



# **RADONMITTAUSMENETELMIEN JA – PROSESSIEN VERTAILU**

Margit Sirén

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014  
Rakennustekniikan ko.  
Rakennustuotanto

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Rakennustuotanto

SIRÉN, MARGIT:

Radonmittausmenetelmien ja – prosessien vertailu

Opinnäytetyö 74 sivua, joista liitteitä 13 sivua  
Toukokuu 2014

---

Radon on uraanin hajoamissarjaan kuuluva hajoamistuote, joka kaasumaisen olomuotonsa vuoksi kulkeutuu helposti maaperästä rakennusten sisäilmaan. Radonin ydin on epävakaassa tilassa ja se pyrkii hajoamisen kautta pääsemään stabiiliin tilaan. Hajoamisprosessissa vapautuva alfasäteily on havaittu terveydelle haitalliseksi. Alfasäteilyn on todettu aiheuttavan keuhkosyöpää tai ainakin lisäävän riskiä sairastumiseen solu- ja voimakkaasti ionisoivan vaikutuksensa vuoksi.

Työpaikkojen sisäilman radonpitoisuus on lain mukaan selvitettävä. Asuintiloissa radonmittaukset perustuvat vapaaehtoisuuteen. Radonpitoisuuden mittaus suoritetaan lyhyt- tai pitkäaikaisena mittauksena käyttötarkoituksen mukaan. Pitkäaikaisella mittauksella määritetään radonpitoisuuden vuotuinen keskiarvo, kun taas lyhytaikaisella mittauksella selvitetään radonkorjausten toiminnallisia vaikutuksia.

Radonmittalaitteet ovat joko passiivisia tai aktiivisia. Passiiviset mittausmenetelmät perustuvat alfasäteilylle herkkien filmimateriaalien käyttöön (ns. mittauspurkit) ja aktiiviset mittausmenetelmät perustuvat mm. puolijohdeilmaisimiin. Aktiivisella mittalaitteella voidaan tehdä samanaikaisesti lyhyttä ja pitkäaikaista mittauksia. Laadukkaimmilla mittalaitteilla voidaan tulostaa kuvaajaa radonpitoisuudesta ajan funktiona. Virallisissa mittauksissa mittalaitteiden tulee olla Säteilyturvakeskuksen (STUK) hyväksymiä.

Radonin mittauspalveluita saa Suomessa mm. Säteilyturvakeskukselta (STUK) ja Suomen radonhallinta Oy:ltä. Säteilyturvakeskukselta (STUK) voi tilata asuintilojen radonpitoisuuden määrittämistä varten mittauspurkkeja. Suomen radonhallinta Oy:ltä voi tilata asuin- ja työtilojen radonpitoisuuden mittaukseen käytettäviä mittauspurkkeja tai asiantuntijoiden kokonaispalveluna mittaukset. Yritykseltä voi tilata myös asiantuntijapalveluita radonkorjausten suunnittelua varten.

Tässä opinnäytetyössä on tutkittu viiden asuinkiinteistön radonpitoisuudet. Mittauskohteisiin kuuluvasta keskeneräisestä rakennuksesta löytyi suurimmat pitoisuudet ( $1000 \text{ Bq/m}^3$ ). Tässä kohteessa tutkittiin ilmanvaihdon käynnistämisen vaikutusta radonpitoisuuksiin, jonka seurauksena todettiin merkittävä radonpitoisuuden alentuminen (tasolle  $200 \text{ Bq/m}^3$ ). Rakennus sijaitsee kallioisessa maaperässä. Toiseksi suurimmat pitoisuusarvot löytyivät kellarillisesta rinnetalosta ( $320 \text{ Bq/m}^3$ ), joka oli rakennettu sorapitoiseen maaperään. Tässä kohteessa Säteilyturvakeskus (STUK) suositteli harkitsemaan korjaustoimenpiteitä. Loput kohteet oli rakennettu tiiviiseen savimaahan ja radonpitoisuudet pysyttelivät alle  $100 \text{ Bq/m}^3$  tasolla.

---

Asiasanat: radon, sisäilma, radonpitoisuus, mittausmenetelmä, palvelut.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in Construction Engineering  
Building Production

SIRÉN, MARGIT:

Comparing Radon measurement methods and processes.

Bachelor's thesis 74 pages, appendices 13 pages  
May 2014

---

Radon belongs to uranium decay series and it is its gaseous decay product that easily migrates into indoor air. Radon nucleus is unstable and through decay it aims to get stable. Through the decay process released alpha radiation has been discovered to be risk for health. Alpha radiation has been discovered to cause lung cancer or at least through the strong ionizing effect it increases the risk to get ill.

According to the law the indoor air in occupational environments must be sorted out. Radon measurements in huserooms are optional. The measurement of radon level will be performed with short- or long-term measurement depending on the purpose of use. With the long-term measurement annual average of radon level will be defined, while short-term measurement finds out the functional effects of radon mitigation.

Radon measurement devices are either passive or active. Passive measurement methods are based on the used sensitive film material of alpha radiation (sc. measurement box) and active measurement methods are based on for instance solid-state detectors. With the active measurement device it can be done both short- and long-term measurement at the same time. With the high-quality measurement devices diagram of radon level with function of time can be printed out. In official measurements devices must be approved by Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK).

Radon measurement services are provided by Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) and Suomen radonhallinta Oy. For determining radon level in huserooms, measurement boxes can be ordered from STUK. Measurement boxes can be ordered also from Suomen radonhallinta Oy for determining radon level in huserooms and occupational environments or overall measurement made by specialists can be ordered. Corporation provides also specialist services for designing radon mitigations.

In this thesis radon levels of five houses were investigated. Unaccomplished building was one of the measurement sites and there was the highest radon level of them all (1000 Bq/m<sup>3</sup>). The building was built on rocky soil. The second highest radon level was found at the hillside building with cellar (320 Bq/m<sup>3</sup>), which was built on gravel soil. In this site STUK recommended to consider mitigations. The rest of the sites were built on tight clayey soil and radon levels remained under 100 Bq/m<sup>3</sup>.

---

Key words: Radon, indoor air, Radon level, measurement method, services.

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Opinnäytetyön tarkoitus.....	7
1.2	Lainsäädäntö apuun radontorjunnassa .....	8
2	TIETOA RADONISTA .....	10
2.1	Radon ja uraani .....	10
2.2	Radon ja terveys.....	12
2.3	Radonia useista lähteistä .....	13
3	LAINSÄÄDÄNTÖ .....	18
3.1	Lainsäädäntöhierarkia EU:ssa.....	18
3.2	Lainsäädäntö Suomessa .....	19
4	MITTAUSMENETELMIEN EPÄVARMUUDET .....	21
4.1	Mittausepävarmuuden vaatimukset .....	21
4.2	Lainsäädännön vaatimukset radonpitoisuuksille .....	21
4.3	Lainsäädännön vaatimukset mittausmenetelmille .....	21
4.4	Lainsäädännön vaatimukset mittausepävarmuudelle.....	22
4.5	Mittausepävarmuuden perusteita .....	22
4.6	Epävarmuustekijät .....	24
5	MITTAUSMENETELMÄT.....	26
6	MITTAUSPALVELUT JA -PROSESSIT .....	28
6.1	Yleistä .....	28
6.2	Säteilyturvakeskus (STUK) .....	29
6.2.1	Säteilyturvakeskuksen käyttämä mittalaite .....	29
6.2.2	Mittausprosessi.....	33
6.3	Suomen radonhallinta Oy .....	34
6.3.1	Suomen radonhallinta Oy:n mittalaitteet .....	34
6.3.2	Mittausprosessi.....	42
7	MITTAUSKOHTEET .....	44
7.1	Omakotitalo Nokia.....	44
7.2	Omakotitalo Kangasala .....	44
7.3	Omakotitalo Teisko.....	44
7.4	Omakotitalo Kämenniemi.....	45
7.5	Omakotitalo Valkeakoski .....	45
8	MITTAUSTULOKSET.....	46
8.1	Yleistä .....	46
8.2	Omakotitalo Nokia.....	47
8.2.1	Tulosten analysointi .....	48

8.3 Omakotitalo Kangasala .....	49
8.3.1 Tulosten analysointi .....	51
8.4 Omakotitalo Teisko.....	51
8.4.1 Tulosten analysointi .....	53
8.5 Omakotitalo Kämenniemi.....	53
8.5.1 Tulosten analysointi .....	55
8.6 Omakotitalo Valkeakoski .....	55
8.6.1 Tulosten analysointi .....	57
9 YHTEENVETO .....	58
LÄHTEET .....	59
LIITTEET .....	61
Liite 1. Säteilyturvakeskuksen (STUK) radonmittauksen tulosraportti (2 kk).....	61
Liite 2. Suomen radonhallinta Oy:n radonmittauksen tulosraportti (2 kk) .....	64
Liite 3. Suomen radonhallinta Oy:n radonmittaustulosten raportti (10 vrk).....	69
Liite 4. Sarad Radon Scout mittaustulos .....	74

## LYHENTEET JA TERMIT

Alfajälki-ilmaisoin	Radonsäteilylle herkkä filmimateriaali.
Vuosikeskiarvo	Radonmittauksen perusteella määritetty radonpitoisuuden keskiarvo vuoden pituisena yhtäjaksoisena aikana.
Radonaltistus	Radonsäteilyn vaikutukselle altistuminen.
Bq/m <sup>3</sup>	Radonpitoisuuden yksikkö (becquereliä kuutiota kohti).
Alfahajoaminen	(Alpha decay). Nuklidin hajoaminen siten, että se lähettää alfahiukkasen.
Talvikausi	Radonmittausten suositeltu ajankohta (1.11.–30.4.).
Atomiydin	Atomin ydin, joka koostuu protoneista ja neutroneista.
Säteilyannos (mSv)	Ionisoivan säteilyn energiamäärä massayksikköä kohti.
Alfasäteily	Tiheään ionisoivaa hiukkassäteilyä, jossa radioaktiivinen alkuaine lähettää heliumatomin ytimen eli alfahiukkasen.
Isotooppi	Samankuineen nuklidi, jolla on erimäärä neutroneja.
Fotoni	Sähkömagneettisen säteilyn hiukkanen (kvantti), joka syntyy atomin muuttuessa.
Luottamusväli	Todennäköisyys, millä mittausepävarmuus toteutuu.
Kattavuuskerroin	Kerroin, jolla luottamusväliä laajennetaan (laajennettu epävarmuus).
Kalibrointi	Mittalaitteen näyttämän ja todellisen arvon erotuksen määrittäminen.
Emissio	Säteilyn, hiukkasten tai energian siirtyminen säteilylähteestä ympäristöön tai kohteeseen.
Integroiva	Keskiarvomittaus.
Diffuusio	Pitoisuuden tasoittuminen tietyssä tilavuudessa.
Energiahäviö	Jarrutusenergia, jossa alfahiukkanen menettää varauksensa väliaineeseen osuessaan (Restricted energy loss - REL).
Akkreditoitu	Ulkopuolisen tahon laadullisesti varmistama toiminta.
CR-39	Kaupallinen tuotenimi polykarbonaattifilmistä.
Makrofol	Kaupallinen tuotenimi polykarbonaattifilmistä.
Resistiivisyys	Johtavuus.
Vuotovirta	Puolijohderajapinnan yli tapahtuva häviö.
Dataloggeri	Mittausdataa keräävä mittalaite.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön tarkoitus

Sisäilmaongelmien määrän lisääntyminen on noussut medioissa lähes jokapäiväiseksi puheenaiheeksi. Tämän myötä ollaan radonaltistuksiin myös vähitellen kiinnittämässä huomiota. Radonpitoisuuksien määrittämiseen on tarjolla monenlaisia menetelmiä, joihin markkinat tarjoavat lukuisia mittalaitteita. Niiden käyttäminen ja tuloksien tulkitseminen ei mittalaitteiden erilaisuuden vuoksi ole aina helppoa. Radonin ymmärtäminen käsitteenä ja sen vaikutus sisäilmaan ei ole vielä laajasti tiedostettu, vaikka asian puolesta onkin tehty jo monia vuosia töitä. Nykyisen tietoyhteiskunnan turvallisuuskäsityksen laajeneminen yleisen tiedottamisen ja palvelutarjonnan myötä lisää vähitellen sisäilmaongelmien ja radonriskien ymmärtämistä ja altistusten vähentämistä korjaavien toimenpiteiden myötä.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää radonmittausmenetelmien periaatteita ja opastaa mittalaitteiden valintaa käyttötarkoituksen mukaan. Lisäksi käydään läpi mittausmenetelmiin liittyviä epävarmuustekijöitä ja markkinoilla olevien mittauspalveluiden tarjontaa. Tarkoituksena on tuottaa perustietoa radonista ja selvittää eri vaihtoehtoja, joilla radonpitoisuutta pystytään kontrolloimaan.

Sisäilmaan kulkeutuva radon aiheuttaa terveydellisiä haittoja, mutta itse rakennuksiin siitä ei koidu haittaa. Rakennusperustusten huono tiiveys ja ilmanvaihtojärjestelmien aiheuttama alipaineisuus lisää helposti sisäilman radonpitoisuutta.

Työpaikkojen ja muut viralliseksi luokiteltavat mittaukset tulee suorittaa säteilylain edellyttämällä tavalla. Mittausten tulee kattaa kaikki sisätilat, joissa oleskellaan ja työskennellään. Työpaikat, koulut, päiväkodit ja julkiset tilat on radonaltistusmitattava monin paikoin Suomea. Asunnoissa suoritettavat mittaukset ovat vapaaehtoisia, mutta suositeltavia radonaltistuksen selvittämiseksi. Tilastollisesti radonmittauksista kerättyjen tietojen perusteella väestön kokonaisradonaltistus on muihin Euroopassa mitattuihin arvoihin verrattuna koholla. Asuinnoissa suoritettavat radonmittaukset antavat tyypillisesti henkilöiden radonaltistuksen 60 %:sti loput 40 % muissa tiloissa ja ulkona.

Opinnäytetyön yhteydessä tehtyjen mittausten avulla selvitetään mittausmenetelmien eroavaisuuksia ja mittalaitteiden käyttöä sekä tulkitaan saatuja mittaustuloksia. Radonpitoisuuden mittaukset keskittyvät asuintilojen radonmittauksiin. Mittausmenetelmien ja tulosten vertailussa kiinnitetään huomiota epävarmuustekijöihin.

## 1.2 Lainsäädäntö apuun radontorjunnassa

Radoniin liittyvät riskitekijät ovat viime aikoina nousseet Suomessa suurempaan tietoisuuteen, kun lainsäädäntöä on alettu tiukentamaan rakentamisen näkökulmasta. Viranomaiset ottavat radonasioissa vastuuta laatimalla lakeja, rakentamismääräyksiä ja suosituksia, joiden avulla pyritään ohjaamaan rakentamista radonturvallisempaan suuntaan.

Euroopan unionin neuvosto on hyväksynyt säteilysuojelun perusnormidirektiivin (BSS = Basic Safety Standard). Viralliselta nimeltään Neuvoston Direktiivi 2013/59/EURATOM, joka on julkaistu 17.1.2014. Direktiivissä on määritelty vaatimukset radonpitoisuudelle ja kansalaisten säteilysuojaukselle.

Uuden päätöksen mukaan jäsenvaltioiden on saatettava direktiivin noudattamisen edellyttämät lait, asetukset ja hallinnolliset määräykset voimaan viimeistään 6. helmikuuta 2018. Jäsenmailta edellytetään toimintasuunnitelma, jossa pitää käsitellä muun muassa radonriskialueiden arvioimista, radonkorjausohjeistusta, viestintästrategiaa ja muita viranomaisrooleja.

Rakennusvalvontaa ohjeistetaan ottamaan radonriskit huomioon kaikessa rakentamisessa. Korjausrakentamisessa ja suunnittelussa pyritään hyödyntämään säädöksiä, jotta saataisiin luotua radonturvallinen elinympäristö myös vanhoihin rakennuksiin.

Määräykset radonturvalliseen rakentamiseen:

- Ympäristöministeriö. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2
- Ympäristöministeriö. Pohjarakenteet, määräykset ja ohjeet. 2004. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa B3 radonturvallinen rakennustapa.
- Radonturvallinen perustus. Rakennustieto Oy. Radonin torjunta. RT ohjekortti RT 81-11099, LVI 37-10513, KH 27-00510.



Työpaikoilla, kouluissa, päiväkodeissa ja julkishallinnon tiloissa toiminnanharjoittajaa velvoittaa Säteilylaki 592/1991 45§ Säteilyaltistuksen selvittäminen ST12.1 mukaisin vaatimuksin.

## 2 TIETOA RADONISTA

### 2.1 Radon ja uraani

Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) on asuinpaikkamme kallioperässä sijaitsevan uraanin hajoamistuote. Suomen kallioperässä olevat kivilajit mm. graniitti, sisältävät keskimääräistä enemmän uraania. Kallioperämme uraanipitoisuus vaihtelee alueellisesti ja paikallisesti ja se vaikuttaa kallioperän päällä olevaan maaperään ja pohjaveteen. Suomessa uraanipitoisuudet ovat suurimpia Lahden seudulla, Itä-Uudellamaalla ja Kymenlaaksossa ja pienimpiä Pohjois-Karjalassa, Kainuussa ja Pohjois-Lapissa (Radon Suomessa 2014). Radonia esiintyy yleisistä uskomuksista poiketen koko Suomessa. Valmiin rakennuksen mittaukset antavat lopullisen tiedon kohteen radonturvallisuudesta.

Uraani on raskain luonnossa esiintyvä alkuaine ja samalla hyvin epästabiili raskaan atomiytimensä vuoksi. Kaikki sen isotoopit [U-238 (99,27 %), U-235 (0,72 %) ja U-234 (0,0057 %)] ovat radioaktiivisia, joista lähinnä kahta isotooppia U-238 ja U-235 löydetään luonnosta. Uraani pyrkii alfahajoamisen kautta kohti stabiilimpaa tilaa.

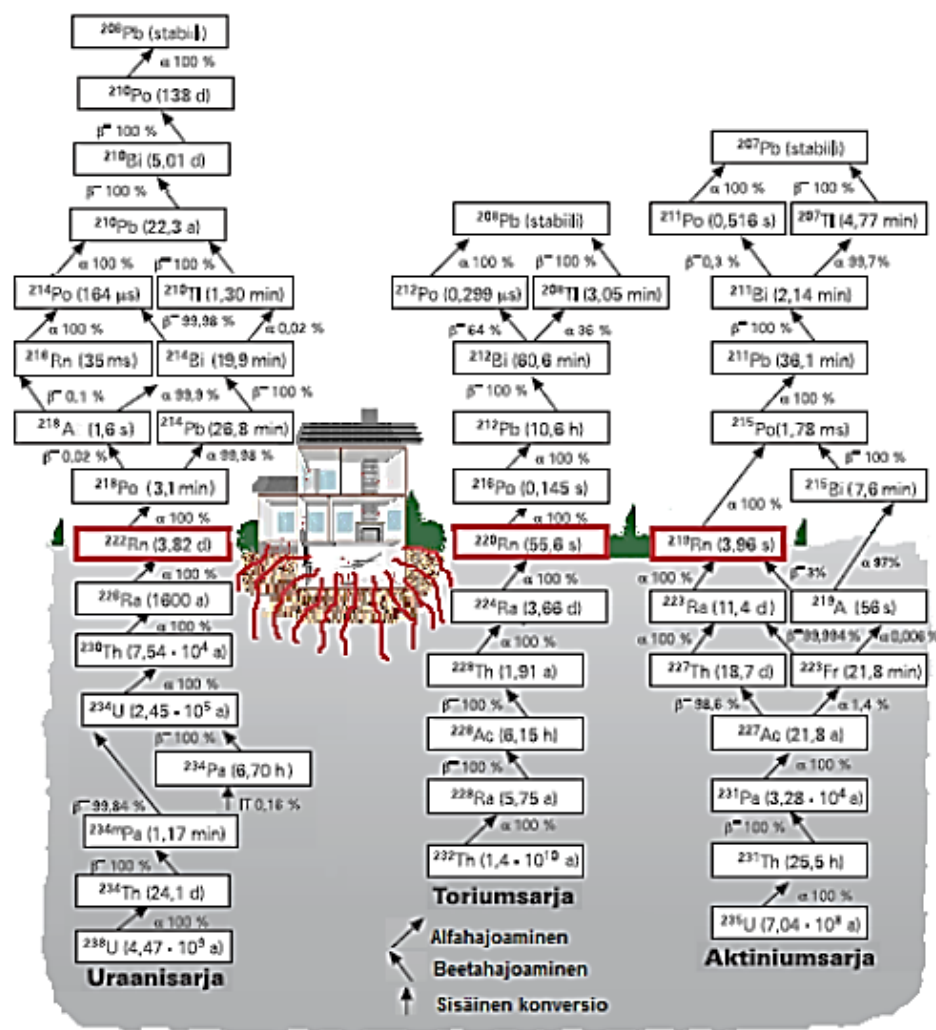
Uraani on joutunut kallioperäämme aikoinaan avaruudessa tapahtuneiden supernovaräjähdyksiin ja neutronitähtien törmäyksiin liittyvien neutronisieppausten seurauksena. Maankuoren kivien osittain sulaessa on uraani rikastunut voimakkaasti muodostuvaan sulaan. Monivaiheisten geologisten prosessien seurauksena kallioperämme on muokautunut useaan kertaan saaden lopullisen olotilansa (Uraani-ydinvoiman energiametalli 2014).

Uraanin hajoamissarjaan kuuluvat radioaktiiviset tytärnuklidit radon ( $^{222}\text{Rn}$ ), radium ( $^{226}\text{Ra}$ ), lyijy ( $^{206}\text{Pb}$ ) ja polonium ( $^{210}\text{Po}$ ) aiheuttavat ensisijaisesti terveytemme haitalliset säteilyvaikutukset (kuva 1). Noin puolet keskimääräisestä vuosittaisesta säteilyannoksesta (54 %) aiheutuu sisäilman radonista (Uraani-ydinvoiman energiametalli 2014).

Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) on radioaktiivinen kaasu, joka kuuluu uraanisarjaan. Se syntyy uraanista ( $^{238}\text{U}$ ) useiden hajoamisten kautta. Radonia hajoamissarjassa edeltävä alkuaine on radium ( $^{226}\text{Ra}$ ). Radon hajoaa itse useiden välivaiheiden kautta, ja sarja päättyy stabiiliin lyijyyn ( $^{206}\text{Pb}$ ) (Perustietoa radonista 2014).

Edellä on kuvattu uraanin ( $^{238}\text{U}$ ) hajoamisketju vaiheineen ja miten radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) syntyy tämän hajoamisketjun osana. Hajoamisen seurauksena radon saa kaasumaisen olomuodon, jolloin sen uloin elektronikuori muodostuu rakenteeltaan samankaltaiseksi kuin jalokaasuilla. Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) sijoittuu alkuaineiden jaksollisessa järjestelmässä jalokaasujen alkuaineryhmään 18, ollen järjestysluvultaan 86. Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) ei muodosta yhdisteitä muiden aineiden kanssa.

Kaasumaisena aineena radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) löytää tiensä maakuoren huokosista rakennusten ulkovaippavuotojen kautta huoneiden sisäilmaan hengitettäväksemme. Radonkaasu poistuu pääosin uloshengityksen mukana, mutta radonin kiinteät hajoamistuotteet, kuten esim. polonium ( $^{218}\text{Po}$ ) ja lyijy ( $^{206}\text{Pb}$ ), tarttuvat keuhkojen sisäpintaan, missä ne lähettävät haitallista alfasäteilyä.



Kuva 1. Uraanin hajoamissarjat (Suomen radonhallinta Oy)

## 2.2 Radon ja terveys

Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) on maaperästä vapautuvaa radioaktiivista kaasua. Sen ydin on hyvin epävakaa tilassa pyrkien kohti stabiilimpaa tilaa. Tämä tasaantuminen tapahtuu hajoamisen kautta, jolloin radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) muuttuu alfahajoamisen kautta poloniumin isotoopiksi ( $^{210}\text{Po}$ ) ja edelleen muutaman välivaiheen jälkeen vakaaksi lyijyisotoopiksi ( $^{206}\text{Pb}$ ). Tämä hajoamisprosessin puoliintumisaika on n. 3,8 päivää.

Hajotessaan radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) lähettää voimakkaasti ionisoivaa alfasäteilyä, joka etenee ympäristössään hiukkassäteilynä (fotoneina). Alfahiukkasten varaus ja massa ovat pieniä, jonka vuoksi se on erittäin huonosti läpäisevää säteilyä. Tästä johtuen säteily ei ole ihmiselle ulkoisesti kovinkaan haitallista, koska muutaman solun paksuinen ihon kuollut pintakerros riittää pysäyttämään alfahiukkasen.

Elimistön sisään päässeet alfahiukkaset ovat sitä vastoin erittäin haitallisia hiukkasten sisältämän ionisoivan energian vuoksi. Hiukkassäteily on sähkömagneettiseen säteilyyn nähden juuri tuon energiasisältönsä (eV) vuoksi haitallista, koska soluun osuessaan se aiheuttaa solun voimakasta ionisoitumista.

Yleisen määrittelyn mukaan ionisoiva säteily alkaa siitä, kun fotonin energia ylittää 12 elektronivoltia (eV). Ionisoimattoman säteilyn energia jää alle 12 eV, jolloin ionisaatiota ei enää esiinny merkittävästi. Ionisoivan ja ionisoimattoman säteilyn raja kulkee röntgensäteilyn ja ultraviolettisäteilyn välissä (Jokela 2006, 16).

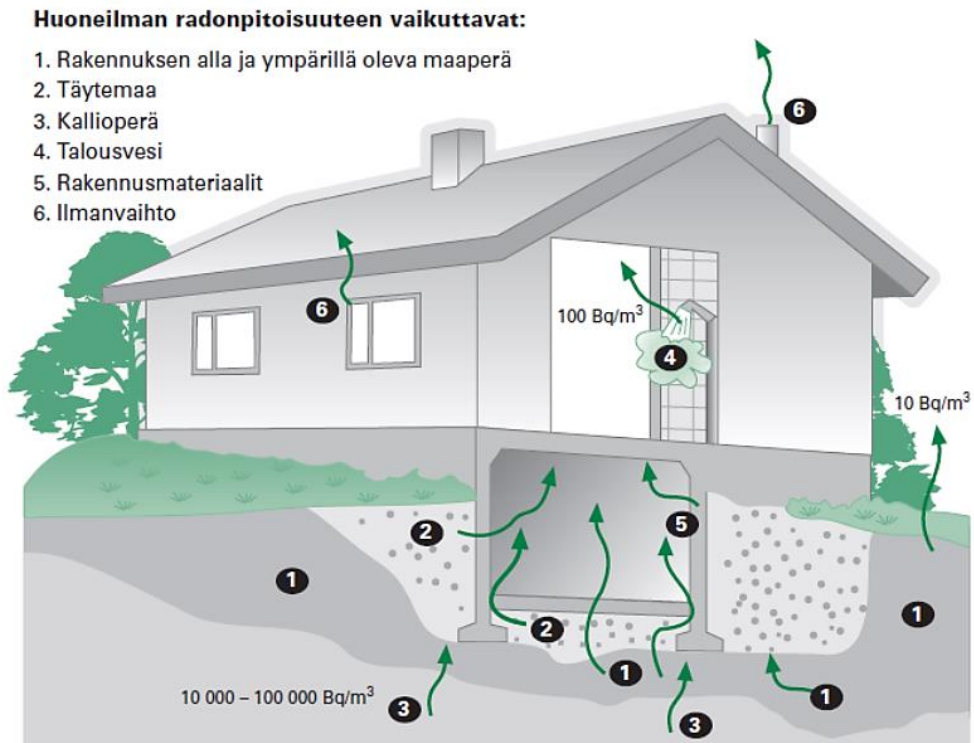
Alla oleva taulukko 1. sisältää luettelon eri säteilylajien sisältämästä energiasta.

Taulukko 1. Säteilyn taajuusalueet, aallonpituusalueet ja säteilykvantin energiat (Säteilyt ja sähkömagneettiset...2000)

Säteilylaji	Taajuusalue	Aallonpituus	Energia-alue/fotoni
<b>Ionisoiva säteily</b> <i>mm. alfahajoaminen</i>	<b>&gt; 3000 THz</b>	<b>&lt; 100 nm</b>	<b>&gt; 12,4 eV</b>
UV-säteily	350 ... 3000 THz	400 ... 100 nm	12,4 ... 3,1 eV
Näkyvä valo	385 ... 750 THz	780 ... 400 nm	1,5 ... 3,1 eV
IR-säteily	0,3 ... 385 THz	1000 ... 0,78 μm	1,24 ... 1590 meV
RF-kentät	0,1 ... 300 GHz	300m ... 1 mm	0,41neV ... 1240μeV
Pientaajuiset sm- kentät	0 ... 300 kHz	< 1 km	< 1240 peV

### 2.3 Radonia useista lähteistä

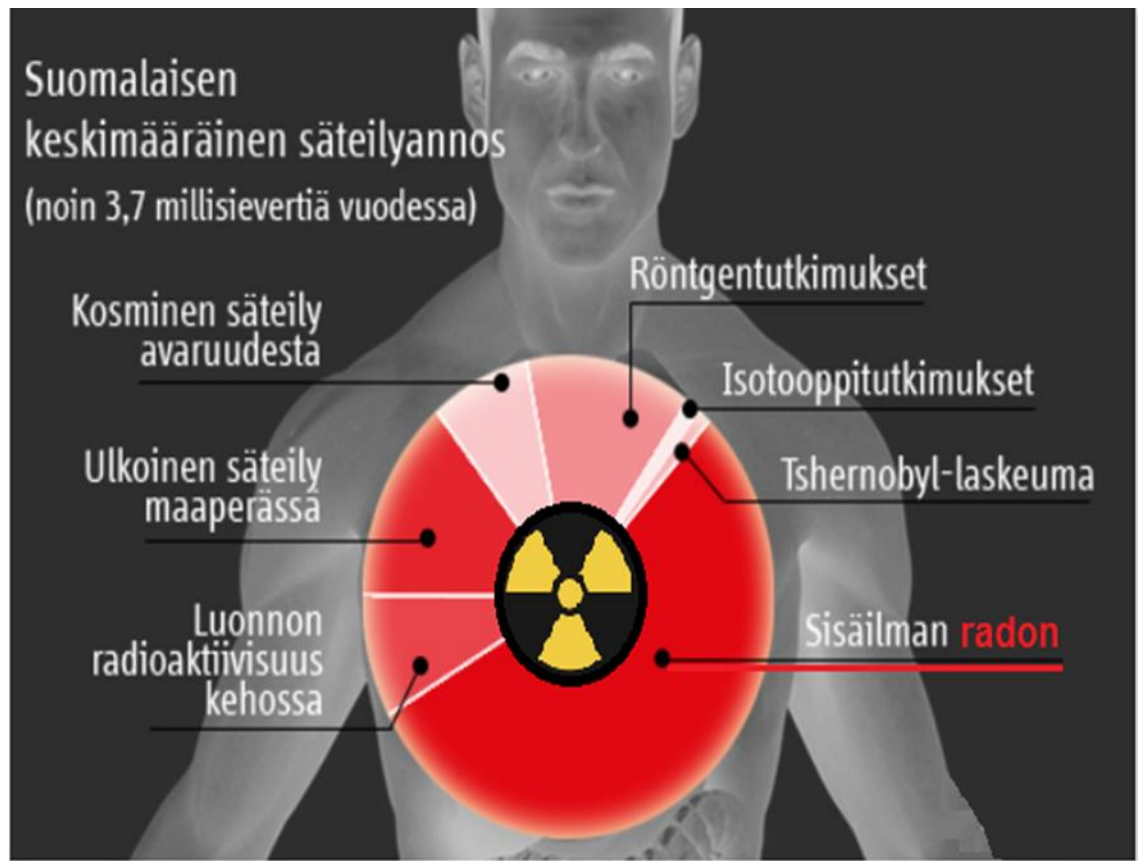
Radonia ( $^{222}\text{Rn}$ ) voi siirtyä sisäilmaan monista eri lähteistä (kuva 2). Maaperästä kulkuvat suurimmat radonpitoisuusarvot, mutta myös rakennuksen alla ja ympärillä käytettävä täytemaa voi sisältää radonia ( $^{222}\text{Rn}$ ), jos se on louhittu radonpitoiselta alueelta. Radonpitoisuuden määrään vaikuttaa myös täytemaan paksuus. Huomioitavaa täytemaan käyttämisessä on se, että täytemaan tuottama radonaltistus ei vähene vuosien kuluessa, koska radonin ( $^{222}\text{Rn}$ ) lähtöaineen [uraniumin ( $^{238}\text{U}$ )] puoliintumisaika on 4,5 miljardia vuotta (Radon sisäilmassa 2003, 120). Puoliintumisajalla tarkoitetaan aikaa, jonka kuluessa radionuklidin aktiivisuus pienenee alkuperäisestä aktiivisuudesta puoleen.



Kuva 2. Huoneilman radonpitoisuuden vaikuttavia tekijöitä (Radon sisäilmassa 2003, 120)

Talon rakentaminen kallion päälle voi lisätä riskiä suuriin radonpitoisuuksiin. Suurimmat riskit ovat harjualueilla ja rikkonaisissa kallioissa, joissa radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) pääsee vapaasti kulkemaan lohkeamien ja railojen väleissä (Radon 2014).

Radonia ( $^{222}\text{Rn}$ ) voi tulla eri rakennusmateriaaleista, kuitenkin vain pieninä pitoisuusmäärinä. Yleisimpinä lähteinä rakennusmateriaaleista ovat betoniset ja kiviset tuotteet, kuten maanvaraiset laatat, betonielementit ja kivilaatat. Tiilet ja sivutuotteista valmistetut kipsilevyt voivat betonituotteiden ohella tuottaa radonia sisäilmaan. Rakennusmateriaaleista aiheutuva keskimääräinen säteilyannos vuodessa on määriteltä alla olevassa kuvassa 3.



Kuva 3. Vuosittainen säteilyannos eri tekijöistä (www.suomenradonhallinta.fi)

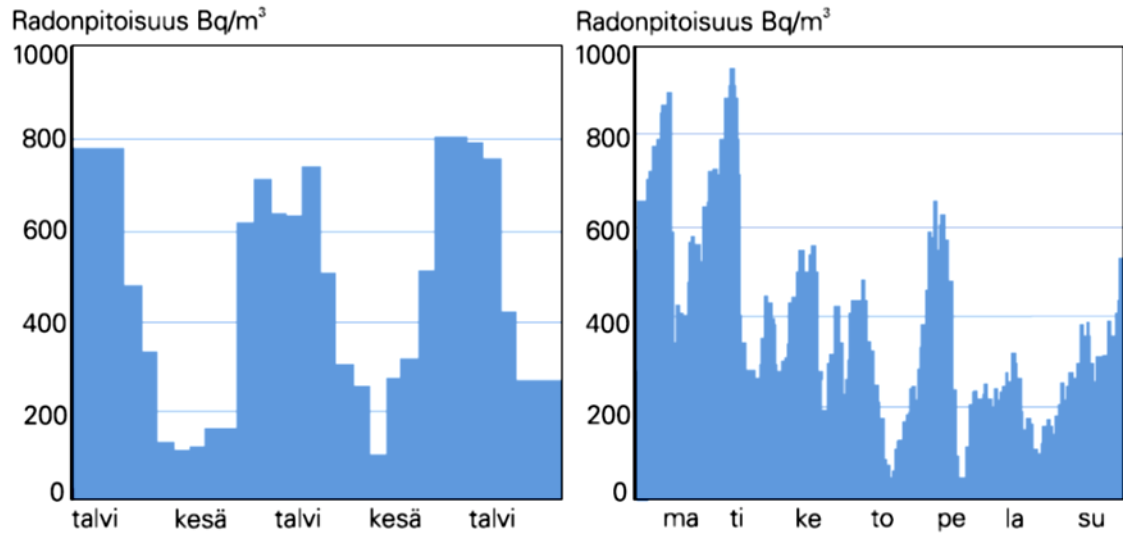
Vuosittainen säteilyannos ihmisillä vaihtelee huomattavasti alueittain. Suurimmat säteilyannokset saadaan Pirkanmaalla ja Päijät-Hämeessä. Kokonaissäteilyannos voi olla näillä alueilla moninkertainen keskimääräiseen säteilyannokseen verrattuna.

Hetkellisiä radonpitoisuuden nousuja sisäilmaan voi aiheutua talousveden käyttämisestä. Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) pääsee veteen yleensä pohjavedestä, jossa vesi on kosketuksissa maaja kallioperään, joista kallioperässä on suurimmat radonpitoisuudet (Talousveden radon ja... 2013). Porakaivovesien keskimääräinen radonpitoisuus Suomessa on noin 460 becquereliä litraa kohden (Radon ja talousvesi, suomenradonhallinta.fi). Sisäilmaan radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) kulkeutuu vedestä esimerkiksi suihkussa käynnin aikana, sekä pesukonetta ja tiskikonetta käytettäessä (Radon sisäilmassa 2003, 122).

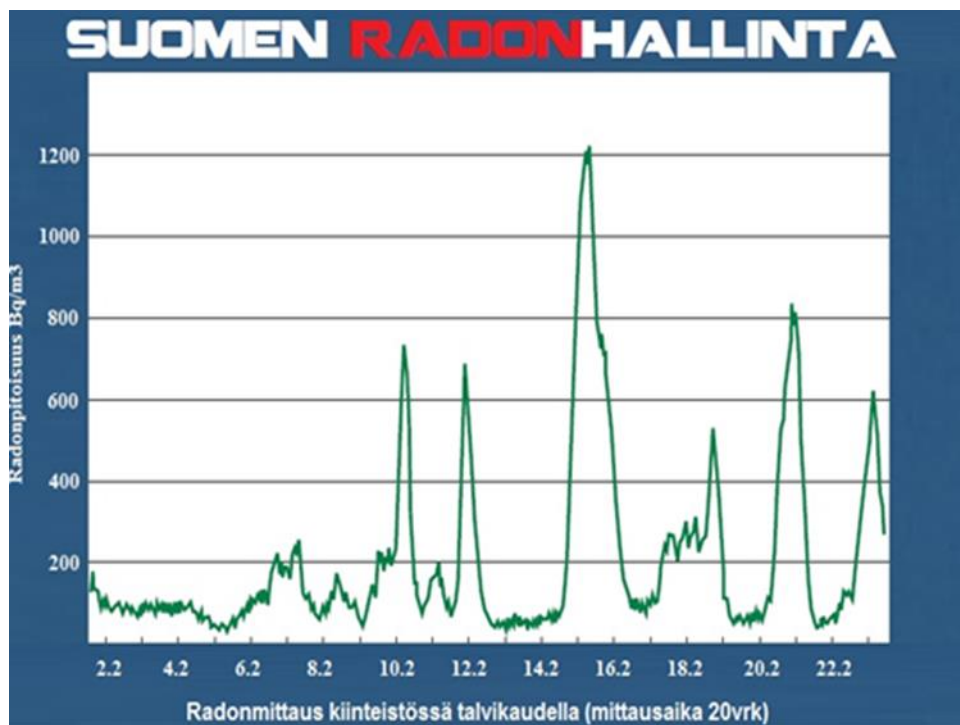
Radonpitoisuus vaihtelee eri vuorokauden aikoina, mutta huomattavinta se on aamuyöllä. Vuodenaikaisvaihtelullakin on vaikutusta radonpitoisuuksiin kun syksyisin päivän ja

yön lämpötilaerot ovat suuria (kuva 4). Alipainetta aiheutuu lämpötilojen erosta, joka saa radonin kulkeutumaan herkemmin maaperästä sisätiloihin (Sisäilman radon 2011).

### Radonpitoisuuden vuodenaikaisvaihtelu ja vuorokausivaihtelu



Kuva 4. Radonpitoisuuden vuodenaikaisvaihtelu ja vuorokausivaihtelu (Sisäilman radon- esite)



Kuva 5. Radonpitoisuuden vaihtelua (Suomen radonhallinta Oy)



Radonmittaukset suositellaan tehtäväksi talviaikoina, kun radonpitoisuudet ovat tyypillisesti korkeammalla kuin kesällä (n. 10–20 % korkeammalla) (kuva 5). Kesällä suorite-  
tuista mittauksista ei pystytä aina arvioimaan radonin keskimääräistä vuositasoa. Joissa-  
kin kohteissa kuitenkin suositellaan tehtäväksi radonmittaus talvikauden lisäksi myös  
kesäaikana. Kesä- ja talvimittaus on järkevää suorittaa, mikäli rakennuksen paikka si-  
jaitsee esim. harjulla, jossa pitoisuudet voivat tuulen pumppausvaikutuksesta nousta  
moninkertaisiksi talviaikaan verrattuna.

Talvimittausta paremman käsityksen kohteen radonpitoisuudesta saa suorittamalla kah-  
den kuukauden talvi- ja kahden kuukauden kesämittauksen. Tietyillä mittausten menetel-  
millä on mahdollista mitata vuosikin kerralla. Vuoden mittaus olisikin radonpitoisuutta  
arvioitaessa paras mahdollinen.

Henkilöiden radonaltistusta huomioitaessa tuleekin muistaa, että asunnon radonpitoi-  
suus on ainoastaan osa kokonaisradonaltistuksesta (n.60 %). On siis tärkeätä varmistua,  
että työpaikoilla, kouluissa ja päiväkodeissakin on radonaltistukset raja-arvot alittavalla  
tasolla.

Toimimaton tai riittämätön ilmanvaihto voi olla joissakin tapauksissa syynä radonpitoi-  
suuksien koholla oleviin lukemiin. Ilmanvaihtuvuuden parantamisella voidaan jo yksi-  
nään mahdollisesti saavuttaa radonpitoisuuden riittävä lasku. Tulee kuitenkin muistaa,  
että ilmanvaihdon kaksinkertaistaminen puolittaa laskennallisesti radonpitoisuuden.  
Ilmanvaihtoa tehostettaessa tulee kuitenkin pitää mielessä myös energiataloudellisuus.  
Toimivassa asunnossa tulisi sisäilman vaihtua kerran kahdessa tunnissa, jotta voidaan  
puhua riittävästä ilmanvaihdosta. Koneellisen ilmanvaihdon kanssa tulee huolehtia tulo-  
ja poistoilmamäärien oikeasta tasapainosta (aina lievästi alipaineinen IV-suunnitelmien  
mukaan). Liiallinen alipaine monin paikoin kasvattaa radonriskiä (2003, 131). Radon-  
korjaukset tuleekin monesti toteuttaa usean torjuntamenetelmän yhdistelmin. Korjauk-  
sissa tulee olla tarkkana, jotta rakennukselle tai ihmisille ei aiheuteta muita mahdollisia  
ongelmia tulevaisuudessakaan.

### 3 LAINSÄÄDÄNTÖ

#### 3.1 Lainsäädäntöhierarkia EU:ssa

Suomen lainsäädäntö pohjautuu osiltaan eurooppalaiseen lainsäädäntöön. Euroopan unionin (EU) jäsenvaltiot ovat useilla keskinäisillä sopimuksillaan luovuttaneet osan kansallisesta itsemääräämisoikeudestaan Euroopan yhteisille toimielimille. Näiden sopimusten nojalla EU:n lainsäädäntö vaikuttaa kaikkien jäsenmaiden kansalliseen lainsäädäntöön ja alueen kansalaisten jokapäiväiseen elämään. EU:n lainsäädäntö muodostuu asetuksista, direktiiveistä ja suosituksista.

Euroopan unionin neuvosto on julkaissut ionisoivaa säteilyä koskevan direktiivin 2013/59/EURATOM. Direktiivin laadinnassa yhtenäisiksi turvallisuusmääräyksiksi väestön ja työntekijöiden terveyden suojelemiseksi, on neuvosto ottanut huomioon Euroopan atomienergiayhteisön perustamissopimuksen (EURATOM) ja kuullut Euroopan komission asiantuntijalausuntoihin perustuvat esitykset.

EURATOMin perustamissopimuksessa todetaan, että vahvistetuissa perusnormeissa olisi otettava huomioon kansainvälisen säteilysuojelutoimikunnan (ICRP) antamat suositukset, erityisesti ICRP:n julkaisussa nro 103 julkaistut uudet suositukset, ja että perusnormit olisi tarkistettava uuden tieteellisen näytön ja käytännöstä saadun kokemuksen perusteella.

Kansainvälinen säteilysuojelukomitea ICRP (International Commission on Radiological Protection) oli vuonna 1990 julkistanut pitkään valmistellut uudet säteilysuojelun perusperiaatteet ja kriteerit säteilyaltistuksen rajoittamiselle. Uudet suositukset voitiin täysimääräisesti ottaa huomioon sekä säteilylain että sen nojalla annettujen alemmanasteisten turvallisuusnormien valmistelussa.

Uudistettujen direktiivien ja suomalaisen säteilylainsäädännön perustana ovat ICRP:n julkaisemat kansainväliset suositukset säteilysuojelun perusperiaatteiksi ja säteilyaltistuksen rajoittamisen kriteereiksi. Jäsenvaltioita velvoittava uusi direktiivi 2013/59/EURATOM on astunut voimaan 6.2.2014 ja se on saatettava osaksi suomalaista lainsäädäntöä 6.helmikuuta 2018 mennessä.

### 3.2 Lainsäädäntö Suomessa

Suomessa hallitus on valmistellut säteilylain ja tehnyt siitä lakiesityksen eduskunnalle, joka on saattanut säteilylain voimaan.

#### **Säteilylaki (592/1991)**

- Suomessa sosiaali- ja terveysministeriö (STM) vastaa säteilylain noudattamisen ylimmästä johdosta ja ohjaa väestön suojelemista haitalliselta säteilyltä.
- Sosiaali- ja terveysministeriö (STM) vahvistaa huoneilman radonpitoisuutta koskevat enimmäisarvot (48 §).
- Säteilyturvakeskus (STUK) antaa yleiset turvallisuustasoa koskevat ohjeet (70 §).
- Säteilyturvakeskukselle (STUK) on määrätty valvontaviranomaisen rooli radonia koskien (6 §).

#### **Sosiaali- ja terveysministeriön päätös asuntojen huoneilman radonpitoisuuden enimmäisarvoista (STMp) 944/1992**

- Huoneilman radonpitoisuuden enimmäisarvot (2 §).
- Radonmittausmenetelmät STUKin hyväksymiä (3 §).
- Työpaikkojen ja kokoontumistilojen säteilyaltistusten rajoittaminen määritellään säteilyasetuksessa (1 §).

#### **Sosiaali- ja terveysministeriön asetus (STMa) Säteilyasetus 20.12.1991/1512 (27 §)**

- Toiminnanharjoittajaa koskevat velvollisuudet.
- Työpaikkojen hengitysilmaa koskevat enimmäispitoisuudet.
- Työntekijää koskeva erityisen altistuslähteen maksimi arvo voi olla yli 1 mSv.
- Satunnaistyyppisten enimmäisarvoja koskevat vaatimukset asettaa Säteilyturvakeskus (STUK).

Säteilyturvakeskus laatii säteilyn käyttöä ja muuta säteilyturvallisuustoimintaa koskevat yleiset ohjeet ja säteilyturvaohjeet (ST-ohjeet) säteilylakiin perustuen.

Säteilytoiminnan turvallisuudesta vastaa säteilylain mukaan säteilytoiminnan harjoittaja. ST-ohjeilla kerrotaan tarkennetusti toimet, joilla säteilylakiin liittyvät vaatimukset täyttyvät. Toiminnan harjoittaja on velvollinen huolehtimaan siitä, että ST-ohjeissa esitetyn mukainen turvallisuustaso toteutetaan ja ylläpidetään.

### **ST 1.9 Säteilytoiminta ja säteilymittaukset**

- Säteilymittausten tarkkuusvaatimukset
- Säteilymittareita ja –mittausjärjestelmiä koskevat vaatimukset ja hyväksyminen
- Säteilymittausten laadunvarmistus

### **ST 12.1. Säteilyturvallisuus luonnonsäteilylle altistavassa toiminnassa**

- Radon työpaikoilla ja julkisissa tiloissa
- Luonnonvarojen hyödyntäminen ja materiaalien käsittely

## **4 MITTAUSMENETELMIEN EPÄVARMUUDET**

### **4.1 Mittausepävarmuuden vaatimukset**

Mittausepävarmuudella on keskeinen rooli radonmittausten luotettavuudessa. Laki asettaa vaatimukset mittalaitteiden tarkkuudelle ja mittauspalveluille, joten tässä kappaleessa käsitellään mittausepävarmuuden perusasioita. Mittalaitteita koskevat epävarmuudet käsitellään tarkemmin kappaleessa Mittausmenetelmät ja – palvelut.

### **4.2 Lainsäädännön vaatimukset radonpitoisuuksille**

Sosiaali- ja terveysministeriö on säteilylain (592/1991) 48§:n nojalla määritellyt asuntojen huoneilman radonpitoisuuden enimmäisarvot (STMp 944/1992). Päätöksen tarkoituksena on estää ja rajoittaa huoneilman radonista aiheutuvia terveydellisiä haittavaikutuksia.

Päätöksen (STMp 944/1992) 2§:n mukaan

- Asunnon huoneilman radonpitoisuuden ei tulisi ylittää 400 Bq/m<sup>3</sup>. Asunto tulee suunnitella ja rakentaa siten, että radonpitoisuus ei ylittäisi arvoa 200 Bq/m<sup>3</sup>.
- Radonpitoisuudella tarkoitetaan radonpitoisuuden vuosikeskiarvoa, joka on mitattu tai mittauksen perusteella määritetty radonpitoisuuden keskiarvo vuoden pituisena yhtäjaksoisena aikana.

### **4.3 Lainsäädännön vaatimukset mittausmenetelmille**

Päätöksen (STMp 944/1992) 3 §:n mukaan

- Radonpitoisuus määritetään säteilyturvakeskuksen hyväksymällä mittausmenetelmällä. Määrityksen tulee perustua vähintään kahden kuukauden pituisena yhtäjaksoisena aikana tehtyyn mittaukseen.

Säteilylaissa (592/1991) todetaan lisäksi, että säteilylain ja sen nojalla annettujen säännösten ja määräysten noudattamista valvoo säteilyturvakeskus (STUK). Tähän veloitteeseen liittyen STUK määrittelee ohjeessaan ST 1.9 vaatimukset radonmittauksille.

Nämä vaatimukset koskevat:

- säteilymittausten tarkkuutta
- säteilymittarien hyväksymistä
- kalibrointia
- toimintakunnon tarkistamista

#### **4.4 Lainsäädännön vaatimukset mittausepävarmuudelle**

ST 1.9 ohjeen kohdassa 2.3 todetaan: radonpitoisuuden mittarin perusvirhe ei saa olla suurempi kuin 20 %. Toistomittauksissa mittaustulosten keskihajonta ei saa olla suurempi kuin 10 %, kun radonpitoisuus on vähintään  $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . Ympäristövaikutussuureiden, kuten kosteuden, lämpötilan tai tausta-annosnopeuden, aiheuttama virhe ei saa olla suurempi kuin 10 %.

#### **4.5 Mittausepävarmuuden perusteita**

Edellä kuvatun lainsäädännöllisen taustan ja siinä annettujen vaatimusten vuoksi tarkastellaan tässä luvussa opinnäytetyöhön liittyneiden mittausten tuloksia mittausepävarmuuden näkökulmasta. Mittauksissa vaikuttaneet ympäristökijät, kuten lämpötila ja kosteus, on käsitelty mittausten mukaisesti tarkasti mittalaitteen käyttöä koskevia ohjeita noudattaen.

Mittausepävarmuus on aina arvio mittavirheen suuruudesta. Mikään mittaus ei anna tuloksista täydellisen oikeita. Mittauksissa on aina mukana epävarmuutta, joka voi aiheutua esimerkiksi mittalaitteesta, mittapaikasta tai mittauksen tekijästä.

Mittausepävarmuuteen liittyviä termejä:

- Tarkkuus: Suurin mahdollinen arvo, joka voi esiintyä mittatilanteissa. Tarkkuudella tarkoitetaan yleensä mahdollista virheprosenttia, jonka sisälle tapahtuva virhe osuu.
- Virhe: Virhe on aina kertaluontoinen arvo. Virhe tulee mittaustuloksen ja oikean arvon välisestä erotuksesta.
- Mittausepävarmuus: Mittaustulokseen liittyvä arvio, joka ilmoittaa rajat, joiden välissä todellisen arvon voidaan valitulla todennäköisyydellä katsoa olevan (FINAS S33/1996 – ISO 3534-1).

Mittausepävarmuudessa ajatellaan olevan kahdenlaista epävarmuutta

- A-epävarmuus
  - voidaan arvioida tilastollisesti
  - keskiarvon keskihajontana
- B-epävarmuus
  - arvioidaan muuten kuin tilastollisesti, esim. max poikkeaman avulla

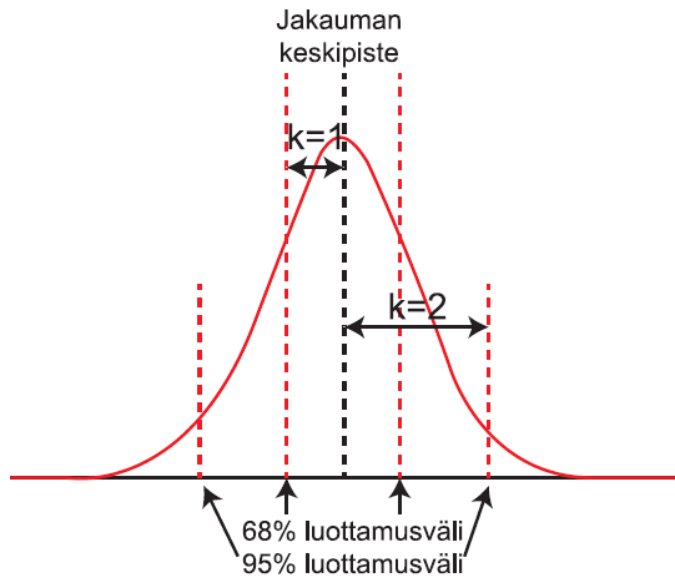
Näistä kahdesta epävarmuustyyppistä voidaan laskea ns. yhdistetty epävarmuus oheisen kaavan avulla:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

Epävarmuudesta saadaan laajennettu epävarmuus:

$$u_i = k u_C \text{ jossa } k = \text{kattavuuskerroin}$$

Kun kattavuuskerroin  $k = 1$ , puhutaan standardiepävarmuudesta, joka tarkoittaa 68 % luottamusväliä oheisen kuvan mukaisesti. Tällöin mittaustuloksista 68 % on ilmoitetun epävarmuuden rajoissa.



Kuva 6. Mittausepävarmuuden normaalijakauma

Kattavuuskertoimella  $k = 2$  saadaan laajennettu epävarmuus, joka tarkoittaa 95 % luottamusväliä. Tällöin 95 % mittaustuloksista on ilmoitetun epävarmuuden rajoissa.

#### 4.6 Epävarmuustekijät

Mittausprosessissa on mukana monia epävarmuustekijöitä, jotka vaikuttavat tuloksiin. Mittalaitteen käyttäjä, mittausaika ja mittauspisteen määrittelijä ovat epävarmuuteen suurimmin vaikuttavia tekijöitä. Asiaan ja ohjeisiin perehtymätön henkilö voi aiheuttaa suurenkin mittausepävarmuuden toiminnallaan. Alla on lueteltu epävarmuustekijät, joita mittausprosessissa voi esiintyä.

Mittausprosessin aikana esiintyviä epävarmuustekijöitä ovat:

- kalibrointi
  - lämpötila
  - etsausseos
  - etsausjännite
  - etsausvaiheiden ajat
  - taustasäteily



- mittauspaikan
  - lämpötila
  - kosteus
  - ilmanpaine
  - sähkömagneettiset kentät
  - ilmavirtaukset
  - pöly
  - tupakansavu
- mittaajan aiheuttamat
  - liikuttelu
- mittalaitteesta
  - stabiilius
  - herkkyys
  - mittausaika
  - mittausmenetelmä
- mittaustuloksen laskenta (alfajälki-ilmaisina)

Mittalaitteen virheet voivat aiheutua kalibroinnista, kalibroinnista kuluneesta ajasta ja laitteen stabiiliudesta eli kyvystä säilyttää laitteen ominaisuudet ajan kuluessa.

## 5 MITTAUSMENETELMÄT

Kaikki mittausmenetelmät perustuvat radonin ( $^{222}\text{Rn}$ ) ja sen hajoamistuotteiden radioaktiivisten emissioiden mittaamiseen. Useimmat näistä perustuvat alfa- ja gammailmaisumenetelmiin. Mittausmenetelmät voidaan jakaa kolmeen pääryhmään:

1. Näytteenottotekniikka. Menetelmä perustuu lyhytaikaisiin näytteisiin, jotka analysoidaan tarkasti.
2. Jatkuvat menetelmät. Näistä saadaan reaaliaikaista mittausdataa. Menetelmä on käyttökelpoinen tulkittaessa käyttökohteita ja testattaessa korjaavia toimenpiteitä radonin ( $^{222}\text{Rn}$ ) vähentämiseksi. Jatkuvalle menetelmälle pystytään näkemään hetkittäisiä radonpitoisuuden vaihteluita.
3. Passiiviset eli integroivat tekniikat, joilla mitataan keskiarvopitoisuuksia pitkän ajan mittauksissa.

Koska radonpitoisuudet ovat tavallisesti hyvin alhaisia, mittauksen herkkyys, tarkkuus ja täsmällisyys ovat oleellisia tekijöitä. Koska epävarmuustekijöitä on lukuisia, on jokainen epävarmuustekijä analysoitava, jotta saavutetaan hyvä luotettavuus.

Euroopan komissio on käynnistänyt Euroopassa toteutettavaa radonmittaustoimintaa ja teollista yhteistyötä koskevan ohjelman (ERRICA 2), jossa tuodaan esille mm. hyväksytyt radonmittausmenetelmät. Maailman terveysjärjestön (WHO) radonkäsikirjassa on selvitetty radonmittalaitteiden laaja vertailu. Vertailussa on tutkittu ilmaisintyyppejä, niiden epävarmuuksia, mittausjaksoja ja hintatasoja. Vertailun tulos esitetään oheisessa taulukossa 2.

Taulukko 2. Maailman terveysjärjestön (WHO) radonkäsikirjassa julkaistu radonmittausmenetelmien vertailutaulukko.

Detector Type (Abbreviation)	Passive/Active	Typical Uncertainty <sup>a</sup> [%]	Typical Sampling Period	Cost
Alpha-track Detector (ATD)	Passive	10 - 25	1 - 12 months	low
Activated Charcoal Detector (ACD)	Passive	10 - 30	2 - 7 days	low
Electret Ion Chamber (EIC)	Passive	8 - 15	5 days - 1 year	medium
Electronic Integrating Device (EID)	Active	~ 25	2 days - year(s)	medium
Continuous Radon Monitor (CRM)	Active	~ 10	1 hour - year(s)	high

<sup>a</sup> Uncertainty expressed for optimal exposure durations and for exposures ~ 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Opinnäytetyössä on käytetty viittä eri mittalaitetta, joihin liittyvät kuvaukset annetaan mittauspalveluita koskevassa kappaleessa. Käytetyt mittalaitteet ovat:

1. Alfajälki-ilmaisoin (Alpha Track Detectors)
2. Lyhytaikainen ja integroiva alfajälki-ilmaisoin, rapidos ja radtrack2
3. Silikoninen puolijohdeilmaisoin (Suomen radonhallinta Oy, pika-analysaattori)
4. Jatkuva toiminen puolijohdeilmaisoin (Continuous Radon Measurement) (Sarad Radon Scout)

## 6 MITTAUSPALVELUT JA -PROSESSIT

### 6.1 Yleistä

Ongelmallista radonin ( $^{222}\text{Rn}$ ) poistamisen kannalta on sen näkymätön ja hajuton olemus. Sitä ei pystytä havaitsemaan sisäilmasta muutoin kuin tekemällä mittauksia tarkoitukseen soveltuvilla mittalaitteilla.

Radonmittalaitteita on tarjolla monenlaisia, mutta vain pieni osa täyttää säteilylain radonmittalaitteille asettamat vaatimukset (kuva 7). Kuvasta puuttuu Säteilyturvakeskuksen käyttämä integroiva alfajälki-ilmaisain (alpha track detector), joka on kuvassa olevien mittausmenetelmien ohella hyväksytty menetelmä.

Useat markkinoilla olevat laitteet eivät täytä vaatimuksia, mutta niillä voidaan kuitenkin tehdä mittauksia. Tällöin tulee huomioida, että näiden mittalaitteiden kohdalla tuloksissa on suuremmat epävarmuustekijät kuin hyväksytyillä menetelmillä, joka tulee ottaa huomioon mittaustuloksia tulkittaessa.

**STUKin hyväksymät radonmittausmenetelmät**  
Radonpitoisuuden mittalaitteet, joilla on voimassa oleva hyväksyntä ja kalibrointi

Organisaatio	Laitetyyppi	Viimeinen voimassaolopäivä	Mittaustapa	Hyväksyntä
<a href="#">Finnmap Consulting Oy - Suomen Sisäilmaston Mittauspalvelu</a>	Pylon AB-5	23.8.2015	Jatkuvatoiminen	Työpaikat
<a href="#">Pirkanmaan ammattikorkeakoulu Oy/Tampereen ammattikorkeakoulu/Fysiikan laboratorio</a>	Alphaguard PQ2000 Pro	23.10.2014	Jatkuvatoiminen	Työpaikat
<a href="#">Landauer Nordic AB</a>	Radonpurkki	9.12.2014	Integroiva	Työpaikat

Päivitetty 10.2.2014



Kuva 7. Hyväksytyt mittalaitteet radonmittauksille (STUK)

Mittauksen kestoksi suositellaan kahta kuukautta marraskuun alun ja huhtikuun lopun välillä. Radonpitoisuudet ovat tyypillisesti korkeimmillaan lämmityskausilla. Lämmityskaudella rakennusten tuuletukset ovat tyypillisesti kesäkautta vähäisemmät. Lämmityskauden ulkopuolisia radonongelmia ei tule kuitenkaan vähätellä. Varsinkin uudemmissa kohteissa radonongelmat saattavat kesällä jopa yllättää. Käytössä olevat jäähdy-

tyslaitteistot edellyttävät ovien ja ikkunoiden pitämistä kiinni, jolloin rakennuksessa saattaa ulkoinen ilmanvaihto olla jopa talvikautta tehottomammalla.

## 6.2 Säteilyturvakeskus (STUK)

Säteilyturvakeskus palvelee radonasioissa valtakunnallisesti. Säteilyturvakeskuksen internet-sivut [www.stuk.fi](http://www.stuk.fi) tarjoavat laajasti tietoa radonista, jos aiheesta haluaa tietää enemmän. Sivuilta on löydettävissä myös aiheesta kirjoitettuja julkaisuja ja kirjoja, joista saa hyödyllistä tietoa. Säteilyturvakeskus tarjoaa myös radonkorjaukseen liittyvää monipuolista aineistoa, mikäli mittauksissa todetaan radonpitoisuuksien olevan koholla ja toimenpiteitä suositellaan.

### 6.2.1 Säteilyturvakeskuksen käyttämä mittalaite

Mittapurkki on kooltaan hyvin pieni. Se mahtuu kämmenelle ja on painoltaan kevyt. Purkin pohjassa on STUKin tarra (kuva 8), jossa on ilmoitettu mittalaitteen numero jonka mukaan tulokset ilmoitetaan. Useampia purkkeja tilattaessa numeroiden ylöskirjaus helpottaa tulosten kohdentamista oikein. Purkkia asetettaessa paikoilleen tulee huomioida että tarra jää tasoa vasten, sillä mittapurkin pinnalla on reikiä, joista radon kulkeutuu mittapurkin sisään (kuva 10).



Kuva 8. Säteilyturvakeskuksen radonmittalaite pohjasta (Yle Uutiset www-sivusto 2013)



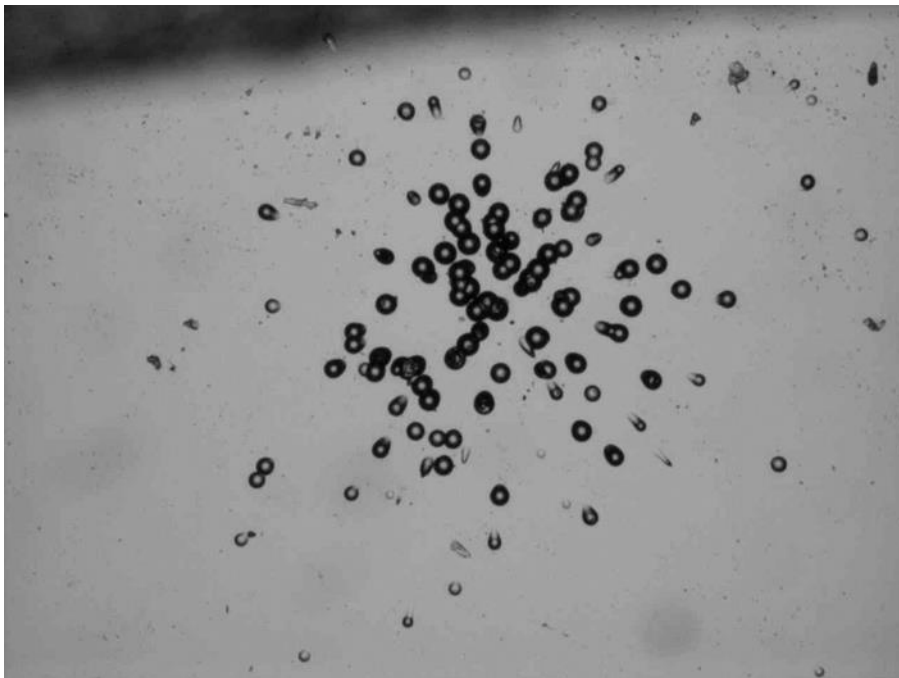
Kuva 9. Säteilyturvakeskuksen radonmittalaite avattuna. Näkyvissä etsattu alfajälki-ilmaisain (STUK [www-sivusto](http://www.stuk.fi) 2012)



Kuva 10. Säteilyturvakeskuksen radonmittalaite pinnalta. Kuva osoittaa mittapurkin pienen koon (Yle Uutiset [www-sivusto](http://www.yle.fi) 2013)

### Alfajälki-ilmaisimien (Alpha Track Detector- ATD)

STUK käyttää mittausmenetelmänä integroivaa alfajälki-ilmaisua (ATD), joka perustuu radonin ( $^{222}\text{Rn}$ ) hajoamisessa syntyvän alfasäteilyn mittaamiseen. Mittausilmaisimena käytetään herkkää polykarbonaattifilmiä, jonka pintaan alfahiukkaset jättävät osuessaan pienen jäljen. Jälkien lukumäärän perusteella voidaan määrittää radonpitoisuuden ( $\text{Bq/m}^3$ ) keskiarvo mittausjaksolta. Alfahiukkasten jättämät jäljet edellyttävät filmin syövytyskäsittelyä (etsaus), jotta jäljet saadaan suurennettua näkyväksi laskentaa varten. Laskenta voidaan suorittaa manuaalisesti tai automaattisen lukulaitteen avulla. Oheisessa kuvassa näkyy alfahiukkasten jättämiä jälkiä filmin pinnalla etsauksen jälkeen.



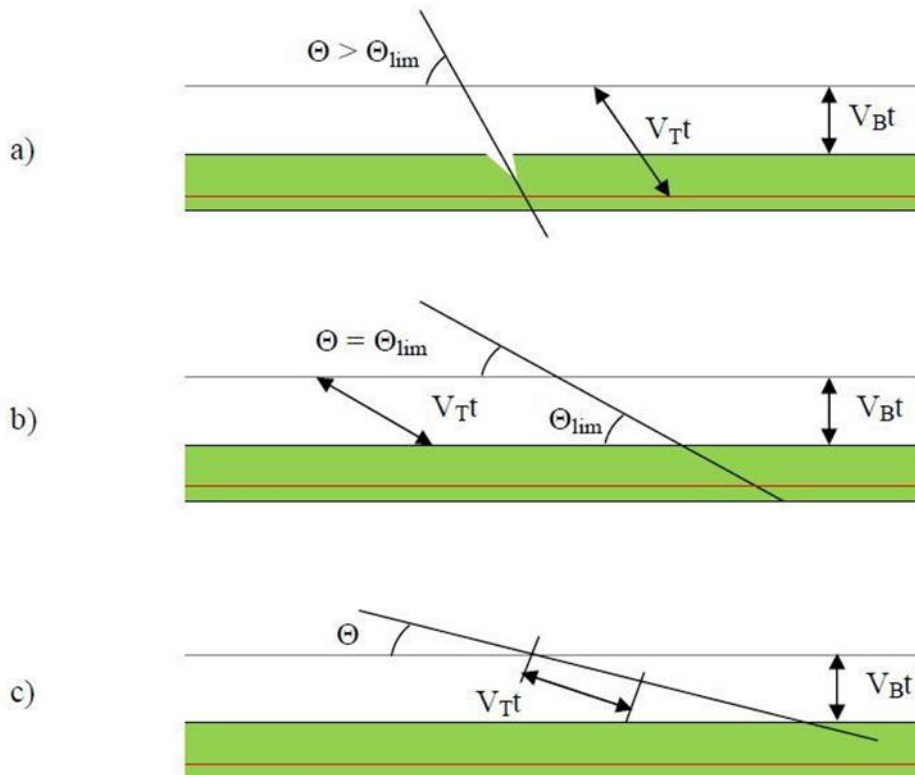
Kuva 11. Alfahiukkasten jälkiä. Kuvasta erottuu, että alfahiukkaset ovat osuneet filmin pintaan eri kulmissa.

Polykarbonaattifilmi on paksuudeltaan  $250\ \mu\text{m}$  ja tuotenimeltään MAKROFOL. Valmistaja on Ranskalainen BAYER. Filmi on sijoitettu  $17\ \text{mm}$  korkeaan ja halkaisijaltaan  $45\ \text{mm}$  kokoiseen ABS-muovista valmistettuun koteloon (ns. purkkiin).

Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) siirtyy kotelon mittauskammioon diffuusion avulla. Filmin herkkyys on tärkeä ominaisuus, jotta syntyneiden jälkien määrä vastaa oikeaa radonpitoisuutta ( $\text{Bq/m}^3$  tai  $\text{pCi/L}$ ).

Alfajälkien syntymistä ennustetaan useissa lähteissä alfahiukkasen energiahäviön avulla. Tästä energiahäviöstä käytetään lyhennettä REL (Restricted Energy Loss) ja sen yksikkö on  $\text{MeVcm}^2\text{g}^{-1}$ . REL vastaa hiukkasen varauksen  $Z$  suhdetta hiukkasen nopeuteen  $\beta$ . MAKROFOL:ille ilmoitettu REL  $\sim 2700 \text{ MeVcm}^2\text{g}^{-1}$  ja suhde  $Z / \beta \sim 50$  (Troost & Vinciarelli 2008).

Myös alfahiukkasen tulokulma vaikuttaa jäljen syntymiseen.



Kuva 12. Jäljen syntyminen filmiin  $\alpha$ -hiukkasen erilaisilla tulokulmilla. a) Tulokulma  $\Theta$  on suurempi kuin rajakulma  $\Theta_{lim}$ , joka mahdollistaa etsauspisteen syntymisen filmin pinnalle; b) ja c) Kun tulokulma on yhtäsuuri tai pienempi kuin  $\Theta_{lim}$ , ei etsauspistettä synny.



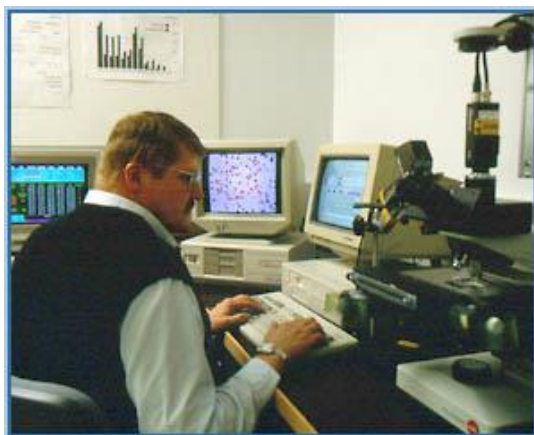
## 6.2.2 Mittausprosessi

Internet-sivuilta on tilattavissa radonmittauksen suorittamista varten radonmittapurkki, jolla voi helposti suorittaa oman kodin radonpitoisuuden mittauksen. Mittapurkin hinta sisältää analysoinnin Säteilyturvakeskuksen laboratoriossa ja tulostuloksen, joka lähetetään postitse kotiin.

Mittapurkki lähetetään ilmatiiviissä pussissa, joka poistetaan vasta juuri ennen mittapurkin asettamista paikoilleen. Purkin mukana tulee ohje sen sijoittamiselle ja takaisin lähetykselle. Mittausepävarmuuden aiheuttaa helposti asiaan ja ohjeisiin perehtymättömän henkilön toiminta. Esitietolomakkeeseen tulee antaa kohteesta kattavat perustiedot ja niiden puutteet vaikuttavat lopputulokseen. Mittausrasian sijoitus ei ole myöskään aina ongelmaton, koska rasiaa ei saa kiinnitettyä kahden kuukauden mittausajaksi. Haastattelujen perusteella rasioita on myös sijoitettu väärinpäin ja jopa avattuina. Tällöin radonaltistusmittauksen tulos voi poiketa moninkertaisesti todellisesta tilanteesta.

Toimituksessa tulee mukana myös tiedote sisäilman radonista ja palautuskuori jokaiselle tilatulle purkille erikseen, sekä lomake johon kirjataan mittauskohteen tiedot. Palautuskuoren postimaksun tilaaja maksaa itse, mutta osoite on kuoressa valmiina.

Mittausajanjakson jälkeen purkit lähetetään palautuskuorissa laboratorioon analysoitaviksi (kuva 13). Tulokset ja toimenpidesuosituksukset luvataan toimittaa kahden kuukauden kuluessa palautuksesta. Kiiretapauksissa laboratorioon voi olla yhteydessä ja saada mahdollisesti nopeutusta purkkien analysointiin. Laboratoriossa sattuvissa virhetapauksissa STUK tarjoaa uuden maksuttoman mittapurkin uuden mittauksen suorittamiselle.



Kuva 13. Laboratoriossa puretaan tulokset mittapurkeista (STUK 2012)

Mittapurkkia tulee käsitellä varoen, jotta se ei vahingoitu. Suositeltavaa olisi laittaa mittapurkki mittaamaan heti tilauksen saavuttua, kuitenkin viimeistään viikon kuluessa. Tyhjään asuntoon sijoitettaessa lämpötilan tulee olla vähintään kymmenen astetta. Mittapurkkia ei ole tarkoitettu ulkona suoritettavaan mittaukseen.

### **6.3 Suomen radonhallinta Oy**

Suomen radonhallinta Oy tarjoaa radonmittauspalveluita monipuolisella radonmittaukseen soveltuvalla laitevalikoimallaan. Mittauspalveluiden lisäksi yrityksen palveluihin kuuluvat mm. asiantuntija luennot, radontorjunnan konsultaatio, tiedotusapu ja toimenpidesuunnitelmat. Suomen radonhallinta Oy tarjoaa palveluitaan koko Suomen alueelle.

Palveluita suorittavilla ammattilaisilla on alan viimeisimmät tiedot ja menetelmät asiantuntevan, puolueettoman ja täsmällisen palvelun tuottamiseksi. Yrityksen lähtökohtana on tarjota asiakaslähtöinen toimintamalli, jossa on selkeästi ilmoitetut hinnat ja kustannustehokkaat toiminnot. [www.suomenradonhallinta.fi](http://www.suomenradonhallinta.fi) sivuilla on myös erittäin kattavat radoninformaatiot kolmella kielellä.

#### **6.3.1 Suomen radonhallinta Oy:n mittalaitteet**

Suomen radonhallinta Oy tuottaa Suomeen Landauer Nordicin radonmittausmenetelmät. Landauer Nordic on osa maailman johtava säteilymittauksia tuottavaa Landauer Groupia. Landauer Nordicin kahden kuukauden integroiva alfajälki-ilmaisimien on hyväksytty sekä säteilyasetuksen (1521/1991) 12§, että sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen (944/1992) 3§ nojalla hyväksytyksi mittausmenetelmäksi työpaikkojen ja asuntojen vuosikeskiarvojen radonmittauksiin. Laite on STUK hyväksytty (1/340/09) ja se täyttää myös ohjeen ST 1.9 asettamat vaatimukset radonmittalaitteille. Mittausmenetelmä on hyväksytty lukuisiin Euroopan maihin.

Muilla Suomen radonhallinta Oy:n käyttämällä mittalaitteilla ei ole säteilyasetuksen hyväksyntää ja kahden kuukauden alfajälki-ilmaisimien onkin heillä eniten käytetty mittausmenetelmä. Kaikkien Suomen radonhallinta Oy käytössä olevien mittalaitteiden tark-

kuus on erittäin hyvä, jolloin jokaiseen tarpeeseen on valittavissa paras mahdollinen mittausmenetelmä.

#### Landauer Nordicin integroiva alfajälki-ilmaisin

Mittalaite on korkeudeltaan vain 20 millimetriä ja halkaisijaltaan 58 millimetriä. Laite toimitetaan ilmatiiviissä pussissa, josta se tulee poistaa vasta mittauksen alkaessa, jolloin muualta tulleet pitoisuudet eivät pääse vääristämään mittauksen tuloksia. Mittalaite on äänetön ja huomaamaton, jolloin kahden kuukauden mittauksen aikana siitä ei koidu minkäänlaista haittaa.



Kuva 14. Integroiva alfajälki-ilmaisin (Landauer Europe).

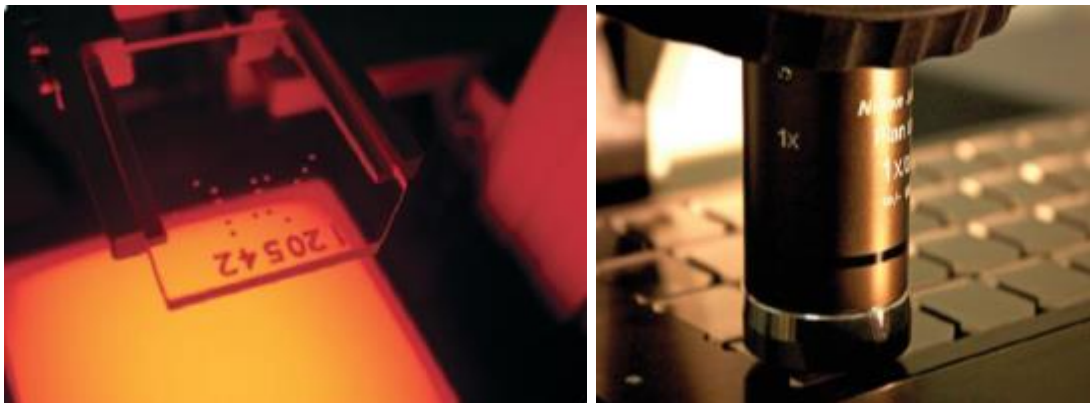
Laitteen mukana toimitetaan lomake, johon kirjataan mittauskohteen tärkeimmät tiedot, kuten mm. rakennuksen ilmastointi, perustustapa ja mittalaitteen sijainti sekä päivämäärät mittauksen aloittamiseen ja lopettamiseen.

Mittausohjeet ovat erittäin selkeät. Mittausrasia voidaan kiinnittää asentovapaasti ja mukana toimitetaan infokortti, jossa selviää rasian tarkoitus.



Kuva 15. Infokortti, joka kiinnitetään mittausrasian kanssa.

Laite pakataan ilmatiiviiseen pussiin (minigrip pussi sopii tarkoitukseen) mittauksen päätteeksi ja lähetetään Suomen radonhallinta Oy:lle. Yritys toimittaa laitteet Landauer Nordicin akkreditoituun laboratorioon (kuva 16). Mittaustulokset postitetaan kotiin ja ne tulevat myös internetiin käyttäjätunnuksen ja salasanan taakse, josta niitä voi tarvittaessa käydä katsomassa ja tulostamassa. Sähköinen arkisto on käytössä 10 vuotta (kuva 17).



Kuva 16. Alfajälki-ilmaisimen työstämistä laboratoriossa (Landauer Nordic).



**LANDAUER NORDIC**  
ON HELPPÖÄ MITATA RADON-PITOISUUS.

---

Mittaus on analysoitu ja raportoitu.
**ULOSIRJAUS**

**Yhteystiedot**

Toimeksiannon numero	12345678
Nimi	Suomen radonhallinta Oy (esimerkki raportti)
Yhteyshenkilö	Johanna Kellokumpu
Puhelin	010-3231074
Sähköpostiosoite	johanna.kellokumpu@suomenradonhallinta.fi
Mittauspaikan osoite	Esimerkkikatu 1 012345 Testikyla

**Mittauspaikan tiedot**

Kiinteistötunnus	123-456-789-0
Rakennustyyppi	Teollisuusrakennus
Rakennusvuosi	1998
Ilmanvaihto	Kon. poisto- ja tuloilma
Perustukset	Maanvarainen laatta
Radonkorjauksia?	Kyllä
Milloin (korjattu)	13.08.2011

**Mittauspisteen tiedot**

Mittausasian numero	Seloste	Tulos	Aloitus	Lopetus	Huonetyyppi	Kerrostaso
149653-2	Monistamo	30 (+/-10) Bq/m <sup>3</sup>	2013-11-05	2014-01-08	Työttilä	1. kerros
141584-5	Pintakäs. 121	33 (+/-10) Bq/m <sup>3</sup>	2013-11-05	2014-01-08	Työttilä	1. kerros
149650-4	Sähkötila E8	33 (+/-10) Bq/m <sup>3</sup>	2013-11-05	2014-01-08	Työttilä	1. kerros
151155-9	Kiint.hoitajat 03	54 (+/-20) Bq/m <sup>3</sup>	2013-11-05	2014-01-08	Työttilä	1. kerros
152476-8	Työttilä F1 01	320 (+/-50) Bq/m <sup>3</sup>	2013-11-05	2014-01-08	Työttilä	Kellari
185815-9	Pintakäs. k1	83 (+/-20) Bq/m <sup>3</sup>	2013-11-05	2014-01-08	Työttilä	1. kerros
218003-2	Työttilä F1 02	36 (+/-10) Bq/m <sup>3</sup>	2013-11-05	2014-01-08	Työttilä	1. kerros
228712-6	Työttilä C103	< 20 Bq/m <sup>3</sup>	2013-11-05	2014-01-08	Työttilä	1. kerros
249653-1	Sähköluokka 201	27 (+/-10) Bq/m <sup>3</sup>	2013-11-05	2014-01-08	Työttilä	1. kerros
241592-1	Kiint.hoitajat 2	130 (+/-20) Bq/m <sup>3</sup>	2013-11-05	2014-01-08	Työttilä	1. kerros

1 - 10 yhteensä 43 rivistä näytetään

Kuva 17. Malli sähköisestä arkistosta, jollaista Suomen radonhallinta Oy käyttää sähköiseen tuloksien tallentamiseen (Suomen radonhallinta Oy).

### Landauer Nordicin lyhytaikainen alfajälki-ilmaisim

Landauer Nordicin lyhytaikaisella alfajälki-ilmaisimella voidaan tehdä nopea 10 vuorokauden radonmittaus. Mittalaitteeseen mahtuva suurempi ilmamäärä mahdollistaa tilastollisesti nopeamman radonin (<sup>222</sup>Rn) havaitsemisen lyhytaikaisella mittauksella.

Mittapurkki on korkeudeltaan 40 millimetriä ja halkaisijaltaan 58 millimetriä. Laite toimitetaan ilmatiiviissä pussissa, josta se poistetaan vasta ennen mittauksen alkamista. Laitteen mukana tulee lomake, johon täytetään laitteen sijainti ja mittauksen ajankohta, sekä alkamisen ja lopettamisen kellon aika mittaukselle. Kohteesta ilmoitetaan myös muun muassa ilmastointitiedot ja rakennusvuosi. Mittapurkki on äänetön ja huomaamaton, joten mittaus ei häiritse normaalia elämistä.



Kuva 18. Lyhytaikainen alfajälki-ilmaisimien (Landauer Europe).

Mittauksen päätteeksi mittalaite pakataan ilmatiiviiseen pussiin ja lähetetään analysoitavaksi akkreditoituun Landauer Nordicin laboratorioon, josta tulokset voi saada kotiin postitse tai ne voi käydä lukemassa ja tulostamassa internetistä.

Lyhytaikainen ja integroiva alfajälki-ilmaisimien on valmistettu käyttäen samaa periaatetta, erona on vain kammion koko. Mittausepävarmuudeltaan mittauspurkit eroavat toisistaan selvästi, koska lyhytaikaisen alfajälki-ilmaisimien mittauksen kesto ei noudata suositeltua kahta kuukautta.

Landauer Nordicin alfajälki-ilmaisimien toimintaperiaate perustuu diffuusion, joka saa ympäröivässä ilmassa olevan radonkaasun kulkeutumaan laitteen sisään. Mittalaitteet toimivat samalla periaatteella kuin Säteilyturvakeskuksen alfajälki-ilmaisimien. Eroavaisuutena mittalaitteissa on lähinnä käytetty filmimateriaali. Landauer Nordicin alfajälki-ilmaisimissa käytetään CR-39 filmiä, joka on asetettu antistaattiseen muovikoteloon.

Filmimateriaalina käytetty CR-39 on Säteilyturvakeskuksen käyttämään Makrofoliin verrattuna herkempää ottamaan jälkiä radonin ( $^{222}\text{Rn}$ ) hajoamistuotteista. Tämä filmien tuottama ero perustuu filmien herkyyteen, kun filmillä CR-39  $Z / \beta \sim 5$ , ollen kymmenkertaisesti herkempää verrattuna Makrofoliin.

### Radon pika-analysointilaitteet (48h)

Suomen radonhallinta Oy:n radonin pika-analysointilaitteilla tuloksia aletaan saada aikaisintaan 48 tuntia laitteen käynnistämisen jälkeen. Laitteella voidaan mitata radonpitoisuutta alkaen kahden vuorokauden ajanjaksosta.

Pikamittarissa on kaksi mittausvaihtoehtoa, joiden tulokset perustuvat lyhytaikaisluentaan ja pitkäaikaisluentaan. Lyhytaikaisluennassa laite kerää tietoa tunnin jaksoissa seitsemän päivän ajan ja uudet tulokset päivittyvät laitteeseen joka tunti. Pitkäaikaisluennassa laite näyttää radonpitoisuuden keskiarvoa koko mittausjaksolta siitä lähtien kun laitteen muisti on tyhjennetty ja laite on asetettu mittaamaan. Mittaus tulokset pysyvät normaalisti lähes yhtä suurina ensimmäisen viikon aikana, jonka jälkeen luvut alkavat eroamaan toisistaan sen mukaan, kuinka suurta vaihtelua radonpitoisuudessa ilmenee.

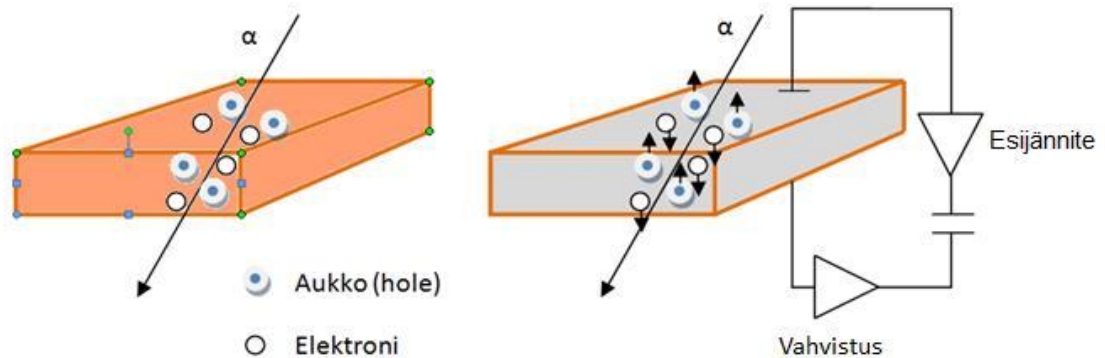
Laite näyttää tulokset suoraan radonpitoisuuden yksikkönä ( $\text{Bq/m}^3$ ). Radonpikamittari ei ole hyväksytty menetelmä vuosikeskiarvojen radonpitoisuuden mittaamiseen, sillä sen tyypillisesti lyhytaikainen mittaus ei täytä radonmittarille määriteltyjä arvoja. Pikamittarilla päästään kuitenkin hyvin lähelle hyväksytyjen mittalaitteiden antamia tuloksia, joten sitä voidaan pitää suhteellisen luotettavana mittalaitteena. Valmistajan antama tarkkuus kalibroidulle laitteelle on +/- 5 %. Pika-analysointilaitteet on läpäissyt radonmittalaitteille asetetut testit "Austrian National Institute of Metrology (BEV)" Wienissä (2005 ja 2009), Sveitissä "Paul Scherrer Institute" (2005, 2006 ja 2010) sekä "National Radiation Protection Institute" Tsekin tasavallassa 2010.



Kuva 19. Radon pika-analysointilaitteet (48 h) (Suomen radonhallinta Oy)



Pika-analysaattori -mittalaitteessa radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) diffusoituu mittalaitteen ilmaisinkammioon. Kaasun kerääntyessä kammioon syntyy radonin ( $^{222}\text{Rn}$ ) hajotessa  $\alpha$ -säteilyä. Alfasäteilyn hiukkaset kulkeutuvat ilmaisimen puolijohdemateriaaliin, aiheuttaen ionisaatiota (kuva 20). Ionisaatiossa syntyy varauksia eli elektroni-aukkopareja. Tämä varaus kerätään ilmaisimen navoille liitoksen yli vaikuttavan esijännitteen (bias-) avulla (Silicon detectors – artikkeli). (Max-Planck-Institut für Physik, München).



Kuva 20. Alfasäteilyn ionisoidessa ilmaisimen puolijohdemateriaalia, saadaan mittaus-signaali aikaan esijännityksen avulla.

Ilmaisimena toimivan puolijohdemateriaalin resistiivisyys on tärkeä ominaisuus, joka ratkaisee mittaussignaalin muodostamisessa tarvittavan biasjännitteen suuruuden. Puolijohdeilmaisimen mittausepävarmuuksia aiheuttavat mm.

- liian suuri lämpötila
- varausten tasoittuminen (rekombinaatio) pieneksi jääneen esijännitteen (bias-) vuoksi
- vuotovirta, koska puolijohdeliitos ei ole täydellinen eriste.

Puolijohdeilmaisimet ovat herkkiä mittalaitteita, mutta ympäristötekijät vaikuttavat mittausepävarmuuteen, jonka vuoksi mittalaitteet ovat tyypillisesti varustettu lämpötilan, ilmanpaineen ja kosteuden rekisteröivillä antureilla.



### Sarad radon scout

Sarad radon scout on suunniteltu paikalla olevaan radonmittaukseen. Mittauksen tarkastelu voi herkästi häiriintyä, jos laite altistuu suurelle värinälle, liikkeelle tai mekaaniselle iskulle. Mittaustuloksia saadaan jo tunnin päästä laitteen käynnistämisestä, joten laite soveltuu hyvin nopeaan mittaukseen.

Radon scout voidaan pitää tietokoneeseen yhdistettynä koko mittauksen ajan, jolloin se piirtää tuloksia näkyviin aina tietyin tarkastelu väliajoin. Laite toimii myös ilman verkkovirtaa sisäisellä akulla, joten sitä voidaan käyttää myös sähköttömissä kohteissa. Mittaustuloksista piirtyvästä käyrästä nähdään tarkasti radonpitoisuuksien vaihtelua sään, ilmanvaihdon ja lämpötilojen vaikutuksesta.



Kuva 21. Sarad Radon Scout (Suomen radonhallinta Oy)

Jatkuvatoimiset puolijohdeilmaisimet (aktiiviset) tarvitsevat virtaa toimiakseen. Ilmaisimen toimintaperiaate on kuvattu pika-analysaattorin kuvauksen yhteydessä. Sarad Radon Scout on varustelultaan monipuolisempi kuin pika-analysaattori. Laitteella saadaan monipuolisia mittaustuloksia, kun tuloksissa erotellaan esim. radonpitoisuus ja mittausaikana vaikuttanut lämpötila ja kosteus. Laite pystyy toimimaan dataloggerina keräten tunnin välein otettuja näytteitä. Tallennettu data voidaan tulostaa radonpitoisuu-

den kuvaajana ajan funktiona. Yleensä jatkuvatoiminen puolijohdeilmaisin tarvitsee oman tietokoneohjelman, jotta mittauslaitteen tulokset saadaan luettavaksi.

Laitteen varmasta toiminnasta ja luotettavista tuloksista varmistutaan kalibroinnilla, jota laite vaatii säännöllisin väliajoin.

### 6.3.2 Mittausprosessi

Suomen radonhallinta Oy:ltä on tilattavissa nopeaan radonmittaukseen pika-analysointori (48 h) alkaen kolmeksi vuorokaudeksi. Lisäpäivistä veloitetaan aina erillisen hinnaston mukaisesti. Yrityksen internet-sivuilla [www.suomenradonhallinta.fi](http://www.suomenradonhallinta.fi) on ilmoitettu numero, josta mittalaitteen voi tilata joko tekstiviestillä tai soittamalla tai sähköpostilla. Laite lähetetään tilauksen jälkeen seuraavana arkipäivänä. Mittalaitteen mukana lähetetään mittauspöytäkirja, johon tuloksen voi kirjata. Tulokset voi halutessaan tallentaa myös yrityksen sivuille mukana tulevien ohjeiden avulla.

Suomen radonhallinta Oy tarjoaa ammattilaisten apua mittauksien suorittamiseen. Tilattaessa kahden kuukauden integroivan alfajälki-ilmaisimella suoritettavan mittauksen, Suomen radonhallinta Oy:n edustaja tulee kohteeseen määrittämään mittauspisteen mittalaitteelle. Radonmittauksen hinta sisältää yhden alfajälki-ilmaisimen, mutta tarpeen vaatiessa lisähinnasta kohteeseen voidaan asettaa useampikin mittalaite. Yleensä yksikerroksiseen 150 m<sup>2</sup> omakotitaloon sijoitetaan kaksi mittauspurkkia.

Mittauksen valmistuttua tulee asiakkaalle tekstiviestillä ilmoitus, kun mittauspurkin voi lähettää laboratorioon analysoitavaksi. Mittauksen hintaan sisältyy palautuskuori. Vaihtoehtona on myös asiakkaan halutessa, että yrityksen edustaja tulee hakemaan mittauspurkin kohteesta ja toimittaa sen laboratorioon. Tästä tulee sopia sopimuksen tekohetkellä ja se tekee mittaukseen lisähintaa.

Lyhytaikainen alfajälki-ilmaisimien toimitetaan asiakkaalle postitse ilmatäviissä pakkauksessa. Sen voi tilata internet-sivuilla ilmoitetusta numerosta. Halutessaan asiakas voi tilata yrityksen edustajan määrittämään mittauspisteen alfajälki-ilmaisimelle, mutta asiakas voi suorittaa mittauksen myös itsenäisesti mukana tulevan ohjeen mukaisesti. Mittauksen jälkeen asiakas toimittaa mittauspurkin laboratorioon analysoitavaksi. Tu-

lokset lähetetään kirjallisesti yleensä kahden viikon sisällä purkkien palautumisesta Suomen radonhallinta Oy:lle. Mittauskauden lopulla voi laboratorion ruuhka tuottaa viivästystä mittaustulosten toimittamiseen noin kuukauteen.

Suomen radonhallinta Oy:n voi halutessaan tilata radonmittauksen tietokonepohjaisella Sarad Radon Scout – mittalaitteella. Tietokonepohjaisella mittauksella onkin aina hyvä aloittaa mm. radonkorjausten suunnittelu.

Tiedusteluni perusteella yrityksellä on Suomessa olevissa varastoissaan useita tuhansia radonmittausrasioita ja satoja mittauslaitteita. Toimitukset onnistuvat kaikkialle Suomeen tyypillisesti parissa päivässä.

## **7 MITTAUSKOHTEET**

### **7.1 Omakotitalo Nokia**

Nokian mittauskohde on kellarillinen omakotitalo. Talo on rakennettu vuonna 1968 ja kohteessa on aikaisemmin jo tehty Säteilyturvakeskuksen (STUK) kahden kuukauden radonmittaus, mutta korjaustoimenpiteisiin ei oltu ryhdytty. Talossa on painovoimainen ilmanvaihto ja radonmittauksen jälkeen talon kellarissa on tehty pintaremonttia. Mittauksen aikana vanhat pintamateriaalit oli jo poistettu.

Talo on rakennettu rinteeseen ja sen kellarista yksi kolmasosa on maatasen alapuolella. Mittauslaite oli sijoitettu kellarissa olevaan takkahuoneeseen. Maaperä tontilla on sekalaista soraa, joka on otollista radonin kulkeutumiseen rakennukseen. Kohteessa ei ole radonin poistoon tarkoitettuja laitteita.

### **7.2 Omakotitalo Kangasala**

Kangasalan Raikussa kohteena on maanvaraisella perustuksella oleva puurakenteinen omakotitalo. Talo on rakennettu vuonna 2008 eikä kohteessa ole aikaisemmin tehty radonmittauksia. Talon alle on tehty rakennusvaiheessa radonin poistoputkisto, mutta sitä ei ole otettu käyttöön.

Kohteen lähellä on myös harju, joten mittauksilla pyrittiin näkemään vaikuttaako se radonpitoisuuksiin. Ympäröivä maaperä on tiivistä silttisavea, joka muutoin estää suurimpien pitoisuuksien kulkeutumisen talon sisäilmaan.

### **7.3 Omakotitalo Teisko**

Teiskon kohteena on maanvaraisella perustuksella oleva hirsirakenteinen omakotitalo. Talo on vielä sisäosiltaan rakennusvaiheessa, mutta ulkopuolelta valmis. Perustuksia tehdessä maanvaraisen laatan alle on asennettu radonin poistoputkisto, mutta sitä ei ole vielä otettu käyttöön. Radonin poistoon on varauduttu jo rakennusvaiheessa, koska talo

on rakennettu liuskoittuvan kallion päälle, joka on suuri riskitekijä korkeille radonpitoisuuksille sijaintinsa lisäksi. Kohteen ympäröivä maaperä on sekalaista soraa ja hiekkaa. Rakennuksen ilmastointi toteutetaan koneellisella tulo- ja poistoilmalla sekä lämmön talteenotolla.

Kohteessa päätettiin tehdä radonmittauksia ennen rakennuksen sisätöihin ryhtymistä, jotta nähtäisiin kuinka suuria radonpitoisuuksia sisäilmassa on ennen pintarakenteiden asentamista.

#### **7.4 Omakotitalo Kämmenniemi**

Kämmenniemen kohteena on rossipohjainen hirsirakenteinen omakotitalo. Talo on rakennettu vuonna 1926 eikä kohteessa ole aikaisemmin suoritettu radonmittauksia. Minkäänlaisia radonpoistovaroituksia ei ole asennettu talon alle tai ympärille. Kohteessa ilmanvaihtona on koneellinen tulo- ja poistoilma sekä lämmön talteenotto.

Talo on edellisen kohteen tavoin rakennettu kallion päälle, mutta rossipohjaisen perustuksen tuulettavuus haihduttaa suurimmat radonpitoisuudet ennen talon sisäilmaan pääsyä. Ympäröivä maaperä on tiivistä savimaata, lukuun ottamatta talon alle jäävää kalliota.

#### **7.5 Omakotitalo Valkeakoski**

Valkeakoskella kohteena on kellarillinen puurakenteinen omakotitalo. Talo on rakennettu vuonna 1960 eikä kohteessa ole aikaisemmin suoritettu radonmittauksia. Rakennuksessa ei ole myöskään minkäänlaisia varauksia radonin poistolle. Ilmanvaihto toimii painovoimaisena.

Kohteessa mittauslaitteet oli sijoitettuna täysin maan alla olevaan kellarissa sijaitsevaan autotalliin, jota käytetään nykyään työtilana. Ympäröivä maaperä on lähinnä savimaata, mutta edellisenä kesänä talon sokkelien vierustäyttö vaihdettiin soratäytteeksi.

## 8 MITTAUSTULOKSET

### 8.1 Yleistä

Mittaukset suoritettiin kaikissa kohteissa laitteilla, joita edellä olevassa mittauspalvelutuvussa on käsitelty. Mittalaitteista kaikkia muita käytettiin joka kohteessa, mutta Sarad Radon Scout -mittalaitteella tehtiin mittaus vain Teiskon kohteeseen. Laitteen soveltuvuutta nopeaan tuloksien tuottamiseen käytettiin hyväksi, kun haluttiin nähdä kuinka paljon rakennusvaiheessa olevan rakennuksen radonpitoisuus laskisi pelkästään ilmanvaihdon käynnistämällä.

Voimaantulevan EU-Neuvoston direktiivin (2013/59/ EURATOM) mukaisesti sisäilman aktiivisuuspitoisuuden vuotuinen keskiarvo ei saa olla suurempi kuin  $300 \text{ Bq/m}^3$ . Tällä hetkellä enimmäisarvona on vielä  $400 \text{ Bq/m}^3$ .

Alla olevasta taulukosta 2 voi nähdä kuinka paljon kohteissa olevat radonpitoisuuden määrät tuottavat vuotuista säteilyannosta (mSv). Suomalaisen keskimääräinen vuotuinen säteilyannos on 3,2 millisievertiä (mSv), josta puolet tulee sisäilman radonista.

Taulukko 3. Radonin vuotuinen säteilyannos (mSv) tietyissä radonpitoisuuksissa (Radonmittaukset imatralla).

ASUNNON RADONPITOISUUS $\text{Bq/m}^3$	VUOTUINEN ANNOS mSv	ELINIKÄINEN ANNOS mSv	SYÖPÄTAPAU- TA/ 10000 ASUKASTA
100	2,8	196	39
200	5,2	367	75
400	10,0	700	140
800	19,6	1372	274
1500	36,4	255	510
2000	48,4	3670	678
3000	72,4	7340	1014
4000	96,4	9787	1350

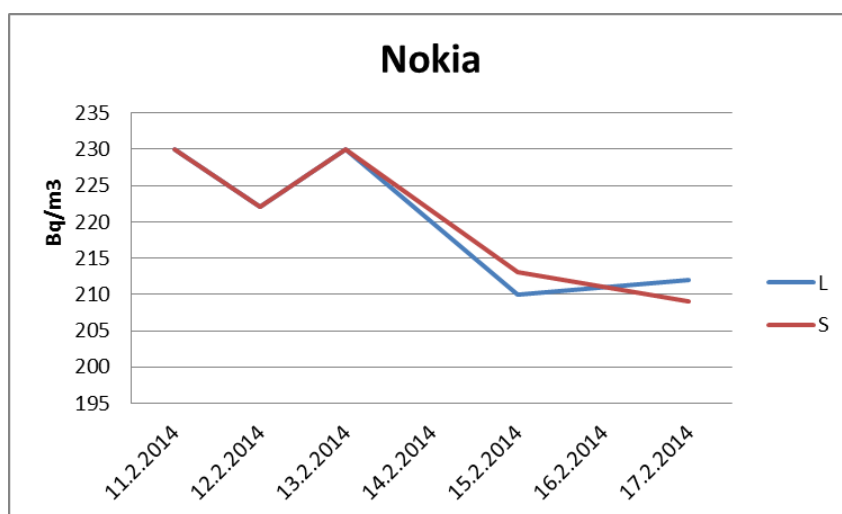
## 8.2 Omakotitalo Nokia

Nokian kohteessa rakennuksen kellarikerros on 1/3 maatasen alapuolella ja seinärakenteessa on käytetty tiiltä ja harkkoja. Radon läpäisee kummankin rakennusmateriaalin helposti ja koska maaperä tontilla on sekalaista soraa, voidaan sen olettaa tuottavan paljon radonia rakennuksen sisäilmaan.

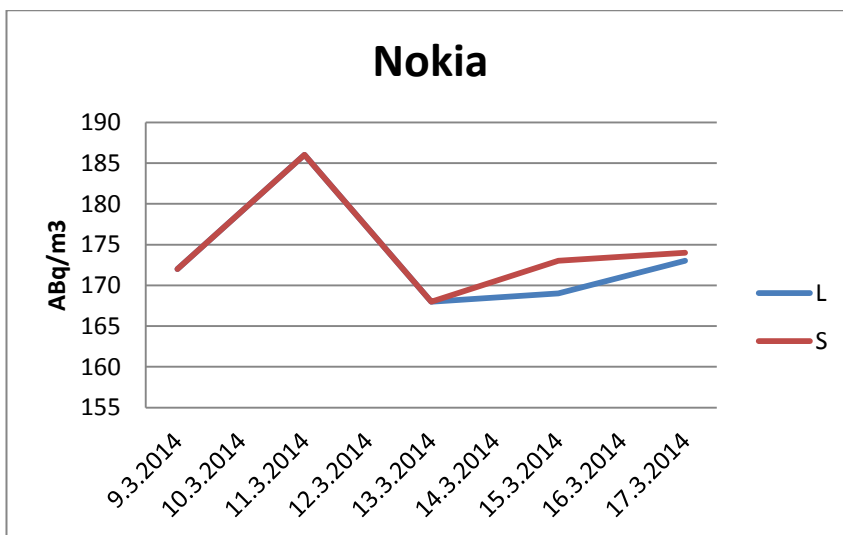
Mittaustulokset vaihtelivat kohteessa n. 200–300 Bq/m<sup>3</sup> välillä. Laboratorioiden antamat mittaustulosraportit jokaisesta kohteesta ovat luettavissa liitteistä 1, 2 ja 3. Säteilyturvakeskuksen alfajälki-ilmaisimella saatiin suurin pitoisuusmäärä radonille sen ollessa 320 Bq/m<sup>3</sup>. Tuloksen perusteella kohteeseen suositeltiin radonkorjauksen harkitsemista.

Landauer Nordicin lyhytaikainen alfajälki-ilmaisim antoi mittaustulokseksi 270 +/- 50 Bq/m<sup>3</sup>, joka osuu STUKin mittaustulosten kanssa samaan suuruusluokkaan. Virallinen kahden kuukauden integroiva alfajälki-ilmaisim Landauer Nordicilta antoi lukemaksi vain 190 +/- 30 Bq/m<sup>3</sup>.

Pika-analysaattori laitettiin mittaamaan muiden mittalaitteiden kanssa samaan aikaan alussa 10 vuorokaudeksi (kuva 22) ja sen jälkeen kuukauden kuluttua uudestaan 10 vuorokaudeksi. Radonpitoisuus on voinut olla alhaisempi mittausajankohdan loppupuolella, kun pika-analysaattorilla tehty toinen mittaus osoitti myös suhteellisen alhaisia radonlukuja (kuva 23). Mittaustuloksista saatiin samansuuntaisia tuloksia muiden kanssa, vaikka laitteelle ei ole myönnetty lain ja STUKin mukaista hyväksyntää.



Kuva 22. Ensimmäinen 10 vuorokauden mittaus



Kuva 23. Toinen 10 vuorokauden mittaus

### 8.2.1 Tulosten analysointi

Kohteesta saadut mittaustulokset jakautuvat kahteen ryhmään, suurempiin ja pienempiin, kuten alla olevasta taulukosta huomataan.

Taulukko 4. Mittaustulokset Nokia

Mittauslaite	Radonpitoisuus Bq/m <sup>3</sup>	Tilastollinen epävarmuus
Alfajälki-ilmaisim, integroiva (STUK)	320	max 25 %
Alfajälki-ilmaisim, lyhytaikainen (Landauer)	270 +/- 50 (270 - 50 = 220)	max 25 %
Alfajälki-ilmaisim, integroiva (Landauer)	190 +/- 30 (190 + 30 = 220)	max 25 %
Puolijohdeilmaisim, (pika-analysointtori)	220 +/- 10 (220 + 0 = 220)	max 25 %

Mittauksen virherajojen kannalta asettuu kolme mittaustulosta taulukon mukaan lähes samansuuruisiksi (220 Bq/m<sup>3</sup>). Poikkeuksen tekee STUKin alfajälki-ilmaisimella tehty mittaus (320 Bq/m<sup>3</sup>).



Tuloksia tarkastellaan tilastollisen mittausepävarmuuden kannalta. Mittausepävarmuus huomioi muutkin virhetekijät, kuin mittalaitteesta johtuvat. Taulukosta 4 nähdään, että kaikki mittaustulokset mahtuvat taulukossa 3 ilmoitetun epävarmuuden rajoihin. Taulukosta 3 nähdään siis, että alfajälki-ilmaisimen ja puolijohdeilmaisimen (EID) tyypillinen epävarmuus on maksimissaan 25 %.

Mittaustuloksista nähdään, että tuloksiin on voinut vaikuttaa mittalaitteen ympäristötekijöistä tai mittaustuloksen tuottamisesta johtuvia virhetekijöitä. Mittaustulosten perusteella voidaan kuitenkin tehdä suhteellisen luotettava arvio radonpitoisuuden keskiarvosta, joka on n.270 Bq/m<sup>3</sup>.

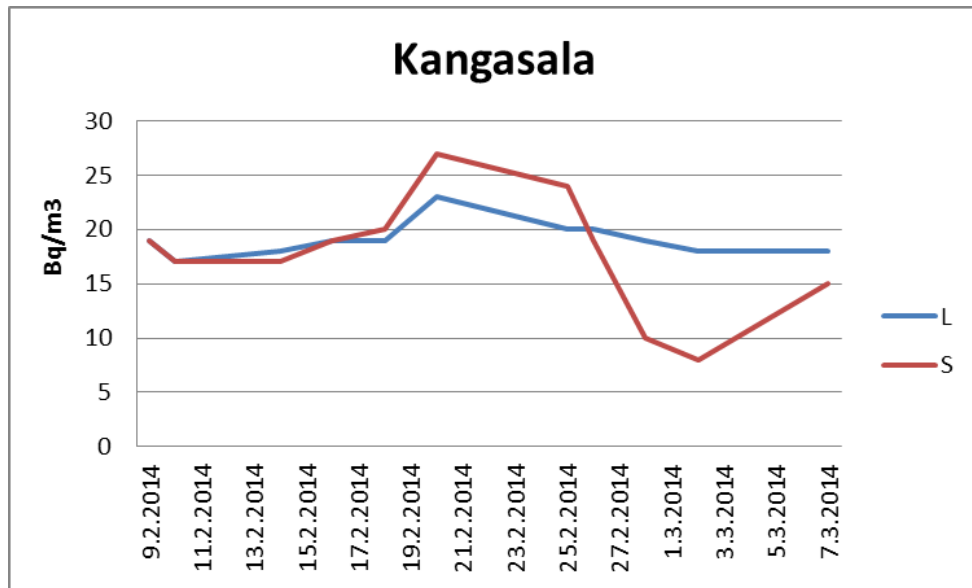
STUKin suosituksen mukaan korjaustoimenpiteitä ehdotetaan harkittavaksi, jos mittausulos ylittää 200 Bq/m<sup>3</sup>. Mittauskohteessa tehdyt mittaukset osoittavat, että suositus on perusteltu.

### **8.3 Omakotitalo Kangasala**

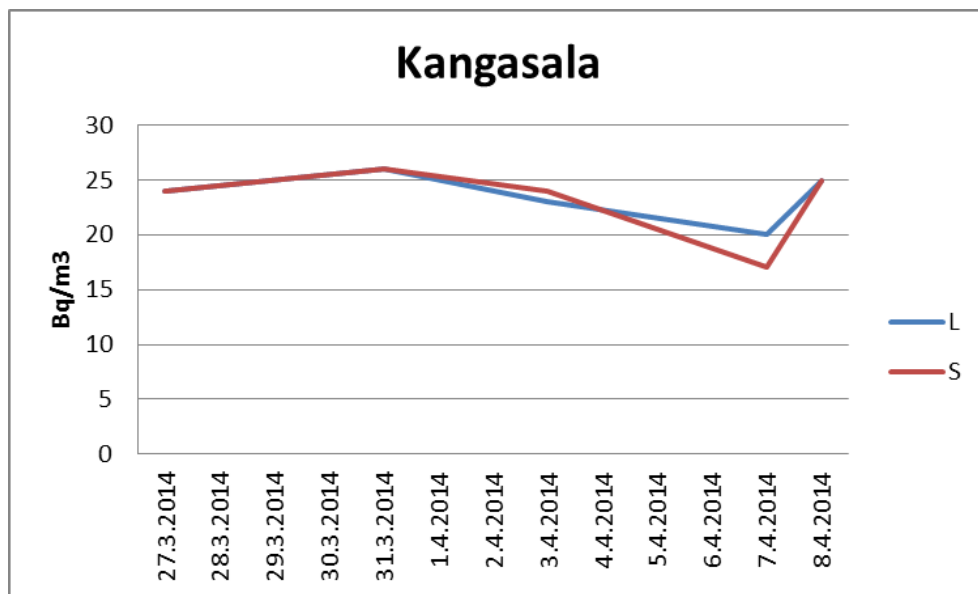
Kangasalan kohteessa mittaustulokset pysyivät alle 100 Bq/m<sup>3</sup>. Maaperä on savinen siltti, eikä lähellä sijaitseva harju oletettavasti vaikuta radonpitoisuuksiin. Rakennusajankana asennettua radonputkistoa ei tarvitse näiden tuloksien perusteella ottaa käyttöön pitoisuuksien ollessa tavoitteellisella tasolla. Talo on toteutettu maanvaraisella laatalla, joten kaikki radon mitä sisätiloissa on, voidaan olettaa tulevan betonista, jota laatassa on käytetty ja mahdollisesti pienessä määrin alustäytöstä rakennuksen alla.

Säteilyturvakeskuksen alfajälki-ilmaisimen etsauksessa tapahtui etsaushäiriö, jonka takia tulosta ei voida pitää luotettavana sen ollessa 20 Bq/m<sup>3</sup>. Uuden mittauskauden alkaessa STUK lähettää ilmaisen mittauspurkin, jolla suoritetaan kohteeseen uusi mittaus.

Landauer Nordicin lyhytaikainen alfajälki-ilmaisim näyttää tässä kohteessa suurimmat radonpitoisuuden lukemat ollen 88 +/- 30 Bq/m<sup>3</sup>, kun integroiva alfajälki-ilmaisim osoitti lukemaksi 41 +/- 20 Bq/m<sup>3</sup>. Kohteessa ollut pika-analysointilaitteeseen laitettiin mittaamaan aluksi kuukaudeksi samaan aikaan muiden kanssa, jonka jälkeen laite nollattiin ja laitettiin uudelleen mittaamaan. Tulokset pysyttelivät laitteella 20 Bq/m<sup>3</sup> tienoilla, joka on samansuuntainen etsaushäiriön kokeneen STUKin alfajälki-ilmaisimen kanssa.



Kuva 24. Ensimmäinen kuukauden kestävä mittaus



Kuva 25. Toinen mittaus, kaksi viikkoa

### 8.3.1 Tulosten analysointi

Mittausvirheiden näkökulmasta tarkasteltuna mittaustuloksia pidetään lähes samantasoisina, koska tulokset jäävät selvästi alle  $100 \text{ Bq/m}^3$  (taulukko 5). STUKin suosituksen mukaan tuloksien jäädessä alle  $200 \text{ Bq/m}^3$ , katsotaan huonetilan radonturvallisuuden olevan riittävä. Kohteessa ei tarvitse tehdä toimenpiteitä.

Taulukko 5. Mittaustulokset Kangasala.

Mittalaite	Radonpitoisuus $\text{Bq/m}^3$	Tilastollinen epävarmuus
Alfajälki-ilmaisim, integroiva (STUK)	20 (etsaushäiriö)	max 25 %
Alfajälki-ilmaisim, lyhytaikainen (Landauer)	88 +/- 30 (88 - 30 = 58)	max 25 %
Alfajälki-ilmaisim, integroiva (Landauer)	41 +/- 20	max 25 %
Puolijohdeilmaisim, (pika-analysaattori)	20 +/- 3 (20 + 3 = 23)	max 25 %

STUKin alfajälki-ilmaisimen etsaushäiriön vuoksi on mahdollista, että kaikki alfajäljet eivät näy.

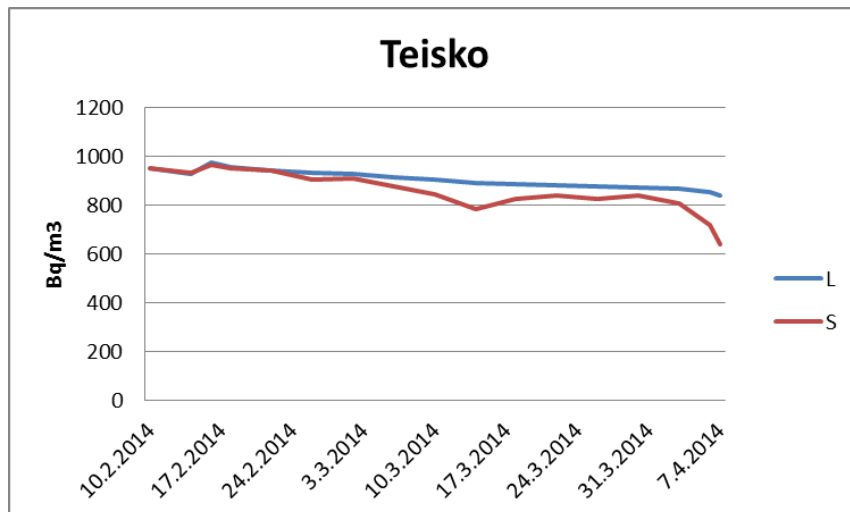
### 8.4 Omakotitalo Teisko

Kallion päälle rakennettu sisäosilta vielä rakennusvaiheessa oleva Teiskon omakotitalo osoittautui korkean radonpitoisuuden kohteeksi. Lukemat osuivat lähelle  $1000 \text{ Bq/m}^3$  radonpitoisuudeltaan. Kallioisen sijaintinsa lisäksi maaperä alueella on sekalaista soraa ja hiekkaa, joka on radonin kulkeutumiselle erittäin herkkää sen huokoisuuden takia. Maanvaraisen laatan alle asennettiin rakennusvaiheessa radonputkisto, joka tullaan ottamaan käyttöön kun rakennus valmistuu.

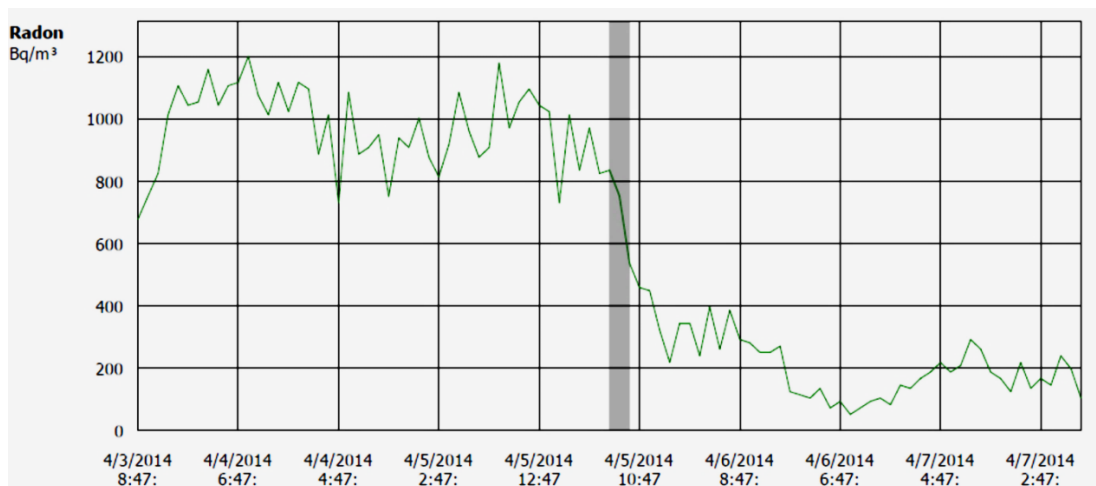
Säteilyturvakeskuksen alfajälki-ilmaisim osoitti radonpitoisuuden lukemaksi  $880 \text{ Bq/m}^3$  ja Landauer Nordicin vastaava alfajälki-ilmaisim näytti samansuuruista lukemaa ollen  $860 \pm 110 \text{ Bq/m}^3$ . Lyhytaikaisen alfajälki-ilmaisimen tulos näytti korkeimman lukeman  $1030 \pm 140 \text{ Bq/m}^3$ .

Pika-analysaattori mittasi kohteessa alfajälki-ilmaisimien kanssa samaan aikaan kaksi kuukautta. Tuloksista huomaa lopussa ilmanvaihdon päälle laittamisen pitoisuuksien jyrkkenevänä laskuna (kuva 26).

Tässä kohteessa käytettiin mittauksiin myös Sarad radon scout mittalaitetta, jolla haluttiin seurata ilmanvaihdon vaikutusta radonpitoisuuden laskuun. Laite asetettiin mittaamaan pariksi päiväksi tilanteeseen, jossa ilmanvaihtoa ei oltu vielä kytketty päälle, jotta tuloksissa näkyisi myös lähtötilanne. Parin päivän jälkeen kytkettiin ilmanvaihtopäälle, joka oli mittauksen loppuun asti päällä (kuva 27). Täydellinen raportti mittalaitteen mitaustuloksista löytyy liitteestä 4. Sarad Radon Scout on aktiiviseen puolijohdeilmaisimeen perustuva näytteenottava mittalaite, joka tallentaa mitaustuloksia tunnin välein.



Kuva 26. Pika-analysaattorin mitaustulokset kahdelta kuukaudelta



Kuva 27. Mitaustulos laitteesta Sarad Radon Scout

### 8.4.1 Tulosten analysointi

Teiskon kohteessa saatiin kaikista mittaustuloksista selkeästi samantasoisia. Mittaustulokset vaihteluineen mahtuvat hyvin mittausvirhetoleranssien ja mittausepävarmuuden rajoihin. Mittaustulokset osoittavat radonpitoisuuden olevan huomattavan korkealla.

Mittauskohteessa tehdyllä lyhytaikaisella mittauksella tutkittiin ilmanvaihdon vaikutusta radonpitoisuuden tasoon kohdassa 8.3 kerrotulla tavalla. Mittaustulos osoittaa radonpitoisuuden vähenevän 200 Bq/m<sup>3</sup> tasolle ilmanvaihdon lisäämisen ansiosta. Tämän muutoksen vaikutus tutkittiin käyttämällä Sarad Radon Scout – mittalaitetta.

Kohteeseen on rakennettu maanvaraisen lattian alle radonpoistoputkista, jonka odotetaan yhdessä ilmanvaihdon kanssa vähentävän radonpitoisuus riittävän alhaiselle tasolle.

Taulukko 6. Mittaustulokset Teisko.

Mittalaite	Radonpitoisuus Bq/m <sup>3</sup>	Tilastollinen epävarmuus
Alfajälki-ilmaisain, integroiva (STUK)	880	max 25 %
Alfajälki-ilmaisain, lyhytaikainen (Landauer)	860 +/- 110	max 25 %
Alfajälki-ilmaisain, integroiva (Landauer)	1030 +/- 140	max 25 %
Puolijohdeilmaisin (pika-analysaattori)	800 +/- 173	max 25 %

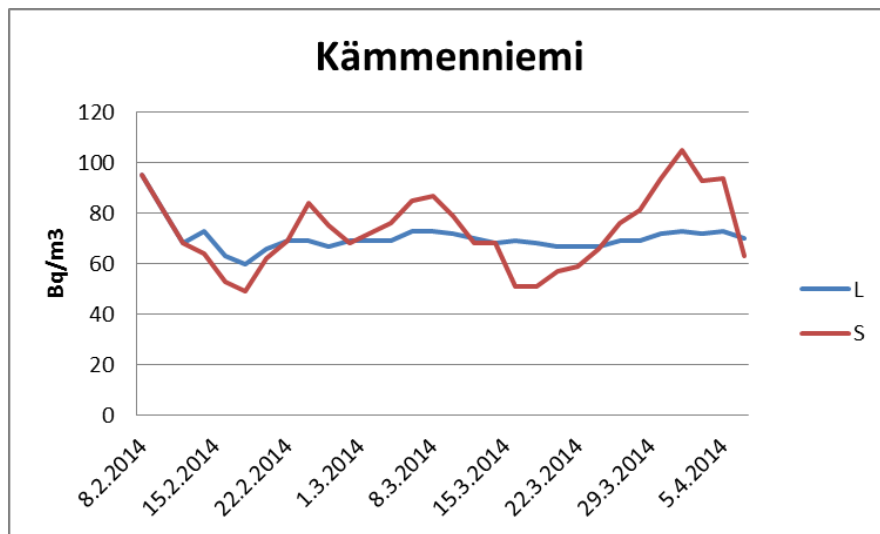
### 8.5 Omakotitalo Kämmenniemi

Kämmenniemen kohteen omakotitalon perustus on toteutettu rossipohjaisena kallion päälle maaperän muutoin ollessa savimaista. Talo on vanha hirsitalo, jossa rakenteet ovat puisia. Kohteen radonpitoisuudet olivat n. 100 Bq/m<sup>3</sup> tienoilla, joista suurimman osan voidaan olettaa tulevan talon alla olevasta kalliosta ja porakaivovedestä.

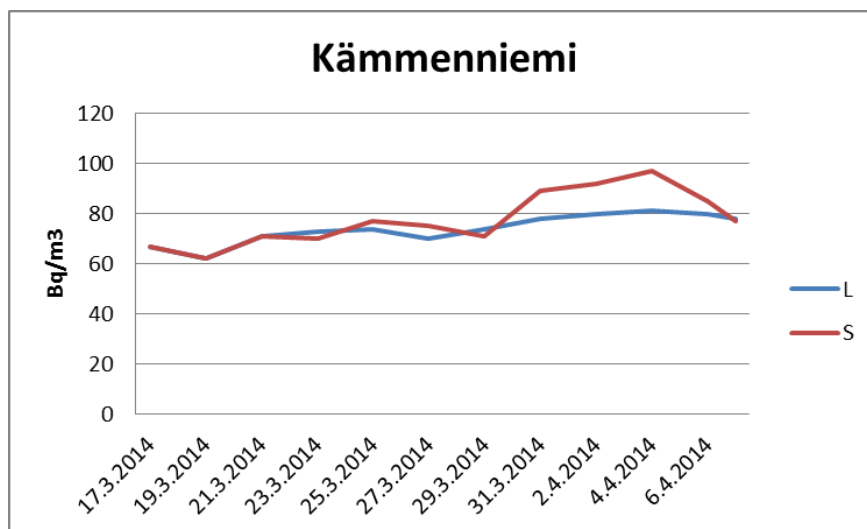
Säteilyturvakeskuksen mittaustulos antoi radonpitoisuuden lukemaksi 100 Bq/m<sup>3</sup>, kun vastaava Landauer Nordicin alfajälki-ilmaisain osoitti lukemat 94 +/- 20 Bq/m<sup>3</sup>. Suu-

rimmat lukemat tulivat jälleen lyhytaikaisella alfajälki-ilmaisimella, joka näytti pitoisuuden lukemaksi  $140 \pm 30 \text{ Bq/m}^3$ .

Tässäkin kohteessa tehtiin mittaus pika-analysaattorilla, jonka tulokset olivat suhteellisen alhaiset alfajälki-ilmaisimien tuloksiin. Kohteeseen laitettiin pika-analysaattori mittaamaan muiden mittalaitteiden kanssa kahdeksi kuukaudeksi (kuva 28). Loppuvaiheessa laitettiin vielä toinen pika-analysaattori viereen mittaamaan muutamaksi viikoksi, jotta nähtäisiin kuinka samanlaisia tuloksia vierekkäiset laitteet näyttävät pidemmällä ajalla (kuva 29).



Kuva 28. Kahden kuukauden mittaus, pika-analysaattori 1



Kuva 29. Pika-analysaattori 2 mittaustulos muutamalta viikolta

### 8.5.1 Tulosten analysointi

Kaikista mittauslaitteista saatiin tässäkin kohteessa lähes samantasoisia tuloksia keskiarvon pysyessä n. 100 Bq/m<sup>3</sup> tasolla. Mittaustulosten perusteella ja STUKin ilmoittaman 200 Bq/m<sup>3</sup> pitoisuusrajan perusteella voidaan arvioida huonetilan radonturvallisuuden olevan riittävä.

Taulukko 7. Mittaustulokset Kämmenniemi.

Mittalaite	Radonpitoisuus Bq/m <sup>3</sup>	Tieteellinen epävarmuus
Alfajälki-ilmaisim, integroiva (STUK)	100	max 25 %
Alfajälki-ilmaisim, lyhytaikainen (Landauer)	140 +/- 30	max 25 %
Alfajälki-ilmaisim, integroiva (Landauer)	94 +/- 20	max 25 %
Puolijohdeilmaisin (pika-analysointori)	78 +/- 17 (78 + 17 = 95)	max 25 %

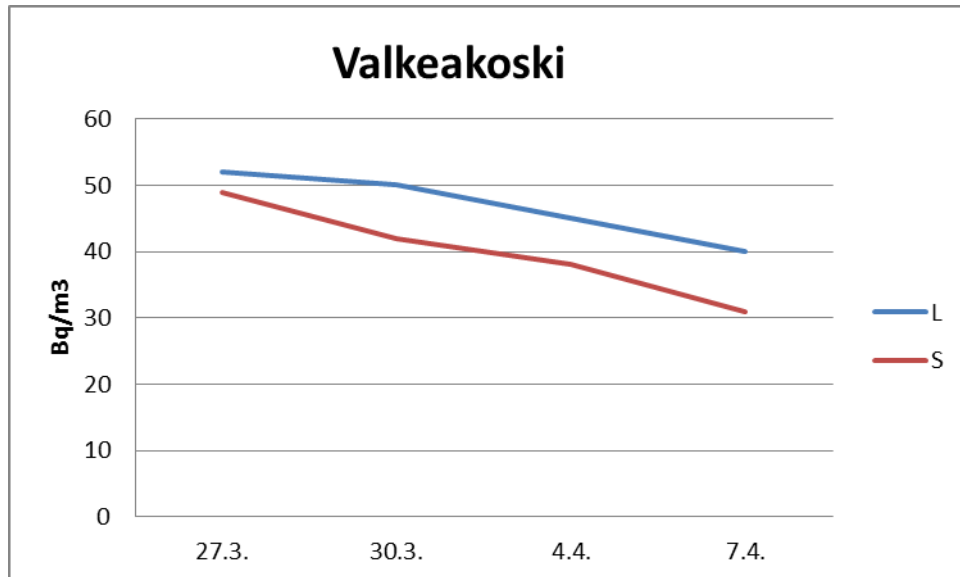
### 8.6 Omakotitalo Valkeakoski

Valkeakosken kohteen talo on puurakenteinen ja kellarillinen, jossa kellariin kuljetaan erillisen oven kautta. Maaperä alueella on savimaista, mutta talon ympärille on vaihdettu kesällä 2013 soratäyttö remontin yhteydessä. Kohteen radonpitoisuudet pysyttelivät lähinnä alle 100 Bq/m<sup>3</sup> ollen tavoitteellisella tasolla. Kellariin johtavan oven myötä ylempiin asuintiloihin ei luultavasti nouse juuri ollenkaan radonia, joka on ihanteellinen tilanne asuinrakennukselle.

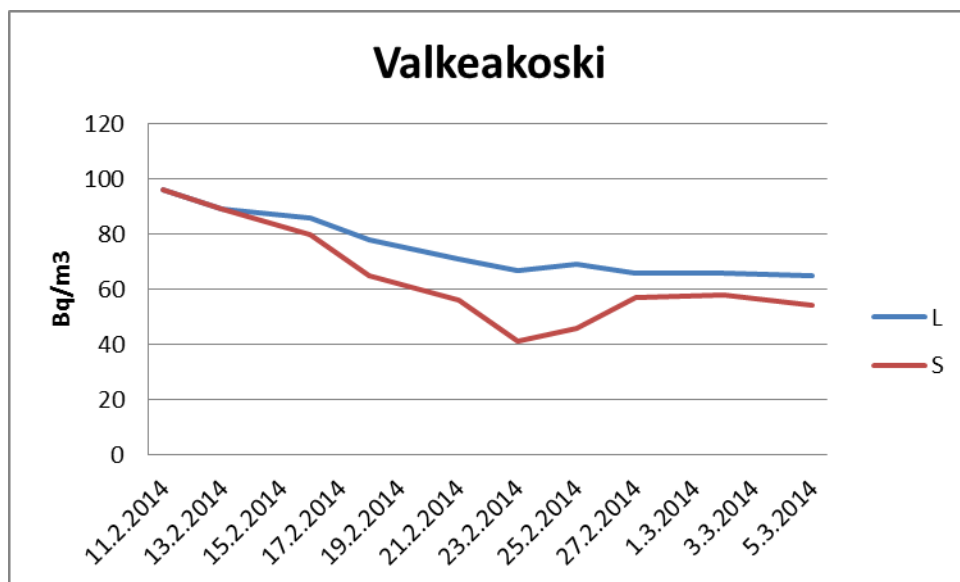
Säteilyturvakeskuksen alfajälki-ilmaisim antoi mittauslukemaksi vain 50 Bq/m<sup>3</sup> ja jälleen saatiin samansuuntaisia lukemia myös Landauer Nordicin vastaavasta alfajälki-ilmaisimesta tuloksen ollessa 45 +/- 20 Bq/m<sup>3</sup>. Lyhytaikainen alfajälki-ilmaisim antoi yllättävän suuren lukeman 130 +/- 30 Bq/m<sup>3</sup>, jolloin on huomattavissa selkeästi lyhyempien mittausjaksojen pienet epävarmuudet.

Kohteessa mitannut pika-analysointori mittasi alussa 10 vuorokautta (kuva 30), jonka jälkeen laite nollattiin ja viikon tauon jälkeen laitettiin jälleen mittaamaan loppuajaksi

(kuva 31). Tuloksista huomaa, että nollauksen jälkeen uuden mittauksen alussa on ollut hetkittäistä radonpitoisuuden nousua, joka on jälleen tasaantunut mittauksen loppua kohden lähelle ensimmäisen mittauksen tuloksia.



Kuva 30. Ensimmäisen 10 vuorokauden mittaus



Kuva 31. Mittauksen 2 tulokset



### 8.6.1 Tulosten analysointi

Valkeakosken kohteessa on huomattavissa selkeästi vaihtelua radonpitoisuuksissa (taulukko 8). Tuloksista voidaan nähdä radonpitoisuuden olleen mittausjakson alussa korkeammalla kuin mittausjakson loppupuolella. Lyhytaikainen Landauer Nordicin alfajälki-ilmaisimien ja puolijohdeilmaisimien mittasivat kumpikin alkutilannetta ja tulokset näyttävät selkeästi korkeampia tuloksia verrattaessa integroiviin alfajälki-ilmaisimien tuloksiin.

Tarkasteltaessa puolijohdeilmaisimella tehtyä toista mittausta ja siitä saatua tulosta, voidaan huomata radonpitoisuuden olevan nyt samalla tasolla integroivien alfajälki-ilmaisimien kanssa. Mittausjakson alkupuolella vallinnut sää on mahdollisesti vaikuttanut radonpitoisuuden suuruuteen korottavasti.

Radonpitoisuuden mittaustulokset pysyvät selkeästi alle  $100 \text{ Bq/m}^3$ , joten kohteessa huonetilan radonturvallisuus on riittävä eikä toimenpiteille ole tarvetta.

Taulukko 8. Mittaustulokset Valkeakoski.

Mittalaite	Radonpitoisuus $\text{Bq/m}^3$	Tieteellinen epävarmuus
Alfajälki-ilmaisimien, integroiva (STUK)	50	max 25 %
Alfajälki-ilmaisimien, lyhytaikainen (Landauer)	130 +/- 30	max 25 %
Alfajälki-ilmaisimien, integroiva (Landauer)	45 +/- 20	max 25 %
Puolijohdeilmaisimien (pika-analysaattori)	65 +/- 31 40 +/- 12	max 25 %

## 9 YHTEENVETO

Passiivisella filmimateriaaleihin perustuvalla alfajälki-ilmaisimella mitatut tulokset saadaan aikaan hitaan ja monivaiheisen prosessin kautta. Lisäksi prosessiin liittyy runsaasti epävarmuustekijöitä, jotka syntyvät pääosin mittausjakson jälkeen tapahtuvassa filmin käsittelyssä (etsaus). Mittaukseen käytetyt välineet ovat yksinkertaisia ja halpoja, mutta mittaustuloksen tuottaminen työllistää laboratoriohenkilökuntaa ja edellyttää kalliita laboratoriolaitteita. Landauer Nordic robottilaboratorion prosessissa on inhimilliset virheet suljettu pois ja laboratorion virhemarginaali on erittäin pieni (n.3,8 %).

Puolijohdeilmaisimiin perustuvat aktiiviset mittausmenetelmät ovat monipuolisia mahdollistaen lyhyt- ja pitkäaikaiset mittaukset. Mittausvälineet ovat kalliita ja mittalaitteesta riippuen työllistävät mittaushenkilökuntaa tulosten tuottamisessa. Puolijohdeilmaisimet mahdollistavat korjaustoimenpiteiden kontrollimittauksia, joilla voidaan arvioida nopeasti korjausten vaikutusta aikaa säästäten. Lyhytaikaisluennan aikana voidaan mittalaitteen integroimassa keskiarvossa nähdä muutoksia radonpitoisuuden vuorokausivaihtelusta. Useasta paikasta saatavien halpojen radonmittauslaitteiden ongelmana on laitteiden kalibroimattomuus ja sitä kautta jopa suuret virheet. Tutkimuksissa olleet Suomen radonhallinta Oy:n radonmittalaitteet olivat virallisesti valmistajan kalibroimia.

Passiiviset pitkäaikaismittaukset ovat yksityisille huoneistojen ja kiinteistöjen omistajille edullisimpia radonin määrittäytapoja, kun taas aktiiviset mittalaitteet ovat nopeutensa ansiosta edullisia rakennus- ja korjausrakentamisen yrityksille nopeuttaen suunnittelua ja rakennustöitä. Korjaavien toimenpiteiden vaikutuksia tutkittiin Teiskon kohteessa, jossa keskeneräisessä rakennuksessa lisättiin ilmanvaihtoa, muutosta kontrolloitiin Sarad Radon Scout – mittalaitteella. Mittaustulokset ilmenevät liitteestä 4. Ilmanvaihtoa tehostettiin koneellisella poistolla ja korvausilmaventtiileillä. Koneellisessa poistossa käytettiin ilmastointikoneen pienintä tehoa ja korvausilmaventtiileinä käytettiin Bioben valmistamia ikkunaventtiileitä, jotka olivat asennettuna ikkunakarmin yläosaan.

Mittausmenetelminä kaikki testatut laitteet osoittautuivat radonpitoisuuden määrittämisessä käyttökelpoisiksi. Tulosten kanssa tulee muistaa, että tärkeintä on ymmärtää radonpitoisuuden tasot ja niiden merkitykset terveytemme. Tyypillisesti tuloksessa esitettyihin radonpitoisuuden kahden viimeisen numeron suuruuteen ei tule kiinnittää suurtakaan huomioarvoa tuloksia tulkittaessa.

## LÄHTEET

Jokela, K. 2006. Sähkömagneettiset kentät. Ionisoimaton säteily ja sähkömagneettiset kentät. Hämeenlinna: Karisto.

Kuinka paljon talvella mitattu radonpitoisuus poikkeaa vuosikeskiarvosta? Nd. Säteilyturvakeskus. Tulostettu 18.5.2014.

[http://www.stuk.fi/ajankohtaista/ukk/radon/radon/fi\\_FI/radon6/\\_print/#](http://www.stuk.fi/ajankohtaista/ukk/radon/radon/fi_FI/radon6/_print/#)

Neuvoston direktiivi 2013/59/Euratom.

Perustietoa radonista. 2014. Säteilyturvakeskus. Luettu 29.4.2014.

[http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/radon/fi\\_FI/mita\\_radon\\_on/](http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/radon/fi_FI/mita_radon_on/)

Radon. 2014. Luettu 24.4.2014. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto.

[http://www.valvira.fi/ohjaus\\_ja\\_valvonta/terveydensuojelu/asumisterveys/radon](http://www.valvira.fi/ohjaus_ja_valvonta/terveydensuojelu/asumisterveys/radon)

Radon ja talousvesi. Suomen radonhallinta. <http://suomenradonhallinta.fi/radon-info/radon-ja-talousvesi>

Radon Suomessa. 2014. Säteilyturvakeskus. Luettu 2.5.2014.

[http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/radon/fi\\_FI/pitoisuudet/](http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/radon/fi_FI/pitoisuudet/)

Sisäilman radon -esite. 2011. Säteilyturvakeskus.

Säteilyasetus 20.12.1991/1512.

Sosiaali- ja terveysministeriön päätös asuntojen huoneilman radonpitoisuuden enimmäisarvoista 944/1992.

Pääkkönen, R., Kyttälä, I. 2000. Säteilyt ja sähkömagneettiset kentät työympäristössä. Helsinki: Työterveyslaitos.

ST 1.9 Säteilytoiminta ja säteilymittaukset. 2008.

ST 12.1 Säteilyturvallisuus luonnonsäteilylle altistavassa toiminnassa. 2011.

Säteilylaki 27.3.1991/592.

Säteilyt ja sähkömagneettiset kentät työympäristössä. Työterveyslaitos 2000. West Point. Rauma ISBN 951-802-350-6. Luettu 29.4.2014.

Talousveden radon ja muut radioaktiiviset aineet. 2013. Säteilyturvakeskus. Luettu 24.4.2014. [http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/talousvesi/fi\\_FI/talousvesi/](http://www.stuk.fi/sateily-ymparistossa/talousvesi/fi_FI/talousvesi/)

Troost, W., Vinciarelli, P. 2008. Nuclear Track Detector. SLIM Corporation.

Uraani – ydinvoiman energiametalli. 2014. Geologian tutkimuskeskus. Luettu 2.5.2014.

<http://www.gtk.fi/system/print.html?from=/geologia/luonnonvarat/uraani/index.html>

Viander, M. 2007. Mittausepävarmuudesta. FINAS S33/1996 – ISO 3534-1. Luettu 29.4.2014.

Weltner, A., Arvela, H., Turtiainen, T., Mäkeläinen, I. & Valmari, T. Säteilystä ympäristössä. Radon sisäilmassa. 2003.

World Health Organization. 2009. WHO Handbook on indoor radon. A Public health perspective.

## LIITTEET

## Liite 1. Säteilyturvakeskuksen (STUK) radonmittauksen tulosraportti (2 kk)

1 (3)



16.04.2014

97493/RADON

Siren Margit

**HUONEILMAN RADONMITTAUS**

Palauttamienne filmipurkkien perusteella Säteilyturvakeskus on määrittänyt radonpitoisuudet niissä huoneiloissa, joissa purkkeja on pidetty. Edellyttäen, että tilaajan Säteilyturvakeskukselle ilmoittamat tiedot ovat oikeat ja mittauspurkkien huoneiloihin sijoittamisessa on noudatettu Säteilyturvakeskuksen antamia ohjeita, ovat mitattujen huoneilojen radonpitoisuudet olleet kyseisenä mittausaikana oheisen tulosliitteen mukaiset.

**Jos mittaustulos ylittää 400 Bq/m<sup>3</sup>**

Säteilyturvakeskus suosittelee asunnon omistajaa tai haltijaa ryhtymään toimenpiteisiin radonpitoisuuden pienentämiseksi niissä huoneiloissa, joissa mittaustulos on ylittänyt 400 Bq/m<sup>3</sup>. Näissä tiloissa radonpitoisuuden vuosikeskiarvo ylittää sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä (944/92) annetun enimmäisarvon huoneilman radonpitoisuudelle tai on sitä lähellä. Tulosliitteessä tällaiset tulokset on merkitty huomautuksella "korjausta suositellaan". Uusintamittaus tehtyjen korjaustoimenpiteiden tehokkuuden todentamiseksi on suositeltavaa.

**Jos mittaustulos ylittää 200 Bq/m<sup>3</sup>**

Jos mitattu huoneilman radonpitoisuus ylittää 200 Bq/m<sup>3</sup>, Säteilyturvakeskus suosittelee asunnon omistajaa tai haltijaa käyttämään tarkoituksenmukaisia, helposti toteutettavia korjaustoimenpiteitä radonpitoisuuden alentamiseksi (esim. ilmanvaihdon tehostaminen). Tämä radonpitoisuus vastaa sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä rakennettaville asunnoille annettua tavoitteellista enimmäisarvoa. Tulosliitteessä tällaiset tulokset on merkitty huomautuksella "korjausta syytä harkita". Uusintamittaus tehtyjen korjaustoimenpiteiden tehokkuuden todentamiseksi on suositeltavaa.

**Jos mittaustulos alittaa 200 Bq/m<sup>3</sup>**

Jos mitattu huoneilman radonpitoisuus on alle 200 Bq/m<sup>3</sup>, Säteilyturvakeskus katsoo kyseisen huoneilan radonturvallisuuden olevan riittävä. Tulosliitteessä tällaiset tulokset on merkitty huomautuksella "ei toimenpiteitä".

**Mistä lisätietoja?**

Kunnan terveys- ja rakennusviranomaiset antavat neuvoja radonin torjuntaan liittyvissä asioissa. Heiltä saa myös tietoja radonkorjausavustuksista ja niiden hakemisesta.

Laboratorioinsinööri

Tiina Oinas

LIITE Tulosliite

Säteilyturvakeskuksen Ympäristön säteilyvalvontaosasto (VALO) on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T167, akkreditointivaatimus EN ISO/IEC 17025:2005. Tulosten tulkinta ei sisälly akkreditointiin.

STUK SÄTEILYTURVAKESKUS STRÅLSÄKERHETS CENTRALEN RADIATION AND NUCLEAR SAFETY AUTHORITY	OSOITE/ADDRESS	POSTIOSOITE/POSTAL ADDRESS	PUH/TEL	FAX
	Laippatie 4 00881 Helsinki/Helsingfors	Laippatie 4, PL/P.O.Box 14 FIN - 00881 HELSINKI	(09) 759 881 +358 9 759 881	09 759 88 556 +358 9 759 88 556

(jatkuu)



TULOSLIITE

16.04.2014

97493/RADON

Purkin-numero	Mittausaika	Radonpitoisuus Bq/m <sup>3</sup>	Huone/kerros	Huom	Toimenpide
343428	06.02.2014 - 07.04.2014	880	oh 1		korjausta suositellaan
343429	06.02.2014 - 07.04.2014	100	oh 1		ei toimenpiteitä
343430	07.02.2014 - 08.04.2014	320	takkah 0		korjausta syytä harkita
343431	07.02.2014 - 08.04.2014	50	autotalli 0		ei toimenpiteitä
343432	06.02.2014 - 08.04.2014	< 20	oh 1	40	ei toimenpiteitä

Säteilyturvakeskuksen Ympäristön säteilyvalvontaosasto (VALO) on FINAS-akkredointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T167, akkreditointivaatimus EN ISO/IEC 17025:2005. Tulosten tulkinta ei sisälly akkreditointiin.

STUK SÄTEILYTURVAKESKUS STRÅLSÄKERHETSCENTRALEN RADIATION AND NUCLEAR SAFETY AUTHORITY	OSOITE/ADDRESS	POSTIOSOITE/POSTAL ADDRESS	PUH/TEL	FAX
	Laippatie 4 00681 Helsinki/Helsingfors	Laippatie 4, PL/P.O.Box 14 FIN - 00881 HELSINKI	(09) 759 881 +358 9 759 881	09 759 88 556 +358 9 759 88 556

(jatkuu)



## LIITE TULOSKIRJEeseen

## HUOM

10. MITTAUSPURKKI AVATTU ASIAKKAAN LUONA. MITTAUS PILALLA, EI TULOSTA.
11. MITTAUSPURKKI AVATTU ASIAKKAAN LUONA. MITTAUS PILALLA/TULOS EPÄLUOTETTAVA.
21. PUUTTEELLISET TIEDOT LOMAKKEELLA. TULOS VOIDAAN LASKEA, KIIN SAADAAN TARKAT TIEDOT.
22. MITTAUKSEN ALOITUSPÄIVÄ JA/TAI LOPETUSPÄIVÄ ARVIOITU.
25. TULOS MUUTTUNUT EDELLISESTÄ TULOSKIRJEESTÄ, ASIAKAS ILMOITTANUT UUDEN MITTAUSAJAN.
28. MITTAUSPURKKI PALAUTETTU KÄYTTÄMÄTTÖMÄNÄ.
30. SELVITYS ERIKSEEN.
33. YLI 2 VIIKKOA MATKALLA - POSTITUSPÄIVÄN JA ALOITUSPÄIVÄN JA/TAI LOPETUSPÄIVÄN JA SAAPUMISPÄIVÄN VÄLINEN ERO YLI 2 VIIKKOA. PITKÄ SÄILYTYSAIKA ON SAATTANUT VAIKUTTAA TULOKSEN TARKKUUTEEN.
40. LIEVÄ ETSAUSHÄIRIÖ, TULOS ARVIOITU KONTROLLIFILMIN AVULLA.
41. ETSAUSHÄIRIÖ, ASIAKAS SAA UUDEN ILMAISEN MITTAUKSEN.
42. MATERIAALIVIRHE, ASIAKAS SAA UUDEN ILMAISEN MITTAUKSEN.
50. PURKKI KADONNUT.

ASUNTOJEN RADONKORJAUKSEN MENETELMÄT - TILAUSKORTTI  
ASIAKKAALLE, JONKA RADONPITOISUUS ON YLI 200 BQ/M<sup>3</sup>

## Liite 2. Suomen radonhallinta Oy:n radonmittauksen tulosraportti (2 kk)

1 (5)

**RAPORTTI****Huoneilman radonpitoisuuden mittaus**

alfa jälki-ilmaisimen avulla\*

RAPORTTIVALMISTUNUT:

2014-04-23

PÄIVÄYS: 2014-04-23

MITTAUKSEN ON TEETTÄNYT:

Margit Sirén

TEHTÄVÄNUMERO: 4274949 : 1

Margit Sirén

Raporttisivu 1 (1)

Tampere

Tampere

PUHNUMERO:

RAPORTIN VASTAANOITTAJA:

Margit Sirén

**Mittauksen kuvaus**

Suomen Säteilyturvakeskus (STUK) on hyväksynyt Landauer Nordic mittausmenetelmän (1/340/09). Mittaus on suoritettu merkkifilmillä suodatinta käyttäen Ruotsin säteilyturvaviranomaisen, i 2005:01, antaman menetelmäkuvausten mukaan. Ilmaisimet ovat olleet säteilylle altistettuina ajalla 2014-02-07 - 2014-04-08. Ilmaisimet saapuivat Landauer Nordic:aan ja ne esikäsiteltiin 2014-04-15. Ilmaisimet mitattiin 2014-04-22.

**Kiinteistötiedot koepaikalta**

Mittausrasian osoite:

Nokia

Kiinteistötunnus:

Rakennustyyppi:

Pientalo

Rakennusvuosi:

Ilmanvaihto:

Ei tiedossa

Perustukset:

Radonkorjauksia?:

Milloin (korjattu):

Kellari

Ei

Margit Sirén

on antanut kiinteistötiedot ja vahvistanut, että kaikkia mittaukseen liittyviä ohjeita on noudatettu.

**Mitatut radonkaasupitoisuudet**

Ilmaisin	Huonenumero	Huonetyyppi	Kerrostaso	Mittausarvo Bq/m <sup>3</sup>
537973	Takkahuone	Oleskelutila	Kellari	190 +/- 30

**Mittauksen liitetietoja**

X000000-1000000/000-0000/000-0000/000-0000

Sandra Olsson (Sähköisesti allekirjoitetun)

Allekirjoitus LANDAUER NORDIC laboratoriovastaava

**Katso kääntöpuoli.**

\* Säteilyturvakeskuksen hyväksymä mittausmenetelmä (1/340/09)



Phone: 045 888 94 04

E-mail: info@landauernordic.se

Internet: www.landauernordic.se

(jatkuu)





## RAPORTTI

RAPORTTIVALMISTUNUT:  
2014-04-23

MITTAUKSEN ON TEETTÄNYT:  
Margit Sirén

## Huoneilman radonpitoisuuden mittaus

alfa jälki-ilmaisimen avulla\*

PÄIVÄYS: 2014-04-23

TEHTÄVÄNUMERO: 4274950 : 1  
Margit Sirén  
Ruskontie 6 A 1  
33710 Tampere

Raporttisivu 1 (1)

Puhelin:

RAPORTIN VASTAANOITTAJA:  
Margit Sirén

### Mittauksen kuvaus

Suomen Säteilyturvakeskus (STUK) on hyväksynyt Landauer Nordic mittausmenetelmän (1/340/09). Mittaus on suoritettu merkifilmillä suodatinta käyttäen Ruotsin säteilyturvaviranomaisen, i 2005:01, antaman menetelmäkuvauksen mukaan. Ilmaisimet ovat olleet säteilylle altistettuina ajalla 2014-02-06 - 2014-04-08. Ilmaisimet saapuivat Landauer Nordic:aan ja ne esikäsiteltiin 2014-04-15. Ilmaisimet mitattiin 2014-04-22.

### Kiinteistötiedot koepaikalta

Mittausrasian osoite:

Kangasala

**Kiinteistötunnus:**  
**Rakennustyyppi:** Pientalo  
**Rakennusvuosi:** 2008  
**Ilmanvaihto:** Kon. poisto- ja tuloilma

**Perustukset:**  
**Radonkorjauksia?:** Maanvarainen laatta  
**Milloin (korjattu):** Ei

Margit Sirén

on antanut kiinteistötiedot ja vahvistanut, että kaikkia mittaukseen liittyviä ohjeita on noudatettu.

### Mitatut radonkaasupitoisuudet

Ilmaisim.	Huononimike	Huonetyyppi	Kerrostaso	Mittausarvo Bq/m <sup>3</sup>
613393	Olo- / työhuone	Oleskelutila	1. kerros	41 +/- 20

### Mittauksen liitetietoja

**SUOMEN RADONHALLINTA**

RADONMITTAUSPALVELUT  
asunnot, työpaikat,  
koulut, päiväkodit,  
julkiset tilat

MYYPYPALVELU  
010 323 1000  
myy@suomenradonhallinta.fi

**www.suomenradonhallinta.fi**

Sandra Olsson (Sähköisesti allekirjoitetun)  
Allekirjoitus LANDAUER NORDIC laboratoriovastaava  
**Katso kääntöpuoli.**

\* Säteilyturvakeskuksen hyväksymä mittausmenetelmä (1/340/09)



Phone: 045 888 94 04  
E-mail: info@landauernordic.se  
Internet: www.landauernordic.se

(jatkuu)



## RAPORTTI

RAPORTTI VALMISTUNUT:  
2014-04-23  
MITTAUKSEN ON TEETTÄNYT:  
Margit Sirén

Tampere

PUH.NRO:

RAPORTIN VASTAANOTTAJA:  
Margit Sirén

## Huoneilman radonpitoisuuden mittaus

alfa jälki-ilmaisimen avulla\*

PÄIVÄYS: 2014-04-23

TEHTÄVÄNUMERO: 4274951 : 1  
Margit Sirén

Raporttisivu 1 (1)

Tampere

### Mittauksen kuvaus

Suomen Säteilyturvakeskus (STUK) on hyväksynyt Landauer Nordic mittausmenetelmän (1/340/09). Mittaus on suoritettu merkifilmillä suodatinta käyttäen Ruotsin säteilyturvaviranomaisen, i 2005:01, antaman menetelmäkuvauksen mukaan. Ilmaisimet ovat olleet säteilylle altistettuina ajalla 2014-02-06 - 2014-04-07. Ilmaisimet saapuivat Landauer Nordic:aan ja ne esikäsiteltiin 2014-04-15. Ilmaisimet mitattiin 2014-04-22.

### Kiinteistötiedot koepaikalta

Mittausrasian osoite:

Teisko

Kiinteistötunnus:

Rakenteilla

Perustukset:

Maanvarainen laatta

Rakennustyyppi:

Pientalo

Radonkorjauksia?:

Ei

Rakennusvuosi:

Milloin (korjattu):

Iilmanvaihto:

Margit Sirén

on antanut kiinteistötiedot ja vahvistanut, että kaikkia mittaukseen liittyviä ohjeita on noudatettu.

### Mitatut radonkaasupitoisuudet

Ilmaisim.	Huononimike	Huonontyyppi	Kerrostaso	Mittausarvo Bq/m <sup>2</sup>
495591		Asuintila	1. kerros	860 +/- 110

### Mittauksen liitetietoja



K000600 - JOKO / 2014-11-18 / CH/CLL

Sandra Olsson (Sähköisesti allekirjoitetun)

Allekirjoitus LANDAUER NORDIC laboratoriovastaava

**Katso kääntöpuoli.**

\* Säteilyturvakeskuksen hyväksymä mittausmenetelmä (1/340/09)



Phone: 045 888 94 04  
E-mail: info@landauernordic.se  
Internet: www.landauernordic.se

(jatkuu)



## RAPORTTI

## Huoneilman radonpitoisuuden mittaus

alfa jälki-ilmaisimen avulla\*

RAPORTTI VALMISTUNUT:  
2014-04-23

PÄIVÄYS: 2014-04-23

MITTAUKSEN ON TEETTÄNYT:  
Margit Sirén

TEHTÄVÄNUMERO: 4274952 : 1  
Margit Sirén

Raporttisivu 1 (1)

Tampere

Tampere

PUHNUMERO

RAPORTIN VASTAANOTTAJA:  
Margit Sirén

### Mittauksen kuvaus

Suomen Säteilyturvakeskus (STUK) on hyväksynyt Landauer Nordic mittausmenetelmän (1/340/09). Mittaus on suoritettu merkkifilmillä suodatinta käyttäen Ruotsin säteilyturvaviranomaisen, i 2005:01, antaman menetelmäkuvauksen mukaan. Ilmaisimet ovat olleet säteilylle altistettuina ajalla 2014-02-06 -2014-04-07. Ilmaisimet saapuivat Landauer Nordic:aan ja ne esikäsiteltiin 2014-04-15. Ilmaisimet mitattiin 2014-04-22.

### Kiinteistötiedot koepaikalta

Mittausrasian osoite:

Kämmenniemi

Kiinteistötunnus:

Rakennustyyppi:

Rakennusvuosi:

Ilmanvaihto:

Pientalo

1926

Kon. + lämmön talteenotto

Perustukset:

Radonkorjauksia?:

Milloin (korjattu):

Ryömintätila

Ei

Margit Sirén

on antanut kiinteistötiedot ja vahvistanut, että kaikkia mittaukseen liittyviä ohjeita on noudatettu.

### Mitatut radonkaasupitoisuudet

Ilmaisim.	Huononimike	Huonetyyppi	Kerrostaso	Mittausarvo Bq/m <sup>3</sup>
590000		Oleskelutila	1. kerros	94 +/- 20

### Mittauksen liitetietoja



00000000-00000000-00000000-00000000-00000000

Sandra Olsson (Sähköisesti allekirjoitetun)

Allekirjoitus LANDAUER NORDIC laboratoriovastaava

**Katso kääntöpuoli.**

\* Säteilyturvakeskuksen hyväksymä mittausmenetelmä (1/340/09)



Phone: 045 888 94 04  
E-mail: info@landuernordic.se  
Internet: www.landuernordic.se

(jatkuu)



## RAPORTTI

RAPORTTIVALMISTUNUT:  
 2014-04-23  
 MITTAUKSEN ON TEHTÄNYT:  
 Margit Sirén

## Huoneilman radonpitoisuuden mittaus

alfa jälki-ilmaisimen avulla\*

PÄIVÄYS: 2014-04-23

TEHTÄVÄNUMERO: 4274954 : 1  
 Margit Sirén

Raporttisivu 1 (1)

Tampere

PUHNUMERO

RAPORTIN VASTAANOTTAJA:  
 Margit Sirén

### Mittauksen kuvaus

Suomen Säteilyturvakeskus (STUK) on hyväksynyt Landauer Nordic mittausmenetelmän (1/340/09). Mittaus on suoritettu merkkipilmillä suodatinta käyttäen Ruotsin säteilyturvaviranomaisen, i 2005:01, antaman menetelmäkuvauksen mukaan. Ilmaisimet ovat olleet säteilylle altistettuina ajalla 2014-02-07 - 2014-04-08. Ilmaisimet saapuivat Landauer Nordic:aan ja ne esikäsiteltiin 2014-04-15. Ilmaisimet mitattiin 2014-04-22.

### Kiinteistötiedot koepaikalta

Mittausrasian osoite:

Valkeakoski

<b>Kiinteistötunnus:</b>		<b>Perustukset:</b>	Kellari
<b>Rakennustyyppi:</b>	Pientalo	<b>Radonkorjauksia?:</b>	Ei
<b>Rakennusvuosi:</b>	1960	<b>Milloin (korjattu):</b>	
<b>Ilmanvaihto:</b>	Painovoima		

Margit Sirén

on antanut kiinteistötiedot ja vahvistanut, että kaikkia mittaukseen liittyviä ohjeita on noudatettu.

### Mitatut radonkaasupitoisuudet

Ilmaisim	Huonenimike	Huonetyyppi	Kerrostaso	Mittausarvo Bq/m <sup>3</sup>
629333	Kellari	Työtila	Kellari	45 +/- 20

### Mittauksen liitetietoja



XXXXXXXX-XXXX-2012-11-11/CMY/LS

Sandra Olsson (Sähköisesti allekirjoitetun)  
 Allekirjoitus LANDAUER NORDIC laboratoriovastaava  
**Katso kääntöpuoli.**  
 \* Säteilyturvakeskuksen hyväksymä mittausmenetelmä (1/340/09)



Phone: 045 888 94 04  
 E-mail: info@landuernordic.se  
 Internet: www.landuernordic.se

## Liite 3. Suomen radonhallinta Oy:n radonmittaustulosten raportti (10 vrk)

1 (5)

**RAPORTTI**

RAPORTTI VALMISTUNUT:  
2014-02-26  
MITTAUKSEN ON TEETTÄNYT:  
Margit Sirén

Tampere

PUH.NRO.

RAPORTIN VASTAANOTTAJA  
Suomen Radonhallinta OY

**Huoneilman radonpitoisuuden mittaus**

alfajälki-ilmaisimen avulla\*

PÄIVÄYS:  
2014-03-06  
TEHTÄVÄNUMERO:  
4381741:1

Raporttisivu 1 (1)

Suomen Radonhallinta OY  
Jarkko Ruokonen  
Tikkurilantie 68C  
FI-01300 VANTAA  
FINLAND

**Mittauksen kuvaus**

Suomen Säteilyturvakeskus (STUK) on hyväksynyt Landauer Nordic mittausmenetelmän (1/340/09). Mittaus on suoritettu merkkifilmillä suodatinta käyttäen Ruotsin säteilyturvaviranomaisen, i 2005:01, antaman menetelmäkuvausten mukaan.

Ilmaisimet ovat olleet säteilylle altistettuina ajalla 2014-02-07 – 2014-02-17.

Ilmaisimet saapuivat Landauer Nordic an ja ne esikäsiteltiin 2014-02-24. Ilmaisimet mitattiin 2014-02-26.

**Kiinteistötiedot koepaikalta**

Mittausrasian osoite: Nokia

Kiinteistötunnus:

kerros

Rakennustyyppi: Pientalo

Rakennusvuosi:

Ilmanvaihto:

Perustukset:

Maanalainen

Radonkorjauksia?:

Ei

Margit Sirén on antanut kiinteistötiedot ja vahvistanut, että kaikkia mittaukseen liittyviä ohjeita on noudatettu.

**Mitatut radonkaasupitoisuudet**

<u>Ilmaisin</u>	<u>Huonenumike</u>	<u>Huonetyyppi</u>	<u>Kerrostaso</u>	<u>Mittausarvo (Bq/m<sup>3</sup>)</u>
728238		Asuinkellari	Kellari	270 +/- 50

**Mittauksen liitetietoja**

Tämä lyhyen aikajakson mittaus ei noudata suositusta mitata 2 kuukautta.

Gunilla Segerdahl (Sähköisesti allekirjoitetun)

Allekirjoitus Landauer Nordic AB laboratoriovastaava

**Katso kääntöpuoli!**

\* Säteilyturvakeskuksen hyväksymä mittausmenetelmä (1/340/09)



Phone: 045 888 94 04  
Email: info@landauernordic.fi  
Internet: www.landauernordic.fi

BRUNNEN - V1307 / 2013-01-18 / J.O. / L.A.

(jatkuu)





## RAPORTTI

RAPORTTI VALMISTUNUT:  
2014-02-26  
MITTAUKSEN ON TEETTÄNYT:  
Margit Sirén

Tampere

PUH.NRO.

RAPORTIN VASTAANOTTAJA  
Suomen Radonhallinta OY

## Huoneilman radonpitoisuuden mittaus

alfajälki-ilmaisimen avulla\*

PÄIVÄYS:  
2014-03-06  
TEHTÄVÄNUMERO:  
4381753:1

Raporttisivu 1 (1)

Suomen Radonhallinta OY  
Jarkko Ruokonen  
Tikkurilantie 68C  
FI-01300 VANTAA  
FINLAND

### Mittauksen kuvaus

Suomen Säteilyturvakeskus (STUK) on hyväksynyt Landauer Nordic mittausmenetelmän (I/340/09). Mittaus on suoritettu merkkifilmillä suodatinta käyttäen Ruotsin säteilyturvaviranomaisen, i 2005:01, antaman menetelmäkuvauksen mukaan.

Ilmaisimet ovat olleet säteilylle altistettuina ajalla 2014-02-06 – 2014-02-16.

Ilmaisimet saapuivat Landauer Nordic an ja ne esikäsiteltiin 2014-02-24. Ilmaisimet mitattiin 2014-02-26.

### Kiinteistötiedot koepaikalta

Mittausrasian osoite: Kangasala

Kiinteistötunnus:  
laatta

Perustukset:

Maanvarainen

Rakennustyyppi: Pientalo

Radonkorjauksia?:

Ei

Rakennusvuosi: 2008

Ilmanvaihto: Kon. poisto- ja tuloilma

Margit Sirén on antanut kiinteistötiedot ja vahvistanut, että kaikkia mittaukseen liittyviä ohjeita on noudatettu.

### Mitatut radonkaasupitoisuudet

Ilmaisim	Huonenumike	Huonetyyppi	Kerrostaso	Mittausarvo (Bq/m <sup>3</sup> )
397427		Olohuone	1. kerros	88 +/- 30

### Mittauksen liitetietoja

Tämä lyhyen aikajakson mittaus ei noudata suositusta mitata 2 kuukautta.

Gunilla Segerdahl (Sähköisesti allekirjoitetun)

Allekirjoitus Landauer Nordic AB laboratoriovastaava

**Katso kääntöpuoli!**

\* Säteilyturvakeskuksen hyväksymä mittausmenetelmä (I/340/09)



Phone: 045 888 94 04  
Email: info@landuernordic.fi  
Internet: www.landuernordic.fi

RAKUNAN - VI10 / 2014/01/10 / LB

(jatkuu)



## RAPORTTI

RAPORTTI VALMISTUNUT:  
2014-02-26  
MITTAUKSEN ON TEETTÄNYT:  
Margit Sirén

Tampere  
PUH.NRO.

RAPORTIN VASTAANOTTAJA  
Suomen Radonhallinta OY

## Huoneilman radonpitoisuuden mittaus

alfajälki-ilmaisimen avulla\*

PÄIVÄYS:  
2014-03-06  
TEHTÄVÄNUMERO:  
4381743:1

Raporttisivu 1 (1)

Suomen Radonhallinta OY  
Jarkko Ruokonen  
Tikkurilantie 68C  
FI-01300 VANTAA  
FINLAND

### Mittauksen kuvaus

Suomen Säteilyturvakeskus (STUK) on hyväksynyt Landauer Nordic mittausmenetelmän (1/340/09). Mittaus on suoritettu merkkifilmillä suodatinta käyttäen Ruotsin säteilyturvaviranomaisen, i 2005:01, antaman menetelmäkuvauksen mukaan.

Ilmaisimet ovat olleet säteilylle altistettuina ajalla 2014-02-06 – 2014-02-16.

Ilmaisimet saapuivat Landauer Nordic an ja ne esikäsiteltiin 2014-02-24. Ilmaisimet mitattiin 2014-02-26.

### Kiinteistötiedot koepaikalta

Mittausrasian osoite: Teisko

Kiinteistötunnus:  
laatta

Rakennustyyppi: Pientalo

Rakennusvuosi:

Ilmanvaihto:

Perustukset:

Maanvarainen

Radonkorjauksia?:

Ei

Margit Sirén on antanut kiinteistötiedot ja vahvistanut, että kaikkia mittaukseen liittyviä ohjeita on noudatettu.

### Mitatut radonkaasupitoisuudet

<u>Ilmaisim</u>	<u>Huononimike</u>	<u>Huonetyyppi</u>	<u>Kerrostaso</u>	<u>Mittausarvo (Bq/m<sup>3</sup>)</u>
726854		Olohuone	1. kerros	1030 +/- 140

### Mittauksen liitetietoja

Ilmastointi: Ei ilmastointia, rakennusvaiheessa

Tämä lyhyen aikajakson mittaus ei noudata suositusta mitata 2 kuukautta.

Gunilla Segerdahl (Sähköisesti allekirjoitetun)

Allekirjoitus Landauer Nordic AB laboratoriovastaava

**Katso kääntöpuoli!**

 **LANDAUER  
NORDIC**

Phone: 045 888 94 04  
Email: info@landuernordic.fi

(jatkuu)

100  
INDUSTRI

RAPORTTI VALMISTUNUT:  
2014-02-26  
MITTAUKSEN ON TEETTÄNYT:  
Margit Sirén

PÄIVÄYS:  
2014-03-06  
TEHTÄVÄNUMERO:  
4381748:1

antajan ilmoittamien avulla

Raporttisivu 1 (1)

Tampere

PUH.NRO.

Suomen Radonhallinta OY  
Jarkko Ruokonen  
Tikkurilantie 68C  
FI-01300 VANTAA  
FINLAND

RAPORTIN VASTAANOTTAJA  
Suomen Radonhallinta OY

### Mittauksen kuvaus

Suomen Säteilyturvakeskus (STUK) on hyväksynyt Landauer Nordic mittausmenetelmän (1/340/09). Mittaus on suoritettu merkkifilmillä suodatinta käyttäen Ruotsin säteilyturvaviranomaisen, i 2005:01, antaman menetelmäkuvauksen mukaan.

Ilmaisimet ovat olleet säteilylle altistettuina ajalla 2014-02-06 – 2014-02-16.

Ilmaisimet saapuivat Landauer Nordic an ja ne esikäsiteltiin 2014-02-24. Ilmaisimet mitattiin 2014-02-26.

### Kiinteistötiedot koepaikalta

Mittausrasian osoite: Kämenniemi

Kiinteistötunnus:

Rakennustyyppi: Pientalo

Rakennusvuosi: 1926

Ilmanvaihto: Kon. + lämmön talteenotto

Perustukset:

Radonkorjauksia?:

Ryömintätila

Ei

Margit Sirén on antanut kiinteistötiedot ja vahvistanut, että kaikkia mittaukseen liittyviä ohjeita on noudatettu.

### Mitatut radonkaasupitoisuudet

<u>Ilmaisim</u>	<u>Huononimike</u>	<u>Huonetyyppi</u>	<u>Kerrostaso</u>	<u>Mittausarvo (Bq/m<sup>3</sup>)</u>
650130		Olohuone	1. kerros	140 +/- 30

### Mittauksen liitetietoja

Tämä lyhyen aikajakson mittaus ei noudata suositusta mitata 2 kuukautta.

Gunilla Segerdahl (Sähköisesti allekirjoitettu)

Allekirjoitus Landauer Nordic AB laboratoriovastaava

**Katso kääntöpuoli!**

\* Säteilyturvakeskuksen hyväksymä mittausmenetelmä (1/340/09)

 LANDAUER  
NORDIC

Phone: 045 888 94 04  
Email: info@landuernordic.fi  
Internet: www.landuernordic.fi

045888-9404 / 2013-01-18 / J.S. / J.L.

(jatkuu)





## RAPORTTI

RAPORTTI VALMISTUNUT:  
2014-02-26  
MITTAUKSEN ON TEETTÄNYT:  
Margit Sirén

Tampere  
PUH.NRO.

RAPORTIN VASTAANOTTAJA  
Suomen Radonhallinta OY

## Huoneilman radonpitoisuuden mittaus

alfajälki-ilmaisimen avulla\*

PÄIVÄYS:  
2014-03-06  
TEHTÄVÄNUMERO:  
4381751:1

Raporttisivu 1 (1)

Suomen Radonhallinta OY  
Jarkko Ruokonen  
Tikkurilantie 68C  
FI-01300 VANTAA  
FINLAND

### Mittauksen kuvaus

Suomen Säteilyturvakeskus (STUK) on hyväksynyt Landauer Nordic mittausmenetelmän (1/340/09). Mittaus on suoritettu merkkifilmillä suodatinta käyttäen Ruotsin säteilyturvaviranomaisen, i 2005:01, antaman menetelmäkuvauksen mukaan.

Ilmaisimet ovat olleet säteilylle altistettuina ajalla 2014-02-07 – 2014-02-17.

Ilmaisimet saapuivat Landauer Nordic an ja ne esikäsiteltiin 2014-02-24. Ilmaisimet mitattiin 2014-02-26.

### Kiinteistötiedot koepaikalta

Mittausrasian osoite: Valkeakoski

Kiinteistötunnus:

Rakennustyyppi: Pientalo

Rakennusvuosi: 1960

Ilmanvaihto: Painovoima

Perustukset:

Radonkorjauksia?:

Kellari

Ei

Margit Sirén on antanut kiinteistötiedot ja vahvistanut, että kaikkia mittaukseen liittyviä ohjeita on noudatettu.

### Mitatut radonkaasupitoisuudet

Ilmaisim	Huononimike	Huonetyyppi	Kerrostaso	Mittausarvo (Bq/m <sup>3</sup> )
558579		Muu asuintil	Kellari	130 +/- 30

### Mittauksen liitetietoja

Tämä lyhyen aikajakson mittaus ei noudata suositusta mitata 2 kuukautta.

Gunilla Segerdahl (Sähköisesti allekirjoitetun)

Allekirjoitus Landauer Nordic AB laboratoriovastaava

**Katso kääntöpuoli!**

\* Säteilyturvakeskuksen hyväksymä mittausmenetelmä (1/340/09)

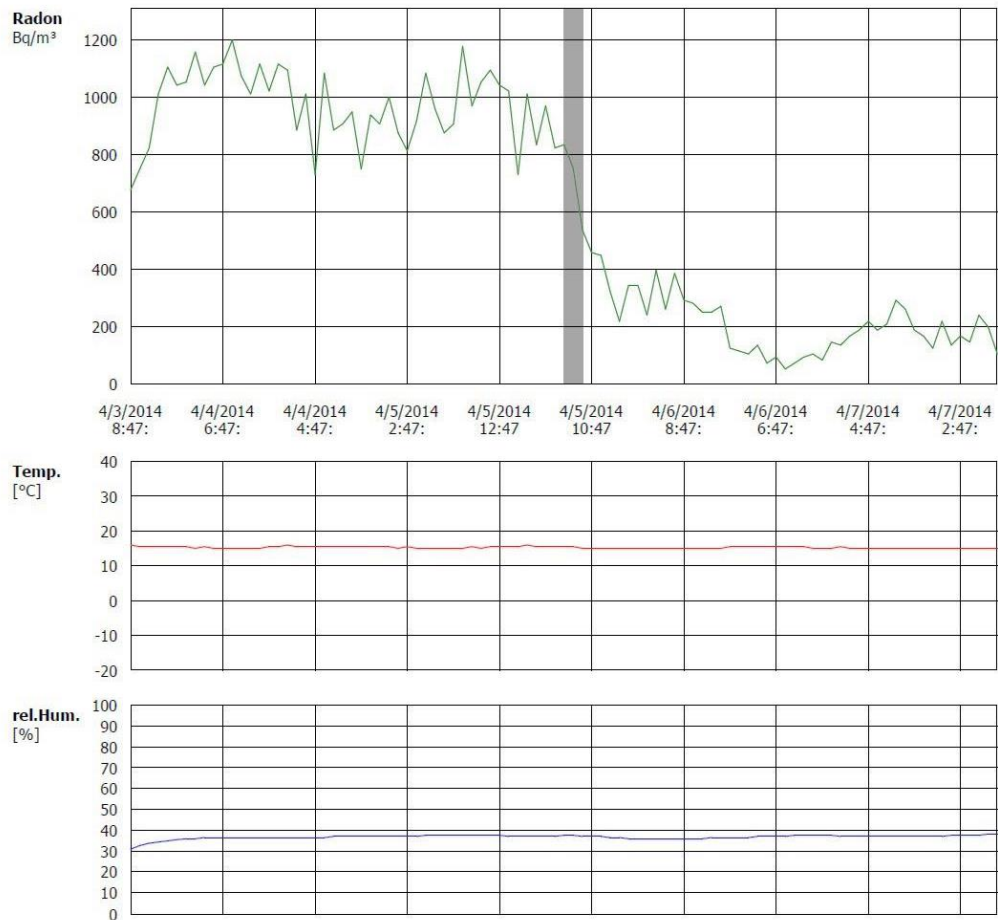


Phone: 045 888 94 04  
Email: info@landuernordic.fi  
Internet: www.landuernordic.fi

## Liite 4. Sarad Radon Scout mittaustulos

**COMMENT**

3.4.-7.4.2014

**RESULTS**

Instrument:	Radon-Scout SN: 902	Average:	601 Bq/m <sup>3</sup> ±1.4%
Data Records:	95	Exposure:	57109 Bqh/m <sup>3</sup>
Sample Period:	4/3/2014 7:47:00 - 4/7/2014 6:47:00	Maximum:	1198 Bq/m <sup>3</sup>
Exposure Time:	95.0 hours	Minimum:	52 Bq/m <sup>3</sup>