3</sup></b>	<b>Postinro.</b>
Ylästö, 336	01690
Koivukylä-Havukoski, 243	01360
Varisto, 204	01660
Askisto, 200	01680
Mikkola, 192	01480
Hiekkaharju, 189	01350
Länsimäki, 187	01280
Rekola, 179	01400, tai 01420
Jokiniemi, 178	01370
Tuupakan, teollisuusalue	01740
Vantaanpuisto, 163	01730
Vantaanlaakso, 161	01670
Martinlaakso, 160	01620
Kivistö, 160	01700
Hakunila, 156	01200
Itä-Hakkila, 152	01260
Korso, 146	01450
Vaarala, 145	01230
Ruskeasanta-Ilola, 142	01390
Tikkurila, 138	01300
Kirkonkylä-Veromäki, 138	01510
Kaivoksela, 135	01610
Kuusikko-Hakkila, 135	01380
Keimola, 132	01750, tai 01760
Pähkinärinne, 129	01710
Vapaala, 119	01650
Myyrmäki, 117	01600
Hämeenkylä, 105	01630
Hämevaara, 104	01640

**Vantaan kaupungin kouluja ja päiväkoteja, joissa mittausten perusteella on havaittu korkeita radonpitoisuuksia ja niiden tehdyt korjaustoimenpiteet**

Taulukko 3. Aikaisemmin mitattuja kohteita.

<b>Kohde</b>	<b>Mitattu</b>	<b>Tulokset (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Korjaustoimenpide</b>	<b>Tulos korjauksen jälkeen (Bq/m<sup>3</sup>)</b>
Askiston koulu	27.4.2001	130-480	ilmanvaihdon lisäys	170
Hiekkaharjun koulu	21.4.2017	12-2520	uusintamittauksen jälkeen tulos ok	16-88
Ilolan koulu	19.4.2012	340-1900	lattiatiivistykset	140
Kimokujan koulu	7.11.2003	280-540	lattiatiivistykset	140-210
Patotien päiväkoti	19.4.2012	160-570	Perusparannus, tiivistyksiä	40-180
Päiväkummun koulu	18.9.2017	246-3230	työnaikainen ja korjauksen jälkeinen mitaus ok	171-172
Rajakylän koulun neuvola	27.4.2017	12-3610	työnaikainen pitoisuus ok, korkean pitoisuuden tilan	38-587

			käyttö vä- häistä, tiivis- tyksiä	
Trollebo dagem	28.4.2016	330-680	osakorjauk- set	10-20
Vantaankos- ken koulu	25.4.2016	60-530	työnaikainen pitoisuus ok	80
Varia, Ten- nistie	6.5.2004	20-1200	lattiatiivistyk- set	50
Veromäen koulu	20.4.2017	23-836	työnaikainen pitoisuus ok	55-69
Virpikujan päiväkoti	23.3.2005	220-500	lattiatiivistyk- set	140-320

## Vantaan kaupungin mitattavia kohteita

Taulukko 4. Mitattavat päiväkodit.

Kohde	Alue	Pinta-ala yht. (m <sup>2</sup> ) maanvas- taiset ker- rok- set=kel- lari & 1.krs.	Mit- taus- purk- kien määrä	Korjaus- kohde (x)	Suuri kohde, tai alueella on aikaisem- min mitattu korkeita pi- toisuuksia (x)
Aisakellon pk	Haku- nila	265	2		
Helmiveneen pk	Haku- nila	500	4		
Hämeenkyllän pk	Myyr- mäki	720	5		
Hämevaaran pk	Myyr- mäki	700	5		
Jönsaksen pk	Myyr- mäki	669	5		
Kaivokselan pk	Myyr- mäki	380	3		
Kannuskujan pk	Haku- nila	630	5		
Kanttarellin pk	Kivistö	135	2		
Karhunpesän pk	Myyr- mäki	455	4		
Kivistön pk	Kivistö	694	5		
Kivitaskun pk	Tikku- rila	106	2		



Kotikolon pk	Haku- nila	290	2		
Krassitien pk	Tikku- rila	368	3		
Kuntopuiston pk	Haku- nila	643	5		
Kuusikkotien pk	Kuu- sikko	876	6		
Kyläkasken- tien pk	Haku- nila	77	1		
Latupuiston pk	Haku- nila	727	5		
Leppäkorven pk	Korso	725	5		
Linnean pk	Tikku- rila	691	5		
Linnoitusku- jan pk	Haku- nila	510	4		
Lintukallion pk	Myyr- mäki	729	5		
Louhelan pk	Myyr- mäki	594	4		
Maauninpo- lun pk	Korso	643	5		
Martinlaakson pk	Myyr- mäki	850	6		
Martintuvan pk	Myyr- mäki	220	3		
Mesikämme- nen pk	Myyr- mäki	120	2		
Metsolan pk	Korso	353	3		
Minkkipuiston pk	Korso	363	3		

Nikkarin pk	Myyr- mäki	524	4		
Näätäkujan pk	Korso	77	1		
Ojahaan pk	Myyr- mäki	431	4		
Omenan- kukka pk	Tikku- rila	176	2		
Otso pk	Myyr- mäki	120	2		
Pakkalan pk	Kirkon- kylä	530	4		
Pikkuhevon pk	Haku- nila	158	2		
Pikkuravurin pk	Haku- nila	248	3		
Poppeli pk	Myyr- mäki	89	1		
Puistonpesän pk	Tikku- rila	250	3		
Puolukka pk	Tikku- rila	93	1		

Taulukko 5. Mitattavat koulut

Jokivarren koulu	Mikkola	2483	14		x
Kaivokselan koulu	Myr- mäki	1670	15		
Korson koulu	Korso	2301	12		x
Kulomäen koulu	Korso	1143	7		
Kytöpuiston koulu	Koivu- kylä	2888	16	x	
Leppäkorven koulu	Korso	2981	16		x
Laurea	Tikku- rila	3700	20		x
Seutulan koulu	Kei- mola	737	5		
Sotungin koulu	Haku- nila	673	5		
Varia, Oja- haantie	Myr- mäki	9000+	20	x	
Varia, Rälssi- tie	Kirkon- kylä	6955	20		x
Varia, Talvik- kitie	Hiekka- harju	4176	20	x	
Veromäen koulu	Kirkon- kylä	543	4		
Vierumäen koulu	Korso	242	3		

Taulukko 6. Mitattavat sosiaali- ja terveysasemat

Heporinteen palvelutalo	Hakunila	340	3		
Katriinan sairaala (rak. a, b ja c yht.)	Keimola	6974	20		x
Kartanonkosken neuvola	Vermäki	512	4		
Kaunialan sotavamma-sairaala (talot a,b,c,v)	Kauniai-nen	6196	20		x
Koisoranta, hoitokoti	Kirkonkylä	885	6		x
Koivuhaan koivukoti	Tikkurila	435	4		
Koivukylän sos.- ja terv. keskus	Koivukylä	975	6		
Korson sos.- ja terv. asema	Korso	1157	7		
Korson vanhustenkeskus	Korso	2605	15		x
Kumpukoti, Länsimäki	Länsimäki	1060	7		x
Kuuselan perhekuntoutuskeskus	Tikkurila	667	5		
Myyrinkoti	Myyr-mäki	2432	14	x	

Myyrmäen toimintakeskus	Myyrmäki	1082	7		x
Pähkinärin-teen neuvola	Pähkinärinne	634	5		
Pähkinärin-teen palveluasunnot	Pähkinärinne	654	5		
Raikukujan palvelutalo	Martinlaakso	205	3		
Simonkoti	Tikkurila	4288	20		x
Suopursun palvelutalo	Tikkurila	633	5		
Tammirin-teen vastaanottokoti	Seutula	639	5		
Tikkurilan terveysasema	Tikkurila	1450	9	x	
Tikkurilan neuvola	Tikkurila	510	4	x	
Vapaalan terveystalo	Vapaala	334	5		
Veturipolun palvelutalo	Tikkurila	316	3		
Viertolan vastaanottokoti	Tikkurila	1220	8		x

Taulukko 7. Muut mittauskohteet

<b>Kohde</b>	<b>Alue</b>	<b>Pinta-ala yht. (m<sup>2</sup>) maanvas- taiset ker- rok- set=kel- lari &amp; 1.krs</b>	<b>Mit- taus- purk- kien määrä</b>	<b>Korjaus- kohde (x)</b>	<b>Suuri kohde, tai alueella on aikaisem- min mitattu korkeita pi- toisuuksia (x)</b>
Havukosken paloasema	Havu- koski	1200	7		x
Itä-hakkilan ea. yksikkö	Haku- nila	1050	7		x
Kaupungin museo	Tikkurila	153	2		
Leija, ympä- ristökeskus	Vero- mäki	790	5		
Lumo, moni- toimintakes- kus	Korso	5200	20		x
Martinlaak- son uimahalli	Martin- laakso	1336	8	x	
Myyrmäkitalo	Myyr- mäki	2999	16		x
Nuorisotila Vernissa	Tikkurila	745	5		
Vantaan kau- pungintalo	Tikkurila	3367	18		x
Lehdokkitien virastotalo	Tikkurila	400	4		
Pelastuskes- kus, Tekni- kontie 4	Aviapo- lis	2620	14		

Tikkurilan urheilutalo (halmilaisia tiloja)	Tikkurila	6053	20		x
Vantaan helmi (taidetalo toteemi)	Myyrämäki	446	4		

Liite 4/1

**Säteilylain muutokseen ja radon mittauksiin liittyen kysytyjä kysymyksiä ja vastauksia sähköpostikeskusteluna 9.7.2019. Vastauksien antajana on toiminut STUK:n valvojana toimiva Senja Jeminen.**

**Kysymys:** Tarvitseeko mittaukset toteuttaa uudestaan jo aikaisemmin mitattuihin kohteisiin nimenomaan maanvastaisiin työtiloihin, vai riittääkö aikaisempi mittaus, jos mittausarvo on alapohjan osalta ollut kunnossa? Mikä on uusintamittausten aikaväli?

**Vastaus:** Siirtymäaika on 10 vuotta uuden säteilylain voimaantulosta, jolloin tarvitsee tehdä uusintamittaukset työtiloissa, joiden radonpitoisuus oli edellisessä mittauksessa 300 - 400 Bq/m<sup>3</sup> (Säteilylaki 859/2018 § 202). Jos tällaisissa tiloissa tehdään rakennekorjauksia tai ilmanvaihdon muutostöitä, niin silloin jo tällaisten korjaustoimenpiteiden jälkeen, vaikei vielä olisi ihan kulunut 10 vuotta. Muutenkin STUK suosittelee uusimaan radonmittaukset 10 vuoden välein ja/tai rakenne- ja IV-korjausten jälkeen (rakenteet mm. elävät/liikkuvat vuosien saatossa ja ilmavuodot maaperästä mahdollistuvat ja/tai IV-korjauksen yhteydessä ilmanpainesuhteet muuttuvat, jolloin korvausilmaa voi ruveta tulemaan esim. alapohjan kautta).

**Kysymys:** Jos maanvastaiset työtilat kellarikerroksessa ja 1. kerroksessa ovat rakennettu päällekkäin ja ovat saman muotoisia ja kokoisia keskenään, tuleeko tällöin myös 1. kerrokseen tehdä radon mittaukset, vai riittääkö tässä mittaukset vain kellarikerrokseen?

**Vastaus:** En löydä tietoa, että jossain sanottaisiin asia selkeästi. Ainakin pitää mitata kellarikerroksen työ- ja sosiaalilat ja jos osoittautuu, että on korkea radonpitoisuus, niin mitataan (korjauksen jälkeen) ylemmätkin tilat todentaen näin korjausten onnistuminen.

Jos on kyseessä isohko rakennus, niin minä laittaisin muutaman mittauspurkin myös 1 krs. (ainakin 1 kpl keskelle ja kulma huoneisiin) – vaikka tulisi vähän päällekkäistä mittausta. Siellä Vantaalla oli Päiväkummun koulussa juuri sellainen tapaus, että kellari -tiloissa ei ollut korkeat radonpitoisuudet, mutta 1 krs. olikin yli 11 000 bq/m<sup>3</sup> ja asia ei olisi tullut ilmi, jos 1 kerroksessa ei olisi ollut mittauspurkkeja niin kattavasti (kts. Ympäristö- ja terveys – lehti 5/2018 s. 68-71).

- Työpaikan radonmittaus tehdään rakennuksen ensimmäisessä (maasta lukien) kerroksessa sekä tämän alapuolisissa kerroksissa niissä tiloissa, joissa työskennellään tai jossa sosiaalilat sijaitsevat. Jos työpaikka tulee mitata sillä perusteella, että työpaikalla on osittain tai kokonaan maanalaisia tiloja, vähintään nämä maanalaiset tilat mitataan.

**Kysymys:** Jos minulla on esimerkiksi maanvastainen 150 neliön työtila, mitaanko tämä kahdella mittauspurkillä ja puolestaan esimerkiksi 250 neliön työtila kolmella purkillä jne.?

Kyllä - 150 neliön tila mitataan 2 mittauspurkillä ja 250 neliön tila kolmella mittauspurkillä > katso alla STUK Määräys S/3/2019 § 17.

<https://www.stuk.fi/documents/12547/103352/STUK-S-3-2019.pdf/c447732c-8682-416b-ae42-8e3aa3408ef3>

#### 17 §

##### *Mittauspaikat ja lukumäärät*

Tavanomaisilla työpaikoilla radonmittauksia on tehtävä jokaisessa erillisessä rakennuksessa ja jokaisen erillisen ilmanvaihtokoneen piirissä olevassa työtilassa vähintään:

- 1) yksi mittaus, jos pinta-ala on enintään 100 neliometriä;
- 2) kaksi mittausta, jos pinta-ala on suurempi kuin 100 neliometriä.

Jos pinta-ala on suurempi kuin 200 neliometriä, on lisäksi tehtävä vähintään yksi mittaus alkavaa 200 neliometriä kohti tai yhtenäisessä avoimessa tilassa vähintään yksi mittaus alkavaa 3000 neliometriä kohti.

Maanalaisissa kaivoksissa ja louhintatyömailla sekä tunneleissa mittauspisteiden sijainnin ja lukumäärän on oltava sellainen, että tulosten perusteella saadaan luotettava arvio työpaikan radonpitoisuudesta.



Isoissa rakennuksissa voi käyttää omaa harkintaa huomioiden, että mittauspurkit kattavat hyvin koko rakennuksen (= ei tarvitse olla ihan 1 prk/200 neliötä). Itse, kun tein siellä Vantaalla radonmittauksia, niin mitoitin max. 20 mittauspurkkia/ rakennus. Kun ne "ripottelee" tasaisesti ympäri rakennusta (huomioiden eri ilmastointikoneiden alueet), niin pitäisi tulla esiin, jos jossain päin rakennusta esiintyy radonia ja tarvittaessa voi tehdä tarkentavia lisämittauksia.