

# RADONIN TORJUNTA UUDISRAKENTAMISESSA

Hanna-Maija Hiltula

Opinnäytetyö  
Tekniikan ala  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

2020

Tekniikan ala  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Hanna-Maija Hiltula	Vuosi	2020
<b>Ohjaaja(t)</b>	Matti Moilanen		
<b>Työn nimi</b>	Radonin torjunta uudisrakentamisessa		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	45 + 0		

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää uudisrakentamisessa huomioitava radonin torjuntakeinoja. Lisäksi selviteltiin erilaisia radonmittaustapoja sekä mittaustaitteiden kustannuksia. Myös radonkorjausten kustannuksista selvitettiin karkeita arvioita, samoin kuin radonputkiston kustannuksia uudisrakentamisessa.

Tässä työssä pyrittiin etsimään tietoa radonin torjunnasta alan ohjeiden ja määräysten kautta, sekä erilaisista tieteellisistä tutkimuksista ja artikkeleista. Kustannuksista selvitettiin karkeita keskiarvohintoja eri toimijoiden sivujen sekä valmiiden taulukoiden avulla.

Työssä havaittiin, kuinka radonin huomioon ottaminen jo rakennusvaiheessa on tärkeää, ja kuinka sen kulkeutuminen maaperästä sisätiloihin voidaan torjua rakennusvaiheessa. Työssä käy myös ilmi, kuinka erilaisten rakenteiden ja rakennuspohjan tiivistäminen on yksi tärkeimmistä keinoista välttää sisäilman suuret radonpitoisuudet.

Avainsanat

radon, uudisrakentaminen, kustannukset

Degree Programme in Civil  
Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Hanna-Maija Hiltula	Year	2020
<b>Supervisor</b>	Matti Moilanen		
<b>Subject of thesis</b>	Radon Prevention in New Construction		
<b>Number of pages</b>	45 + 0		

---

This thesis aimed at examining the effects of radon in new construction and what should be paid attention to in construction. In addition, this thesis examined the different ways how is it possible to do radon measurements and how much they cost. This thesis also examined the costs of radon renovation and radon piping in new construction.

Information about the radon prevention was searched from the industry guidelines and regulations publications and articles. Because radon is a problem around a world and, it have been examined much, it was easy to find information about it from both international and national sources.

The results showed how important it is to pay attention to radon already in the construction phase, and how to prevent radon from seeping from the soil to the indoor spaces. The thesis also proved how important it is to seal the various structures and the foundation to prevent large amounts of radon in the indoor air.

Key words

radon, new construction, costs

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	RADON.....	7
2.1	Yleistä .....	7
2.2	Historiaa.....	8
2.3	Radonin synty .....	9
2.4	Radonin esiintyminen maailmalla .....	10
2.5	Radon Suomessa .....	10
2.6	Terveyshaitat .....	12
3	RADON TORJUNTA UUDISRAKENTAMISESSA.....	13
3.1	Määräyksiä ja ohjeita .....	13
3.2	Radonmittaukset.....	13
3.3	Radonmittauksen kustannuksia .....	16
3.4	Kulkeutuminen sisätiloihin.....	17
3.4.1	Maaperä .....	17
3.4.2	Paine-erot.....	18
3.4.3	Ilmanvaihto.....	18
3.4.4	Rakennusmateriaalit.....	19
3.4.5	Talousvesi.....	19
3.5	Radon torjunta .....	20
3.5.1	Suunnittelu .....	21
3.5.2	Ilmanvaihdon merkitys.....	21
3.6	Perustustapa.....	22
3.6.1	Tuulettuva alapohja.....	23
3.6.2	Yhtenäinen laattaperustus.....	23
3.6.3	Perusmuuri ja maanvarainen alapohja.....	24
3.7	Tiivistäminen rakenteissa.....	25
3.7.1	Alapohjalaatta .....	26
3.7.2	Liittymät.....	27
3.7.3	Maanvastainen- ja kantava seinä.....	29
3.7.4	Läpiviennit.....	30
3.8	Tuuletusjärjestelmä.....	31

3.8.1	Imukanavisto .....	32
3.8.2	Poistokanava.....	34
3.8.3	Kanaviston mitoitus .....	35
3.8.4	Radonputkiston käyttöönotto.....	36
3.8.5	Puutteellisuuksia järjestelmän toiminnassa .....	37
4	KUSTANNUKSIA.....	38
4.1	Radonputkiston kustannuksia uudisrakennuksessa .....	38
4.2	Radon korjauksen hintoja .....	38
5	POHDINTA.....	42
	LÄHTEET.....	43

## 1 JOHDANTO

Suomessa sisäilman radonpitoisuudet ovat melko korkeita. Radon on kuitenkin haitallinen kaasu, joka liikaa altistuneelle lisää riskiä sairastua keuhkosityöpään. Radonille altistuminen sisätiloissa on haitallista, koska kaasu ei pääse laimenemaan muuhun ilmaan samalla tavalla kuin ulkona. Radonpitoisuuksiin sisätiloissa voidaan kuitenkin vaikuttaa erilaisilla rakennustavoilla. (STUK 2018.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää erilaisia radonin torjuntakeinoja, jotta korkeita sisäilman radonpitoisuuksia voitaisiin uudisrakentamisessa välttää. Koska radonkaasua ei voi havaita muutoin kuin mittauksilla, ovat myös erilaiset mittausmenetelmät tärkeä osa tätä työtä. Työssä on pyritty lisäämään tietoisuutta radonin aiheuttamista haitoista, sekä sen erilaisista torjunta menetelmistä.

Radon on ongelma myös muissa maissa kuin Suomessa. Tämän vuoksi siitä löytyy helposti niin kotimaisia kuin kansainvälisiäkin lähteitä. Työssä on pyritty käyttämään kansainväliä lähteitä radonista yleisesti kertovissa osioissa. Koska eri maissa on erilaisia rakennusohjeita sekä määräyksiä, on rakentamisessa kertovassa osiossa käytetty puolestaan vain kotimaisia ohjeistuksia, määräyksiä ja artikkeleita.

## 2 RADON

### 2.1 Yleistä

Radon on kaasu, jota esiintyy ympäri maailmaa muun muassa maaperässä ja pohjavesissä. Koska radon on inertti kaasu, se ei reagoi kemiallisesti muiden aineiden kanssa. Radon on terveydelle haitallista, sillä se lisää riskiä sairastua keuhkosyöpään. (Robertson, Allen, Laney & Curnow 2013.) Ihmiset voivat altistua liialliselle radonin saamiselle muun muassa rakennuksissa, joiden radonpitoisuus on liian suuri (STUK 2018).

Radonin kaasumaisuuden vuoksi, se pystyy kulkeutumaan huokoisen maaperän läpi muun muassa rakennuksiin, joiden alapohjat eivät ole tarpeeksi tiiviitä. Ongelmana tässä kaasussa on se, ettei sitä voi mitenkään aistia, sillä se on näkymätöntä, hajutonta sekä mautonta. (Robertson ym. 2013.) Sisäilman radonpitoisuuden voi kuitenkin selvittää mittaamalla. Radonpitoisuus ilmoitetaan yksikössä Bq/m<sup>3</sup> eli becquereleina kuutiometrissä ilmaa. Becquerel on radioaktiivisuuden yksikkö ja se tarkoittaa yhden atomin hajoamista sekunnissa. (Työsuojelu 2019.) Yleisin radonin isotooppi (<sup>222</sup>Rn) kuuluu uraanin (<sup>238</sup>U) hajoamissarjaan ja tämä isotooppi on merkittävin myös säteilyturvallisuuden kannalta. (Robertson ym. 2013.)

Radon on radioaktiivinen kaasu, joka lähettää ionisoivaa säteilyä. Ionisoiva säteily on haitaksi eläville eliöille, sillä se pystyy irrottamaan aineen atomeista elektroneja tai hajottamaan sen molekyyliä suuren energiansa vuoksi. Tämä aiheuttaa eliöissä esimerkiksi mutaatioita ja syöpää. (STUK 2019.)

Aine on radioaktiivinen silloin, kun sen atomin ydin on virittyneessä tilassa. Säteily puolestaan johtuu siitä, että ytimen viritystila purkaantuu ja siitä irtoaa hiukanen ja energiaa. Purkautuminen tapahtuu itsestään. Niin kuin monella muullakin alkuaineella, myös uraanilla on radioaktiivisesti säteileviä isotooppeja esimerkiksi <sup>238</sup>U, josta myös radon syntyy. (STUK 2018.) Radonin hajotessa, se emittoi alfa- sekä hieman myös beeta- ja gammasäteilyä erilaisissa energioissa. Esimerkiksi ihmisillä tämä säteily voi johtaa biologisiin vaurioihin. (Robertson ym. 2013.)

## 2.2 Historiaa

1556-luvulla ilmestyi Georgius Agricolan kirjoittama kirja "De Re Metallica", joka kertoo tuon ajan kaivostoiminnasta. Radonin vaikutuksia terveyteen on alettu tutkia jo 1500-luvulla ja ensimmäiset tiedossa olevat henkilöt, jotka ovat kuolleet radonkaasuun ovat olleet kaivostyöntekijöitä. Kirjan mukaan Schneebergissä sekä Joachimsthalissa oli alkanut voimakas hopeakaivostoiminta 1400-luvun lopulla. Scheenbergissä, jossa louhittava malmi oli hyvin syvällä ja kaivoksen ilmanvaihto oli surkea, havaittiin paljon keuhkosairauteen kuolleita kaivostyöntekijöitä. Tämän havainnon kirjasi ensimmäisenä Paracelsus kirjaansa vuonna 1567. Myöhemmin sairautta alettiin kutsua nimellä Scheenbergin keuhkosairaus. (Weltner, Arvela, Turtiainen, Mäkeläinen & Valmari 2003, 113–114.)

Kun louhinta lisääntyi 1600- sekä 1700-luvuilla, lisääntyi myös sairauksien määrä. Tämä tauti määriteltiin keuhkosityöväksi vuonna 1879. Sairauden tekijää ei silloin vielä tiedetty, vaikka se yhdistettiinkin alueen kaivostoimintaan, jossa lääkäreiden mukaan 75 prosenttia kaivostyöntekijöistä kuoli tähän merkilliseen tautiin. (Weltner ym. 2003, 114.)

Joachimsthalin malmi oli erittäin uraanipitoista ja vuonna 1898 Marie ja Pierre Curie eristivät malmista tuntemattomat radiumin sekä poloniumin ja he havaitsivat radiumin tuottavan kaasua, joka oli radioaktiivista. 1901 julkaistiin ensimmäiset mittaustulokset ja kaasu nimettiin radoniksi. (Weltner ym. 2003, 114.)

1930-luvulla Saksan Scheenbergissä tehtiin radonmittauksia, joiden mukaan kaivoksien radonpitoisuudet tällä alueella olivat 70 000-120 000 Bq/m<sup>3</sup>. Tämä ei kuitenkaan ollut vielä mitään verrattuna erääseen synkkämaineiseen kaivokseen, kuolemankaivokseen. Tämän kaivoksen radonpitoisuus oli jopa 500 000 Bq/m<sup>3</sup>. Säännöllisiä radonmittauksia ei kuitenkaan vielä tehty, sillä kaasun yhteyttä syöpäriskiin ei pystytty vielä kunnolla todistamaan. (Weltner ym. 2003, 114–115.)



1970-luvulla saatiin ensimmäiset todisteet siitä, että radon aiheuttaa keuhkocyöpäriskiä. Myös Suomessa alettiin tällöin mittamaan kaivoksien radonpitoisuutta. Asunnoissa mittaukset aloitettiin 1970-luvun puolivälin tienoilla. (Weltner ym. 2003, 115.)

### 2.3 Radonin synty

Uraani on rautaa raskaampi alkuaine, jonka hajoamisen seurauksena syntyy radonia. Kaikki tällaiset alkuaineet (kuten uraani) ovat syntyneet neutronitähtien törmäyksissä sekä tähtien supernovaräjähdyksissä (Pohjalainen 2017, 2). Aurinkomme on yksi tiivistymiskeskus, joka syntyi noin 4,57 miljardia vuotta sitten, kun suuri tähtienvälinen kaasupilvi luhistui kasaan. Tämän luhistuneen pilven materiaaleista kertyi aurinkomme ympärille kiekko, josta aikojen kuluessa muodostuivat planeetat. (Ursa.) Tässä kiekossa oli mukana myös hieman uraania. Koska uraani rikastuu helposti osittain sulaneisiin kiviin, se rikastui myös maan mantereiseen yläkuoreen, kun aikojen myötä maan vaipan yläosa sekä kuori sulivat osittain ja muodostivat mantereista kuorta vuorotellen. Uraanipitoisuus maapallolla on vähentynyt, sillä se on hajonnut muiksi alkuaineiksi. Kaikki luonnossa esiintyvä uraani muodostuu kolmesta isotoopista, jotka ovat radioaktiivisia. Uraanilla on kaksi radioaktiivista hajoamissarjaa, joista toinen on  $^{238}\text{U}$ . Tämä hajoamissarja on yleisin ja sitä arvellaan olevan maapallolla vielä noin puolet siitä, mitä sitä oli alun perin. Tästä hajoamissarjasta syntyy myös merkittävin osa haitallisesta radonkaasusta, jota tässä opinnäytetyössä käsitellään. (Pohjalainen 2017, 3–4, 12,17.)

Kun radioaktiivinen uraani sekä torium hajoavat maaperässä, syntyy niiden hajoamisvälivaiheiden kautta radon. Radonia esiintyy erilaisina isotooppeina, mutta merkittävin niistä kuuluu kuitenkin uraanin ( $^{238}\text{U}$ ) hajoamissarjaan, josta muodostuva radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) on tämän hajoamissarjan radionuklidi. Uraanin isotoopeista  $^{238}\text{U}$  on kaikista yleisin. (Pohjalainen 2017,17.) Radonin muita isotooppeja ovat  $^{220}\text{Rn}$  ja  $^{219}\text{Rn}$ , mutta koska niiden hajoamisnopeus on suurempi kuin  $^{222}\text{Rn}$ , niille altistumisen riski on pienempi, eikä niitä tämän vuoksi yleensä oteta huomioon. (Robertson ym. 2013.) Radon isotoopin ( $^{222}\text{Rn}$ ) edeltäjänä hajoamisketjussa on kiinteä radium ( $^{226}\text{Ra}$ ). Radiumin hajotessa se menettää sekä kaksi protonia että

kaksi neutronia ja muodostaen samalla radonin. Radon on hajoamissarjan ainoa kaasuna esiintyvä muoto ja sen hajoaminen kestää liki neljä päivää. Radon hajoaa edelleen muun muassa  $^{218}$ poloniumiksi,  $^{214}$ lyijyksi sekä  $^{214}$ vismutiksi. Näistä polonium on myös radioaktiivinen ja juurikin tämä aiheuttaa esimerkiksi ihmisten keuhkoissa kudosisvähinkoja. (Oram 2012.)

## 2.4 Radonin esiintyminen maailmalla

Radonkaasua esiintyy ympäri maailmaa. Maa- ja kallioperän uraanipitoisuus vaikuttaa myös radonin määrään. Radonia esiintyy eniten paikoissa, joissa on huokoinen ja hyvin ilmaa läpäisevä maaperä, kuten soraharjut tai kalliot. Mitä tiiviimpi maaperä on, sitä vähemmän radon läpäisee sitä. Esimerkiksi Pohjois-Amerikka sekä Pohjois-Eurooppa ovat olleet jääkauden aikoina jäätiköiden peitossa. Siksi näille alueille on myös muodostunut hyvin ilmaa läpäiseviä harjuja. (Weltner ym. 2003, 127–128.)

Etenkin Suomessa ja Ruotsissa on melko paljon soraharjuja, tämän lisäksi kallioperä on uraanipitoista. Suomessa ja Ruotsissa onkin mitattu melko korkeat asuntojen radonpitoisuudet, johon edellä mainitut asiat osakseen vaikuttavat. Asuntojen korkeita radonpitoisuuksia on myös muun muassa Pohjois-Amerikan itärannikolla sekä Tshekissä. Korkeisiin radonpitoisuuksiin vaikuttavat edellä mainittujen asioiden lisäksi esimerkiksi alueilla vallitseva kylmäilmasto. Tosin myös Etelä-Euroopassa asuntojen radonpitoisuuksiksi on mitattu jopa yli  $10\,000\text{ Bq/m}^3$ . Näitä mittauksia ei kuitenkaan voida verrata Pohjoismaissa tehtyihin mittauksiin ja tilastoihin, koska erimaiden mittaukset eivät välttämättä perustu täysin samoihin perusteisiin kuin Pohjoismaissa. (Weltner ym. 2003, 127–128.)

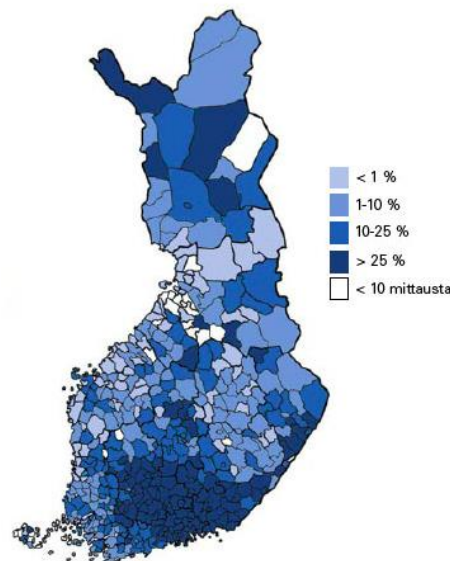
## 2.5 Radon Suomessa

Kuten ylempänä todettiin, on Suomessa asuntojen radonpitoisuus mitattu melko korkeaksi. Suomalaisissa asunnoissa keskimääräinen radonpitoisuus on noin  $96\text{ Bq/m}^3$ , kuitenkin muun muassa Ruotsissa sekä Norjassa tämä luku on isompi. Suomessa lukemaan vaikuttavat esimerkiksi ilmasto, geologia sekä rakennustapa. Suomen maa- ja kallioperän uraanipitoisuus on hyvin korkea ja maaperät ovat hyvin ilmaa läpäiseviä sora- sekä hiekkaharjuja. Tällaisissa paikoissa ilman

radonpitoisuus voi olla 10 000–100 000 Bq/m<sup>3</sup>, mutta myös yli miljoonan Bq/m<sup>3</sup>:n radonpitoisuuksia on mitattu. (STUK 2018.)

Suomessa vallitseva kylmä ilmasto vaikuttaa myös osaltaan asuntojen suureen radonpitoisuuteen. Talvella sisä- ja ulkoilman väliset lämpötilaerot ovat suurimmillaan ja talvella radonpitoisuudet ovatkin noin 20 % korkeampia, kuin vuosikeskiarvo. Suomessa on myös kohteita, joissa rakennusten radonpitoisuus on yli 300 Bq/m<sup>3</sup> (Turtiainen 2018.) Nykyisin Suomessa rakennettavien uusien asuntojen radonpitoisuus saa olla enintään 200 Bq/m<sup>3</sup> sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen mukaan. Vanhoissa asunnoissa arvo ei saisi ylittää 300 Bq/m<sup>3</sup>. (STUK 2019.) Eri lähteitä tutkiessa havaitaan, että vaikka radonia esiintyy ympäri Suomea, on sen löytyminen silti todennäköisintä Etelä-Suomessa. Näin kerrotaan esimerkiksi Säteilyturvakeskuksen sivuilla.

Alapuoletta oleva kuvio havainnollistaa Suomen radon esiintymisiä (Kuvio 1). Kuvio on Säteilyturvakeskuksen sivuilta ja sen tummat alueet kuvaavat suurempia radonpitoisuuksia uusissa rakennuksissa (STUK 2019). Vaikka kuvan avulla voidaan havaita, missä päin Suomea sijaitsevat mahdollisesti suuret radonpitoisuudet, on kuitenkin muistettava, että myös rakentamistapa ja huolellisuus rakentamisessa vaikuttavat sisäilman radonpitoisuuteen. Näin ollen kuvion avulla ei voida suoraan nähdä, missä päin Suomea radonpitoisuudet ovat suurimmat.



Kuvio 1. Uusissa asunnoissa mitattuja radonpitoisuuksia (STUK 2019)

## 2.6 Terveyshaitat

Radonin tiedetään lisäävän merkittävästi keuhkosyöpäriskiä, mikäli kaasulle altistuu liikaa. Radonkaasu sekä sen hajoamisessa syntyvät tuotteet pääsevät ihmisten keuhkoihin hengityksen mukana. Kun hajoamistuotteet tarttuvat keuhkojen sisäpintaan, ne lähettävät alfasäteilyä ja aiheuttavat ihmisille säteilyannoksen. Suomessa ihmisten saamasta säteilyannoksesta noin puolet johtuu radonin aiheuttamasta sisäilman säteilystä. (Weltner ym. 2003, 112.)

Radonin vaikutuksia terveyteen on tutkittu paljon jo monien vuosien ajan. Vielä kuitenkin ei ole saatu tietoon, että radon aiheuttaisi keuhkosyövän lisäksi muita sairauksia. Suomessa keuhkosyöpään sairastuu vuosittain noin 2000 henkilöä, joista noin 300 on yhteydessä radonaltistukseen. (STUK 2018.) Tutkijoiden mukaan maailmalla kuolee keuhkosyöpään vuosittain noin 20 000 henkilöä, radonaltistuksen vuoksi. Tosin tämä kuolleisuusluku on arvio. On todettu, että esimerkiksi Yhdysvalloissa keuhkosyövän yleisin syy on vuonna 2015 ollut savukkeiden käyttö. Kuitenkin radon on yleisin syy heti savukkeiden käytön jälkeen. (American Cancer Society 2015.) Vaikka radon aiheuttaa keuhkosyöpä riskiä kaikille, jotka altistuvat sille liikaa, on riski suurempi henkilöillä, jotka radonaltistuksensa lisäksi käyttävät vielä savukkeita. (STUK 2019.)

### 3 RADON TORJUNTA UUDISRAKENTAMISESSA

#### 3.1 Määräyksiä ja ohjeita

Koska liiallinen radonille altistuminen on terveysriski ja Suomessa radon pitoisuudet ovat paikoittain hyvin korkeita, on uudisrakentamiseen asetettu tiettyjä määräyksiä radonin osalta. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen mukaan uudisrakennuksen radonpitoisuuden viitearvoksi on säädetty  $200 \text{ Bq/m}^3$ , kun taas muun asunnon tai oleskelutilan viitearvo on  $300 \text{ Bq/m}^3$ . Työpaikoilla, joissa vuotuinen työtuntimäärä ylittää tai on yhtä suuri kuin 600 tuntia, on radonpitoisuuden viitearvo myös  $300 \text{ Bq/m}^3$ . (RT 103123, 1.)

Määräyksiä mukaan suunnittelussa täytyy ottaa huomioon rakennuspaikan radonriskit sekä radonturvalliset rakenteet. Koska vääränlainen ilmanvaihto voi aiheuttaa radonin kulkeutumista sisäilmaan, on myös ilmanvaihtosuunnittelija velvollinen huomioimaan ilmanvaihdon niin, ettei se tuo radonia sisäilmaan. (STUK 2019.) Myös Suomen rakentamismääräyskokoelmassa (YM 2018, Pohjarakenteiden suunnittelu) on erilaisia määräyksiä sekä ohjeita radonista ja sen huomiomisesta rakennuksen suunnitteluvaiheessa.

#### 3.2 Radonmittaukset

Kuten jo aiemmin on kerrottu, radon on hajuton, mauton ja väritön kaasu, jota ei aistein voi havaita. Radonmittauksia voidaan tehdä erilaisilla mittareilla, joista voidaan saada eri tarkkuuksilla olevia tuloksia. Alla kerrotaan hieman muun muassa, millaisilla laitteilla radonmittauksia voidaan tehdä sekä paljonko mittaus suunnilleen kustantaa.

Radonmittauspurkeilla saadaan kattava arvio asunnon radonpitoisuudelle altistumisesta. Tässä menetelmässä suositellaan käytettäväksi vähintään kahta eri mittauspurkkia ja sijoittamaan ne eri huoneisiin tai eri kerroksiin. Mittausajan olisi hyvä olla kolme kuukautta (kuitenkin vähintään kaksi), joka sijoittuu syyskuun alun ja toukokuun lopun väliseen aikaan. Tämä aikaväli siksi, että kesällä radonpitoisuus voi olla huomattavasti alempi, kuin talvella. Kotonaan ihmiset oleskelevat suurimman osan ajastaan joko makuu- tai olohuoneessa, siksi radonmittaus

suositellaan tekemään näissä huoneissa. (STUK 2019.) Kuviossa 2 on esitetty radonmittauspurkki. Tällaiset mittaukset ovat helppoja sekä edullisia, eivätkä ne vaadi paljoa vaivannäköä itse mittauksen tilaajalta.



Kuvio 2. Radonmittauspurkki (Turtiainen 2018)

Mittauspurkeilla radonpitoisuus selvitetään niiden sisällä olevan filmin avulla. Kun purkki asetetaan johonkin huonetilaan, säteilyn jälkiä kertyy filmiin. Kun nämä säteilynjäljet lasketaan, saadaan tietoon keskiarvoinen radonpitoisuus mittausajalta. (Turtiainen 2018.) Edellisessä kappaleessa kerrottiin, että radonmittaus tällaisilla purkeilla on edullista. Mittauspurkkeja voi tilata esimerkiksi Säteilyturvakeskuksen sivuilta. Myös kaupoista löytyy erilaisia mittareita, jotka sopivat hyvin radonpitoisuuden keskiarvon mittaamiseen (Turtiainen 2018).

Radonpitoisuuden mittauksessa työpaikoilla on noudatettava edellä mainittua ajan jaksoa (syyskuun alku- toukokuun loppu) sekä kestoa (vähintään kaksi kuukautta) ja mittauksen on kestettävä yhtäjaksoisesti. Lisäksi työpaikalla suoritettava mittaus on tehtävä säteilyturvakeskuksen hyväksymällä mittausmenetelmällä ja mittauslaitteen on oltava kalibroitu oikein. (STUK 2019.) Myös työpaikkamittaukseen ovat sopivia yllä olevan kuvion 2 radonmittauspurkit.

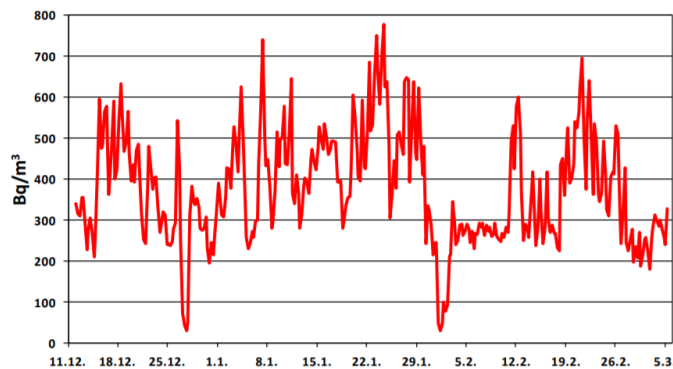
Radonpitoisuutta voi mitata myös pikamittauslaitteiden avulla. Tällä menetelmällä voidaan arvioida radonpitoisuus jo muutamassa päivässä. Radonpitoisuus vaihtelee sisätiloissa päivittäin, joissain taloissa vaihtelu voi olla jopa 100–1000 Bq/m<sup>3</sup>

välillä, joten mitä pidempään mittaus kestää, sitä vähemmän tulokseen vaikuttavat radonpitoisuuden satunnaiset vaihtelut. Jatkuvatoimista mittauksista voi kuitenkin käyttää apuna muun muassa radonkorjauksissa. Sen avulla näkee nopeasti, onnistuiko korjaus. Sen avulla voidaan myös arvioida lisäkorjaustoimenpiteiden tarvittavuutta. (STUK 2019.) Kuviossa 3 on radoninmittaukseen tarkoitettu jatkuvatoiminen mittari.



Kuvio 3. Jatkuvatoiminen radonmittari (Turtiainen 2020)

Jatkuvatoiminen mittauslaite tallentaa mittaustuloksiaan muistiin (Turtiainen 2018). Kuviossa 4 voidaan havaita radonpitoisuuden vaihtelu, kun mittausaika on ollut 12 viikkoa. Jos ajatellaan, että muutaman päivän kestävä pikamittaus olisi sijoitettu esimerkiksi aikavälille 29.1-5.2 antaisi pikamittaus radonpitoisuudeksi hyvin pienenarvon, vaikka todellisuudessa radonpitoisuuden keskiarvo onkin paljon korkeampi.



Kuvio 4. Radonpitoisuuden vaihtelu jatkuvatoimisessa mittauksessa (Turtiainen 2018)

Mitataan radonpitoisuutta mistä tahansa tilasta, on muistettava, että jokaiseen mittaukseen liittyy aina pieni epävarmuus. Tämä epävarmuus aiheutuu muun muassa radonpitoisuuden luontaisesta vaihtelusta sekä mittauslaitteen vääränlaisiin olosuhteisiin tehdystä kalibroinnista. (STUK. 2016.) Kun katsoo kuviota 4, on helppompaa tiedostaa, kuinka paljon radonpitoisuus todella voi vaihdella. Tästä voidaan päätellä, miksi lyhytaikaiset mittaukset antavat vain suuntaa-antavia arvoja.

### 3.3 Radonmittauksen kustannuksia

Erilaisia radonmittauksia voidaan tilata esimerkiksi Säteilyturvakeskukselta (STUK 19). Radonmittauksien hintoja vertaillen, voidaan huomata, ettei mittaus olisi kovinkaan suuri kustannuskysymys ainakaan mittauspurkeilla. Tällöin saataisiin kuitenkin tietoa asunnon radonpitoisuudesta ja mikäli pitoisuus olisi todella korkea, voitaisiin alkaa suunnitella tarvittavia toimenpiteitä, kuten tuuletusjärjestelmän käyttöönottoa. Toisaalta, mikäli radonpitoisuus olisi alhainen, ei tarvitsisi huolehtia siitä, että asunnossaan altistuu radonin vuoksi keuhkosityövälle.

Alla olevassa taulukossa on esitetty Säteilyturvakeskuksen mittauspurkkien hintoja (Taulukko 1). Nämä hinnat ovat olleet voimassa vuoden 2018 maaliskuusta lähtien (STUK 2018). Samansuuntaisia hintoja mittauspurkeille löytyy myös muilta toimijoilta, joista radonmittauksen voi tilata. Radonmittauksien hintoja on tutkittu sellaisilta toimijoilta, joilta saa Säteilyturvakeskuksen hyväksymiä mittauslaitteita.

Taulukko 1. Radonmittauspurkkien hintoja Säteilyturvakeskuksella (STUK 2018)

Määrä	Veroton hinta	alv 24 %	yhteensä/kpl
Alle 11 kpl (nettitalaus)	46,00 e	11,04 e	57,04 e
Alle 11 kpl (muu tilaus)	50,00 e	12,00 e	62,00 e
11 - 50 kpl	40,00 e	9,60 e	49,60 e
Yli 50 kpl	35,00 e	8,40 e	43,40 e
Kiireellinen tilaus	1,5 x purkkihinta		
Vanhan tuloksen toimitus	32,00 e	7,68 e	39,68 e



Taulukossa 1 on hintoja vain mittauspurkeille. Selvitellessä myös jatkuvatoimisien radonmittareiden hintoja, huomataan, että niiden hinnat tulevat kalliimmaksi. Useimmissa paikoissa jatkuvatoimiset mittarit maksavat yli 200 €, kun taas mittauspurkki maksaa hieman yli 50 €. On toki muistettava, että myös mittareiden tarkkuuksissa voi olla eroja, mikä oleellisesti vaikuttaa myös mittausvälineen hintaan (Turtiainen 2018). Näin voidaan todeta, että kalliimmat mittarit ovat luultavasti tarkempia, mutta haitaksi näissä tulevat kustannukset.

### 3.4 Kulkeutuminen sisätiloihin

Kaasumaisuutensa vuoksi radon pääsee helposti kulkeutumaan pienistäkin raoista sisätiloihin. Koska osa siitä voi liueta myös veteen, voi radonia saada sisätiloihin myös sellaisista paikoista mistä sitä ei heti voisi ajatellakaan, kuten suihkuvedestä. Radonia voi kuitenkin kulkeutua asuntoihin myös esimerkiksi maaperän tai ilmanvaihdon kautta. (RT 103123, 2.) Vaikka radonia on myös ulkoilmassa, on se sisällä haitallisempaa, koska sisällä se ei pääse laimenemaan muuhun ilmaan saman lailla kuin ulkona.

#### 3.4.1 Maaperä

Maaperässä radon kulkeutuu pääosin joko konvektiossa tai diffuusiossa sen jälkeen, kun se on päässyt huokosilmaan. Kun maaperä on huonosti läpäisevää, on radonin merkittävin kulkeutumistapa diffuusio. Ilmavirtausten avulla radon taas kulkeutuu hyvin läpäisevässä maaperässä. Uudisrakentamisessa onkin hyvin tärkeää kiinnittää huomiota muun muassa maaperän tiiveyteen. (Weltner ym. 2003, 154–155.)

Diffuusion avulla radon kulkeutuu tavallisesti ulkoilmaan, mitä syvemmälle maaperässä mennään, sitä vähemmän diffuusio vaikuttaa radonin kulkeutumiseen. Konvektion avulla radon taas siirtyy yleensä maaperästä sisäilmaan. Tämän ilmiön merkittävin tekijä on maaperän läpäisevyys. Toki myös paine-erot sisä- ja ulkoilman välillä sekä virtaukset lattiaraoissa aiheuttavat konvektiota ja radonin pääsyä sisätiloihin. (Weltner ym. 2003, 155.) Kuten jo aiemmin on käynyt ilmi,

Suomessa maaperänläpäisevyys on hyvä, joten Suomessa radon pääsee kulkeutumaan maaperästä sisälle etenkin konvektion avulla, pelkästään jo luonnollisen maaperän läpäisevyyden takia.

Täyttö- ja salaojamaa-aineet voivat lisätä merkittävästi sisäilman radonpitoisuutta. Tämä johtuu muun muassa siitä, että esimerkiksi salaoja-aines on hyvin karkeaa ja sillä on hyvä ilmanläpäisevyys. Tämä lisää maaperästä tulevia ilmavirtauksia. Maa-aineet voivat lisäksi olla jo itsessään hyvin radiumpitoisia, joka lisää radonpitoisuutta. (RT 103123, 2.)

### 3.4.2 Paine-erot

Paine-erot voivat syntyä eri tekijöistä. Maaperän huokosilman ja rakennuksen sisäilman välille voi muodostua luonnollisia paine-eroja muun muassa lämpötilaeroista tai tuulesta. Tuuli aiheuttaa korkeamman paineen sille seinälle, jolle se puhaltaa. Kun muualla ulkoilmassa paine ei ole yhtä voimakas, voi tämä tuulen aiheuttama paine jakautua myös talon alla olevaan maahan. Se aiheuttaa sisäänpäin suuntautuvan painegradientin. Tällainen ilmiö on mahdollista etenkin läpäisevässä maalajissa. (Weltner ym. 2003, 156–157.)

Kaikkien edellä mainittujen radonin kulkeutumistapojen (kuten diffuusio, konvektio ja täyttömaat) vuoksi on siis korostettava rakennusmaiden huolellista tiivistämistä. Kuten monessa muussakin asiassa, myös radonin torjunnassa rakennusaikainen huolellisuus tulee usein halvemmaksi sekä helpommaksi ratkaisuksi, kuin jälkikäteen tehtävät korjaukset.

### 3.4.3 Ilmanvaihto

Myös ilmanvaihto vaikuttaa sisäilman sekä maaperän huokoistilan muodostamiin paine-eroihin. Kun sisäilmassa vallitsee alipaine, maaperän huokosilma pyrkii kulkeutumaan asuntoon. (Turtiainen 2016.) Esimerkiksi, jos talossa on poistoilmanvaihto eikä se saa riittävästi korvausilmaa, alkaa se repiä ilmaa rakenteiden läpi tuoden samalla sisäilmaan radonia sekä muita erilaisia toksiineja (Lindholm

2019). Huoneilmaan tulee radonin lisäksi myös muita terveydelle haitallisia myrkyjä. Siksi oikeanlainen ilmanvaihto on tärkeää muidenkin terveyshaittoja aiheuttavien toksiinien välttämiseksi. Sisäilman laatu onkin noussut nykyään paljon puhutuksi aiheeksi julkisuudessa.

#### 3.4.4 Rakennusmateriaalit

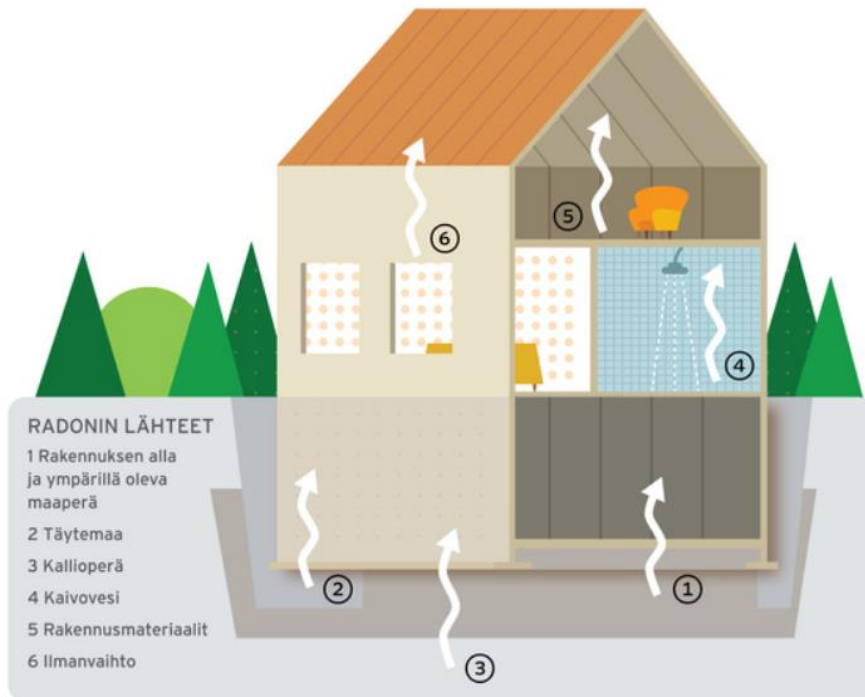
Rakennusmateriaalit, jotka sisältävät mineraalipohjaisia aineita, aiheuttavat radonsäteilyä. Tällaisia ovat esimerkiksi betoni. Kuitenkaan itse rakennusmateriaaleista aiheutuva radonsäteily ei yleensä aiheuta sisäilman radonpitoisuuden enimmäisarvoa. (RT 103123, 2.) Esimerkiksi kerrostaloissa, joissa on betonista tehdyt katto, seinä ja lattia, betoni tuottaa noin 70 Bq/m<sup>3</sup>. Pientaloissa, joissa vain alapohjalaatta on betonia, tuottaa laatta noin 20 Bq/m<sup>3</sup>. (STUK 2019.)

#### 3.4.5 Talousvesi

Myös pohjavesissä voi olla radonia. Hajoamisketjujen radioaktiivisista aineista osa nimittäin liukenee pohjaveteen. Etenkin kalliopohjavedet voivat olla melko radonpitoisia, sillä vesi on ollut pitkään kosketuksissa kalliomineraalien kanssa ja ne ovat ehtineet liueta veteen pitkiä aikoja. Lisäksi kalliossa oleva vesi on melko tiiviisti, eikä radon pääse poistumaan ulkoilmaan. Koska rengaskaivoissa tilanne on juurikin päinvastainen, siellä radonpitoisuus ei yleensä ole kovinkaan suuri. (Myllymäki 1996.)

Pohjavesistä radon pääsee sisätiloihin, kun vettä käytetään esimerkiksi pesukoneen ja muiden kodinkonelaitteiden käytössä. Kun vettä lämmitetään, radon haihtuu hyvin helposti ilmaan. Jos juomavesi on radonpitoista, pääsee se nieltynä aiheuttamaan säteilyä suoraan mahalaukulle. (STUK 2019.) Suomessa suurin porakaivovedessä esiintynyt radonpitoisuus on ollut 130 000 Bq/m<sup>3</sup> (Turtiainen 2016). Kuitenkin suurin osa ihmisten radon säteilystä tulee hengityksen kautta, noin 90%, kun taas kaivovedestä saatu säteily määrä on vain noin 10% (Thl 2019).

Edellä mainittuja radonin kulkeutumistapoja voidaan havainnollistaa vielä kuvion 5 avulla. Aina kaikkia näitä radonin kulkeutumistapoja ei tule ajatelleeksi, sillä kuten huomataan, voi radonlähteenä olla myös normaalit arkeen kuuluvat asiat. Esimerkkinä tästä aiemmin mainittu sekä kuvioista havaittava käyttövesi.



Kuvio 5. Radonin kulkeutuminen sisätiloihin (Omakotilehti 2019)

### 3.5 Radon torjunta

Sisäilman radonpitoisuutta pyritään torjumaan monenlaisilla keinoilla, esimerkiksi erilaisilla rakennusmenetelmillä. Näitä menetelmiä voidaan tehdä jo rakentamisvaiheessa, mutta myös jälkikäteen tehtävillä radonkorjauksilla voidaan alentaa radonpitoisuutta valmiissa sekä vanhoissa rakennuksissa. Koska Suomen maaperä on hyvin radonpitoista, on radonturvallinen rakentaminen perusteltua koko maassa (STUK 2019). Suositeltavaa olisi, että radonin torjunta tehtäisiin jo rakentamisvaiheessa, kuten aiemmin on jo mainittu.

Radonin torjunnassa pyritään saamaan asuntojen radonpitoisuudet mahdollisimman alhaisiksi. On tärkeää, että radon huomioidaan jo suunnitteluvaiheessa. Lisäksi myös huolellinen toteutus on erityisen tärkeää. Radonin torjunta pyritään ensisijaisesti toteuttamaan alapohja tiivistämällä niin, ettei radonpitoinen ilma

pääse vuotamaan sisätiloihin. Mikäli perusrakenteisiin jää ilmapuotoja, rakennuspohjaan asennettuun tuuletusjärjestelmään kytketään imuri, jolla radon pyritään tuulettamaan pois rakennuspohjasta. (RT 103123, 2.)

### 3.5.1 Suunnittelu

Sisäilman radonpitoisuuteen vaikuttavat muun muassa rakennuksen perustustavat. On hyvin tärkeää, että suunnittelija tietää radonin aiheuttamat haitat ja osaa näin ottaa radonin huomioon rakennusta suunnitellessaan. Mikäli alkuperäisessä on radonpitoista, on suunnittelijan huomioitava täyttömaina käytettävät maamateriaalit, niin etteivät ne tuota radonpitoisuutta ylittävää arvoa sisätiloihin. Jo pelkkä paksu salaojakerros voi aiheuttaa sisäilmaan liian suuren radonpitoisuuden. (Ympäristöministeriö 2018, 10.)

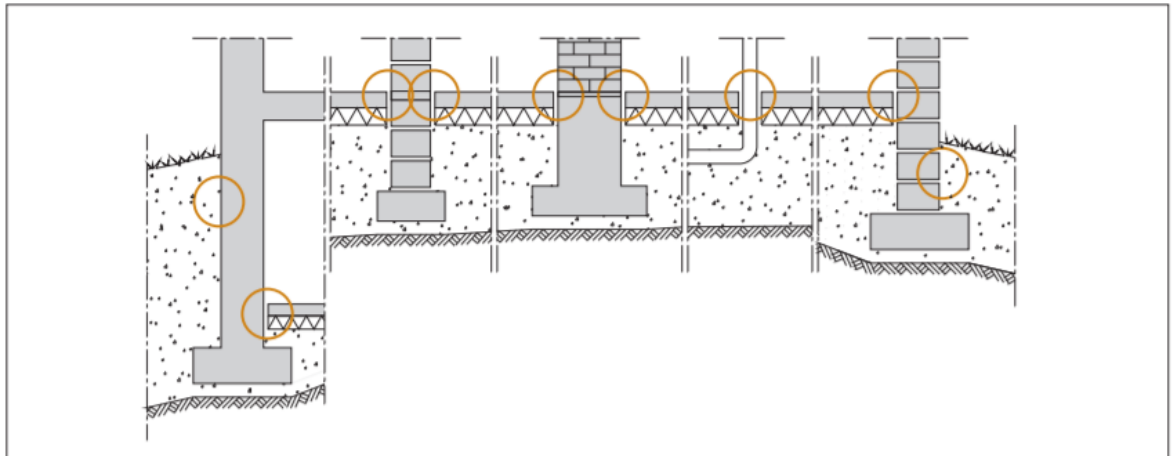
Radonsuunnittelu on otettava huomioon koko maassa. Ympäristöministeriön pohjarakenteista kertovan asetuksen mukaan (4§) sanotaan, että rakennuspaikan radonriski on huomioitava niin suunnittelussa kuin toteutuksessa. Ohjeiden mukaan myös pohjatutkimuksissa on otettava huomioon mahdolliset radonriskit. (Ympäristöministeriö 465/2014 4§; Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 10.)

### 3.5.2 Ilmanvaihdon merkitys

Toimiva ilmanvaihto on tärkeä osa sisäilman radon torjunnan kannalta. Radonpitoisuus voi kasvaa, mikäli rakennus on liian alipaineinen, sillä alipaineen vuoksi rakennus vetää radonpitoisen ilman sisälle. (STUK 2019.) Etenkin poistoilman vaihdossa tulee liika alipaineisuus helposti ongelmaksi. Vaikka rakennukseen asennettaisiin ulkoilmaventtiilejä, eivät ne välttämättä alenna alipainetta tarpeeksi. (RT 103123, 2.) Jos asunto taas ylipaineistettaisiin, saataisiin radonpitoisuutta mahdollisesti kevennettyä. Kuitenkaan tällainen menetelmä ei Suomessa ole sallittua, sillä tällöin rakennus altistuisi muille muun muassa kosteusteknisille vaurioille. (Weltner ym. 2003, 131.)

Tulo- ja poistoilmanvaihdolla korvausilma tulee hallitusti sisätilaan ja ilmanvaihto saadaan enemmän tasapainoon. On kuitenkin muistettava, että esimerkiksi säävaihtelut vaikuttavat ilmanvaihtoon, kun ulko- ja sisätilojen paine-erot muuttuvat. Eli vaikka ilmanvaihto asennettaisiin tasapainoon, voivat muun muassa säävaihtelut aiheuttaa alipainetta lattian tasolle. (STUK 2019.) Kuitenkin ympäristöhallinnon sivujen mukaan toimiva koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto jopa pienentävät radonpitoisuutta.

Kuviossa 6 on esitetty RT-kortin mukaisia esimerkki malleja rakenteista. Näissä rakenteiden kohdissa on kiinnitettävä erityistä huomiota rakenteiden tiiveydelle, sillä muun muassa liian alipaineistetussa asunnossa ilma alkaa helposti virrata huoneeseen juuri näistä rakenteiden epätiivistä kohdista. (RT 103123, 2.)



Kuvio 6. Rakenteiden tiiveydestä on huolehdittava etenkin näissä rakenteiden kohdissa (RT 103123, 2)

### 3.6 Perustustapa

Erilaisilla perustustavoilla voi olla suurikin merkitys sisäilman radonpitoisuuteen. Kuitenkaan ainoastaan hyvä perustustapa ei estä radonin kulkeutumista asuntoon. Perustustavalla voidaan vaikuttaa muun muassa siihen, kuinka paljon tarvitaan erilaisia radonteknisiä ratkaisuja. (RT 103123, 2.) Alla kerrotaan erilaisista perustustavoista sekä siitä, kuinka RT-kortiston mukaan radon torjunta otetaan niissä huomioon.

### 3.6.1 Tuulettuva alapohja

Mikäli alueella on suuret radonpitoisuudet, suositellaan rakennukseen tehtäväksi tuulettuva alapohja. Vaikka tämä ratkaisu ei itsessään kokonaan estä radonin kulkeutumista sisätiloihin, on radonpitoisuus selvästi pienempi, kuin muissa perusratkaisuissa. Tämä vaatii kuitenkin sen, että alapohja saa tuulettua tarpeeksi ja että alapohja sekä muut liitokset ja läpiviennit ovat tarpeeksi hyvin tiivistetty. (RT 103123, 3.)

Tuulettuvan alapohjan radonpitoisuudet ovat joissakin tapauksissa jääneet jopa alle 20 Bq/m<sup>3</sup>. Tällaiset rakennukset ovat olleet puurakenteisia. (Weltner ym. 2003, 149.) Kuitenkin myös tuulettuva alapohja rakenteisilla taloilla on mitattu yli 200 Bq/m<sup>3</sup> radonpitoisuuksia. Tosin tämä on usein johtunut juurikin siitä, ettei alapohja ole päässyt tuulettumaan riittävästi ja läpiviennit on tiivistetty huonosti. (STUK 2019.) Muun muassa Rakennuslehden, vuoden 2013, uutisen mukaan alueilla, joissa radonpitoisuus on korkea, on tuulettuva alapohja loistava perusratkaisu. Uutisen mukaan tämä pohja mahdollistaa myös esimerkiksi sähköjohtojen asennuksen ryömintätilaan. Näin todetaan, että tuulettuvalla alapohjalla on radon torjunnan lisäksi myös muita hyviä puolia.

### 3.6.2 Yhtenäinen laattaperustus

Mikäli perustustavaksi valitsee maanvaraisen alapohjalaatan, on radonturvallisen ratkaisun kannalta hyvä tehdä mahdollisimman yhtenäinen ja tiivis alapohja- sekä perustusrakenne. Esimerkkinä tällaiseen on muun muassa reunavahvistettu laattaperustus, jossa on vähän tiivistettävää. Tällaisessa perustustavassa on kuitenkin kiinnitettävä huomiota läpivientien tiivistämiseen. Mikäli laatta toteutetaan laadukkaasti niin, ettei siihen synny halkeamia tai muita ilmavuotoja, jotka voisivat lisätä ilmavuotoja maaperästä, ei teoriassa tällaisessa ratkaisussa pitäisi olla muita radonlähteitä, kuin mahdolliset läpiviennit sekä itse betoniaines. (STUK 2019.)

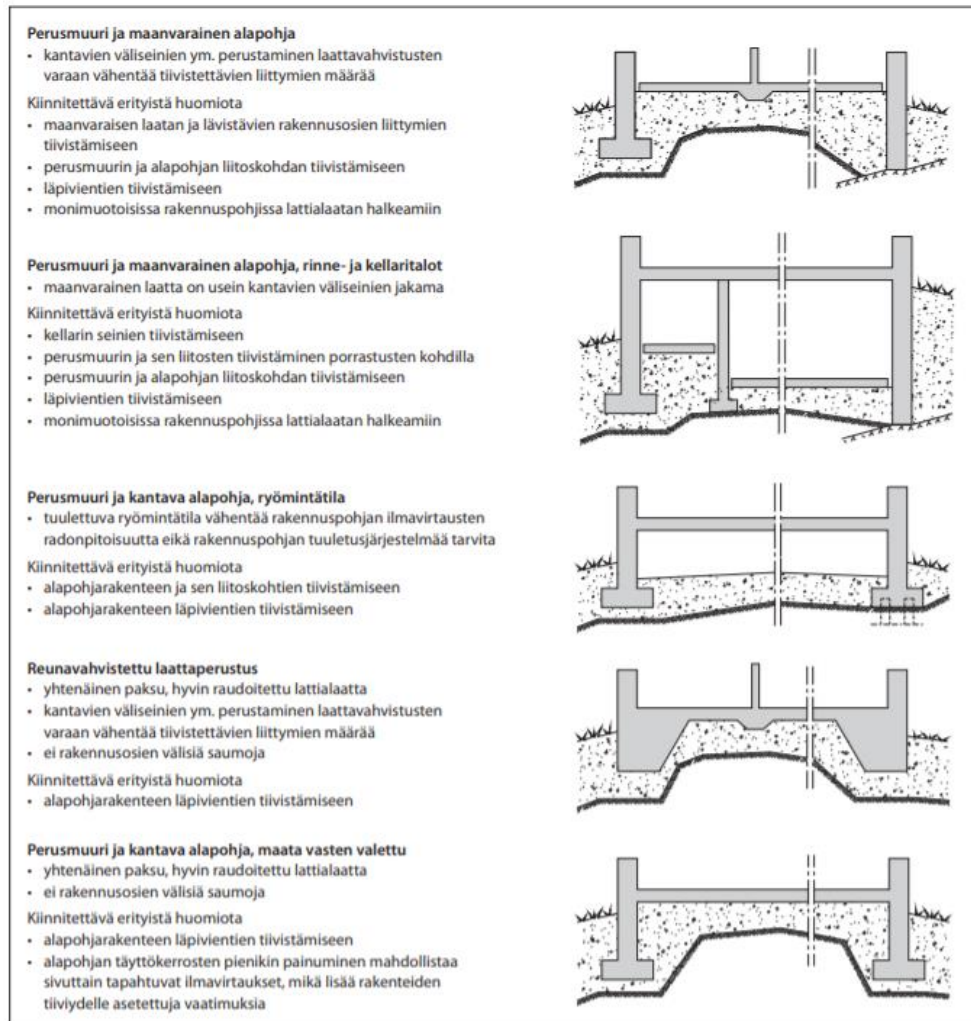
### 3.6.3 Perusmuuri ja maanvarainen alapohja

Pientaloissa on viime vuosikymmeninä noussut todella käytetyksi lattiarakenteeksi maanvaraisen laatta. Tässä ratkaisussa tehdään ensin perusmuuri ja sen sisäpuolelle lattialaatta. Kuitenkin tällaisessa perustamistavassa on ongelmana radonpitoinen ilmavirtaus, joka kulkeutuu asuntoihin helposti alapohjaliitosten kautta. Nämä liitoskohdista aiheutuvat ilmavirtaukset ovatkin merkittävin radonlähde niissä asunnoissa, jotka on perustettu tällä tavalla. (STUK 2019.)

Kuten jo aiemmissakin perustusratkaisuissa, myös tässä ratkaisussa tärkeää on erilaisten läpivientien tiivistäminen. Perusmuuri ja maanvarainen alapohja ratkaisussa RT-ohjekortin ohjeena on, että laatan alle asennetaan radonputkisto sekä yhtenäinen kumibitumikermi kaista sokkelin päälle ja laatan-reuna-alueen alle. Kumibitumikermikaistan avulla saadaan tiivistettyä laatan ja sokkelin liitosalue. (STUK 2019.)

Kuviossa 7 on RT-kortiston esittämiä erilaisia perustusratkaisuja. Näissä perustustavoissa on esitetty kohtia, jotka olisi hyvä huomioida radonin kulkeutumisen estämiseksi.





Kuvio 7. Erilaisia perustusratkaisuja ja niiden vaikutuksia radontekniseen suunnitteluun (RT 103123, 3)

### 3.7 Tiivistäminen rakenteissa

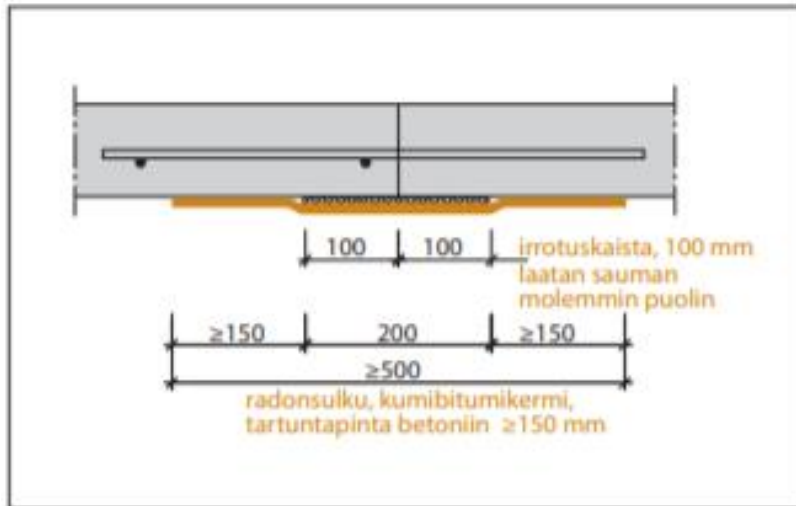
Kuten aiemmin jo kerrottu, alapohjarakenteiden tiiveys on hyvin merkittävää sisäilmaan kulkeutuvan radonin kannalta. Jotta rakenteiden tiivistäminen tulee onnistumaan, ei perusrakenteiden painuminen tai routiminen saa aiheuttaa rakenteiden tiiveyttä heikentäviä muodonmuutoksia. (RT 103123, 4.)

### 3.7.1 Alapohjalaatta

Betonin tiiveyden vuoksi se pystyy estämään radonin kulkeutumisen sisälle. On kuitenkin huomioitava, että pienikin hiushalkeama betonissa voi olla radonin kulkeutumisen lähde. Tämän vuoksi on tärkeää huolehtia siitä, että valussa betonimassa tiivistetään joka puolelta ja että massa liittyy saumattomasti jo muoteissa ennestään olevaan betoniin. Lisäksi, myös betonirakenteissa on muistettava tiivistää kaikki saumat sekä liitokset. (RT 103123, 4.)

Alapohjalaatoissa betonilaatan on oltava vähintään 80 mm paksu sekä hyvin tiivistetty. Halkeilun estämiseksi on tärkeää huolehtia siitä, ettei betonilaatta pääse kuivumaan liian nopeasti ja aiheuta sen vuoksi halkeamia. Tämän vuoksi laatta kastellaankin heti valun jälkeen, kun se vain on mahdollista ja viimeistään seuraavana aamuna valun päälle levitetään muovikalvo, joka hidastaa veden haihtumista valun päältä. Muovikalvo pidetään valetulla lattialla vähintään kaksi viikkoa. On myös tärkeää, että lattian pinnassa on sopiva lämpötila (vähintään 5 celsiusta). (RT 103123, 4.)

Mikäli valettava alue on hyvin suuri tai rakennus monimuotoinen, on se hyvä jakaa suorakaiteen muotoisiin osiin kutistumissaumoilla. Tämän ansiosta laatta ei halkeile niin helposti. Mikäli laatta on maanvarainen, tehdään saumat myös radontiiviiksi, niin kuin kuviossa 8 on esitetty. Laatan alle laitetaan kumibitumikerrikaista, jolla varmistetaan sauman ilmatiiviys. Irrotuskaista taas asennetaan laatan sekä kermin väliin. (RT 103123, 4.)

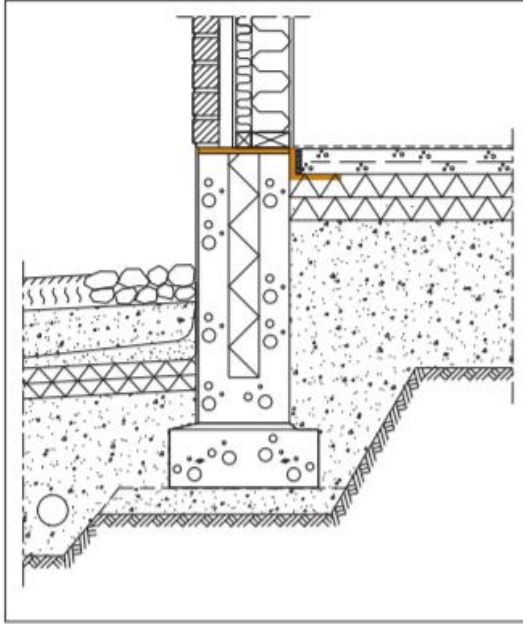


Kuvio 8. Maanvaraisen laatan saumakohdan radontiivistys (RT 103123, 4)

### 3.7.2 Liittymät

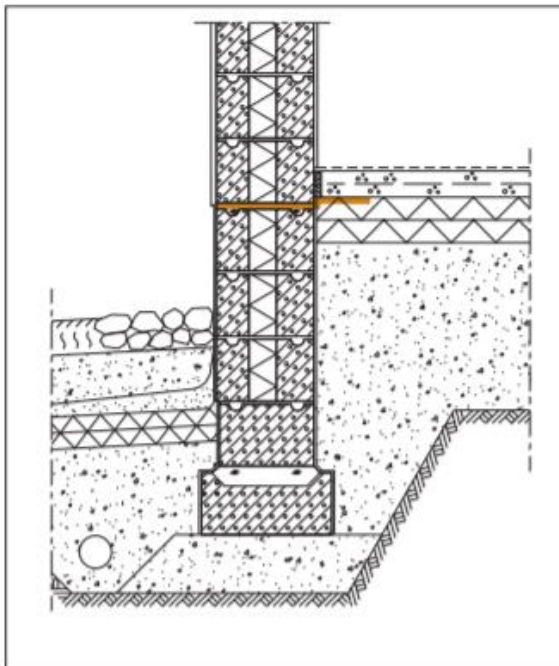
Kumibitumikermikaistalla voidaan tiivistää rakenteiden liittymiä. RT-ohjekortissa ”Radonin torjunta” suositellaan käytettäväksi TL2-luokan polyesteritukikerrok-sista kumibitumikermiä. Kermi on tärkeää asentaa niin, ettei se pääse rikkoutu-maan rakenteen kutistumisen, painumisen tai muunlaisten liikkeiden vuoksi. (RT 103123, 4.)

Kuvioissa 9 ja 10 on RT-ohjekortin esittämiä tapoja, kuinka bitumikermikaista asetetaan perusmuurin tai harkkoperustuksen päälle. Kermi taivutetaan perus-muurin päältä alaspäin, lämpöeristeen päälle. Pystysuoran osuuden on oltava vähintään 50 mm, eikä sitä saa kiinnittää perusmuuriin, koska ilman kiinnitystä se kestää vedon, jota laatan painuminen voi aiheuttaa. Vaihtoehtoisesti kermin voi taittaa myös ylöspäin ja viedä sen edelleen sitä kautta eristeen päälle. Tällöin pystysuora osuuden on oltava vähintään 20 mm. Kermin tulee jäädä lattiavalun alle ja sen täytyy olla laatan alla vähintään 150 mm, valun hiekkapintaa vasten. Kun kermejä jatketaan pituussuuntaisesti, on limitysten oltava vähintään 50 mm. Myös nurkkaliitokset ovat tärkeää tiivistää kunnolla. Mikäli taitekohtaan jää reikiä, on ne tiivistettävä käyttötarkoitukseen sopivalla massalla. (RT 103123, 4.)



Kuvio 9. Kumibitumikaista on taitettu perusmuurin päältä alaspäin (RT 103123, 6)

Kuviossa 10 on esitetty kermin taitto perusmuurin sekä harkkoseinän välillä, kuviossa kermi on taitettu ylöspäin. Kun harkon yläpinta on tasoitettu, voidaan saumaan asentaa kumibitukermi. Kuvion mukaisessa harkkoperustuksessa on lisäksi ohutrapattava perusmuurin ulko- ja sisäpinta. (RT 103123, 6.)



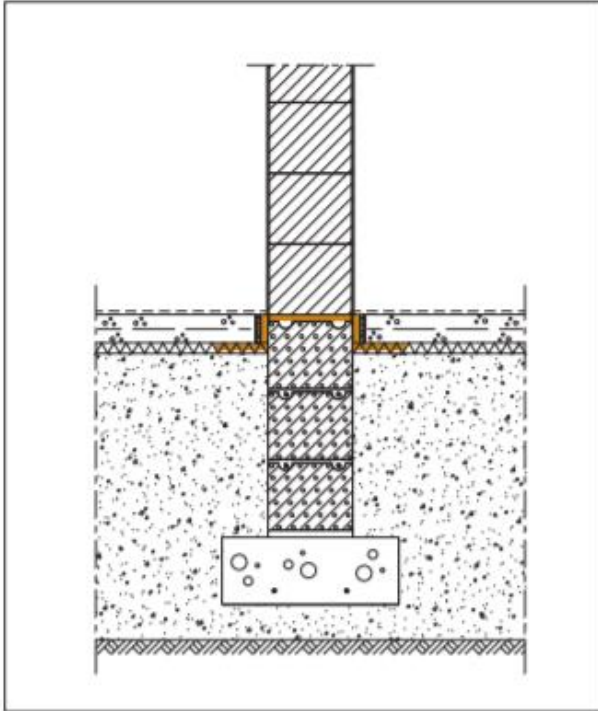
Kuvio 10. Kumibitumikermi asennettuna perusmuurista ylöspäin. Kuviossa on harkkoperustus sekä harkkoseinä. (RT 103123, 6.)

Perusmuurin ja maanvaraisenlaatan tiivistys on mahdollista toteuttaa myös niin, että bitumikaista asennetaan vaakasuorassa perusmuurin päältä betonilaatan alle. Tällaisessa ratkaisussa on kuitenkin otettava huomioon, että jos laatta painuu, saattaa kermi mennä rikki. Mikäli liittymän haluaa radontiivistää näin, on liittymä suunniteltava niin, että perusmuurin sisäpinta voi antaa periksi laatanpainumisen, eikä se aiheuta vaurioita kermille. (RT 103123, 6.)

### 3.7.3 Maanvastainen- ja kantava seinä

Kuten aiemmin on jo todettu, betoni on sen verran tiivistä, että radon ei pääse kulkeutumaan sen läpi. Tämä vaatii kuitenkin sen, että betonissa ei ole halkeamia ja että se on tiivistetty tarpeeksi hyvin. Kun maanvastainen seinä tehdään betonista, ei myöskään tässä radonpitoinen ilma pääse kulkeutumaan seinän läpi, kun edellä mainitut asiat (tiivius ja halkeamat) ovat kunnossa. Tällaisessa perusratkaisussa syntyy kuitenkin liittymä seinän ja maanvaraisen laatan välille, joka täytyy tiivistää. Mikäli seinän tekee harkoista, on sen pinnat ohutrapattava sisä- sekä ulkopuolelta. Rappaus täytyy tehdä ylhäältä alas niin, että se ylettyy anturaan asti. Tämän lisäksi ulkopuolelle on vielä asennettava kumibitumikermi, jonka voi joko hitsata tai liimata seinään. (RT 103123, 5.)

RT-kortisto suosittelee, että muun muassa kanavat väliseinät sekä takat perustettaisiin laattavahvistuksen varaan, mikäli vain mahdollista. Etuna perustamisratkaisuna olisi se, ettei liittymiä tarvitsisi tiivistää. Harkkorakenteissa kermi suositellaan asennettavaksi kuvion 11 mukaisesti. Kermi asennetaan niin, että se jää valettavan betonilaatan alle. (RT 103123, 7.)



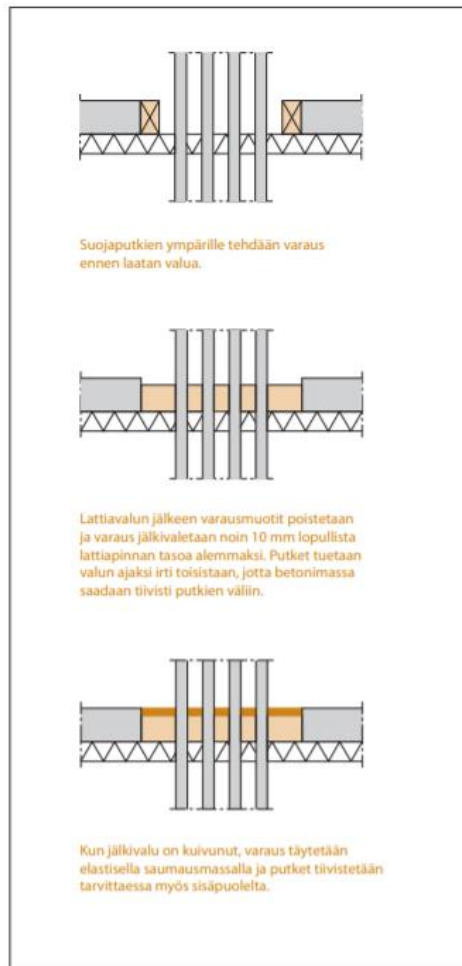
Kuvio 11. Kantavan väliseinän ja perusmuurin tiivistys kermillä (RT 103123, 7)

#### 3.7.4 Lämpiviennit

Erilaisten alapohjarakenteiden radontiivistysten lisäksi on muistettava ottaa huomioon myös erilaisten läpivientien tiivistys. Mikäli läpivientejä ei tiivistetä kunnolla, voivat ne aiheuttaa radonin kulkeutumista sisätiloihin. Alapohjarakenteen läpivientejä ovat muun muassa sähköjohdot sekä lämmitys-, vesi- ja viemäriputkien läpiviennit. (STUK 2019.) Kuten aiemmin kerrottiin, tuulettuvissa alapohjarakenteissa radonpitoisuus oli paikoittain ylittänyt  $200 \text{ Bq/m}^3$ , joka osaltaan johtui myös siitä, etteivät läpivientien tiivistykset olleet kunnossa. Tiivistys vaatii huolellista ja tarkkaa työtä, mutta kun työn tekee kunnolla, ei tarvitse heti rakennuksen valmistuttua pelätä, että radon kulkeutuisi sisätiloihin läpivientien kautta.

RT-kortisto on antanut erilaisia ohjeita alapohjarakenteen läpivientien tiivistykseen. Läpivientejä voidaan tiivistää esimerkiksi pohjanauhalla ja elastisella saumausmassalla. Alapohjarakenteissa voi olla erilaisia luukkurakenteita, joiden on oltava ilmatiiviitä ja ne täytyy saada myös suljettua ilmatiivisti. Radon voi kulkeutua asuntoon myös suojaputkien sisäpuolelta ja sen vuoksi tällaisiin läpivienteihin

on muistettava kiinnittää erityistä huomiota. (RT 103123, 8.) Alla olevassa kuviossa on RT-kortiston esittämä tapa tiivistää monen putken muodostama läpivienti (Kuvio 12).



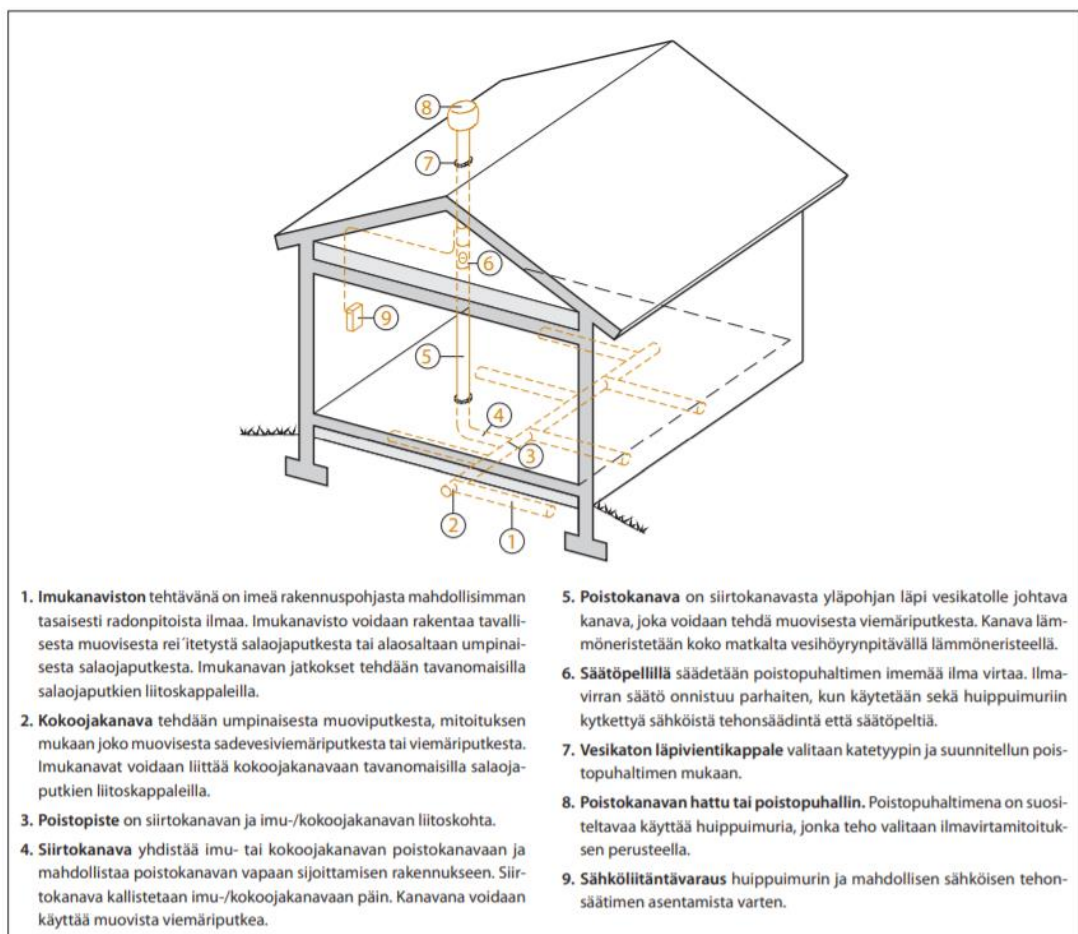
Kuvio 12. Usean putken tiivistys esimerkki (RT 103-123, 8)

### 3.8 Tuuletusjärjestelmä

Rakennuspohjan tuuletusjärjestelmät ovat myös osa uudisrakentamisessa huomioitavia radonin torjuntakeinoja. Kun rakennuspohja alipaineistetaan ja salaojakerroksen huokosilmaa tuuletetaan, saadaan pienennettyä sisäilmaan kulkeutuvan radonin määrää. Mikäli alapohjarakenteisiin on jäänyt ilmavuotoja, voidaan sisäilman radonpitoisuutta hallita tuuletusjärjestelmällä kytkemällä siihen huipputuuletus. (STUK 2019.)



Tuuletusjärjestelmään kuuluva imukanavisto asennetaan salaojakerrokseen. Muita järjestelmään kuuluvia osia ovat siirtokanava, poistokanava sekä poistopuhallin. Näiden avulla ilmaa saadaan imettyä pois rakennuspohjasta. Tarvikkeena tuuletusjärjestelmän toteuttamiseen käyvät esimerkiksi rakennus- ja ilmanvaihtotarvikkeet. On saatavilla myös erilaisia radonputkistopaketteja, jotka sopivat muun muassa pientalo rakentamiseen. Tärkeää kuitenkin on, että tarvikkeet, joita sijoitetaan rakennuspohjaan, ovat korroosionkestävää materiaalia. (RT 103123, 9.) Kuviossa 13 on tuuletusjärjestelmä, jossa sen eri osat ovat nimetty.



Kuvio 13. Rakennuksen tuuletusjärjestelmä (RT 103123, 9)

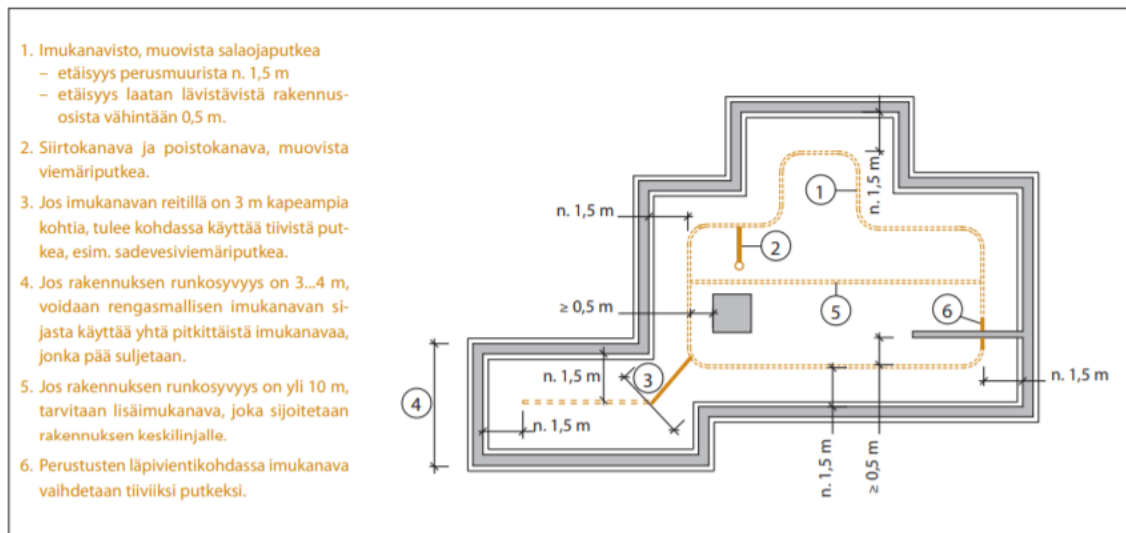
### 3.8.1 Imukanavisto

Tuuletusjärjestelmään kuuluva imukanavisto sijoitetaan alapohjan salaojituskerrokseen. Tämän kanaviston tarkoituksena on imeä radonpitoista ilmaa rakennus-



pohjasta. On kuitenkin otettava huomioon, että salaojituskerroksen täytyy läpäistä paremmin ilmaa kuin perusmaa, jotta järjestelmä voi toimia oikein. (RT 103123, 9.)

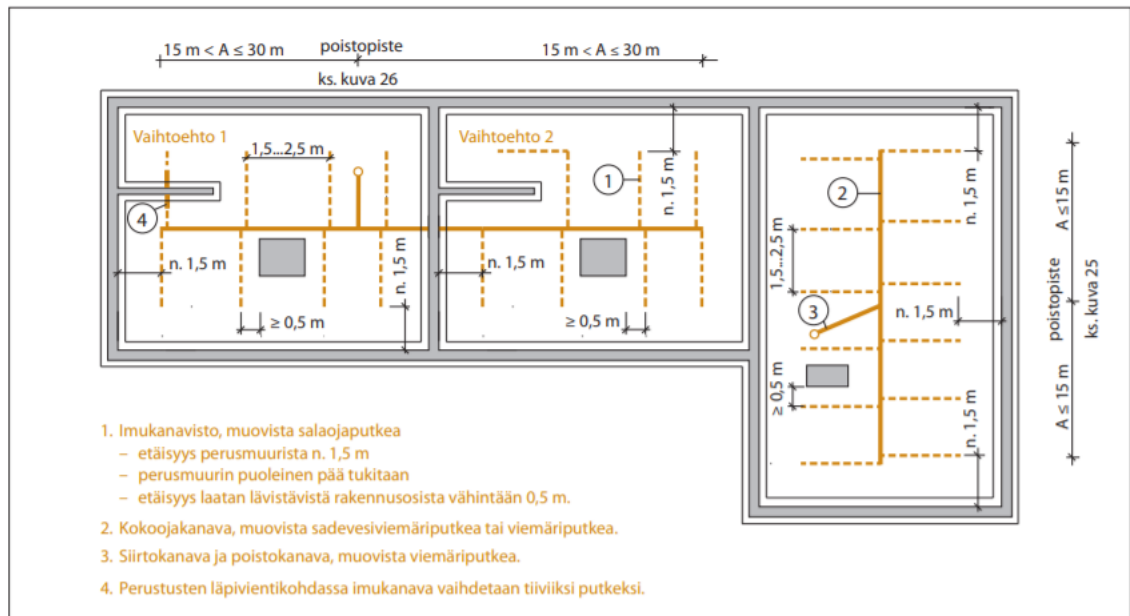
Imukanavistoja on sekä rengasmallisia että monihaaraisia, mutta myös näiden yhdistäminen on mahdollista. Rengasmallinen järjestelmä sopii muun muassa pientaloihin. Tässä mallissa on imukanaviston ulotuttava rakennuspohjassa jokaiseen perustusrakenteiden erottamaan osaan. Kuitenkin riippuen rakennuksen pohjamuodosta, voi rengasmalli myös supistua yhdeksi imukanavaksi. (RT 103123, 10.) Alapuolisessa kuviossa on esimerkki, kuinka rengasmallinen imukanavisto on sijoitettu matalaperusteiseen pientaloon (Kuvio 14).



Kuviossa 14. Rengasmallinen imukanavisto sijoitettuna matalaperusteiseen pientaloon (RT 103123, 10)

Toinen imukanavisto tyyppi on monihaarainen, kuten jo edellä mainittiin. Tämä kanavisto soveltuu hieman isompiin, pitkänmallisempiin rakennuksiin, toisin kuin äskeinen rengasmallinen järjestelmä. Monihaaraisen imukanaviston toiminta perustuu siihen, että sen kanavistossa oleva alipaine pysyy tasaisena koko kanavistossa. Tällaiseen järjestelmään kuuluvat kaksi osaa, kokoojakanava sekä imukanava. Monihaara kanavisto sijoitetaan rakennuspohjaan hieman eri lailla kuin rengasmalli. Tässä rakennuksen keskilinjalle sijoitetaan kokoojakanava, josta imukanavat haarautuvat ja yhdistyvät kokoojakanavaan. Imukanavat asetetaan

koko rakennuspohja alueelle mahdollisimman tasaisesti niin, että ne ulottuvat jokaiseen rakennusosien erottamaan osaan rakennuspohjassa. Ne imukanaviston päät, jotka ovat perusmuurin puoleisia on suljettava esimerkiksi muovisella tulpalla. (RT 103123,10.) Esimerkki monihaarisesta imukanavistosta on esitetty kuviossa 15.



Kuviossa 15. Esimerkki monihaaraisen imukanaviston sijoittelusta (RT 103123, 11)

### 3.8.2 Poistokanava

Poistokanavat asennetaan yleensä ala- ja yläpohjarakenteiden läpi vesikatolle saakka. Kanavien määrä voi vaihdella yhdestä useanapaan. Siirtokanavan avulla poistokanavat yhdistetään imu- tai kokoojakanavaan, jotka sijaitsevat rakennuspohjassa. Siirtokanava myös mahdollistaa poistokanavien sijoittelun säätelyä. Koska poistokanavisto kulkee yleensä erilaisten rakenteiden läpi sisätiloissa, on se tehtävä tiiviistä putkesta. Poistokanavaa sijoittaessa on otettava huomioon, että sen etäisyys erilaisista ulkoilmalaitteista tai avattavista ikkunoista sekä muista vastaavista, täyttävät vaadittavat ohjeet. (RT 103123, 11.)

Koska poistokanavisto aiheuttaa läpivientejä ala- ja yläpohjassa, on nämä läpiviennit tärkeää muistaa tiivistää. Yläpohjassa sekä vesikatolla voidaan käyttää läpivientielementtejä, jotka on myös muistettava tiivistää kunnolla. On tärkeää ottaa

huomioon, että osastoivien rakennusosien läpiviennit ovat tiivistettävä niin, ettei rakennusosan osastoitavuus heikkene. Palokatkokohdissa voidaan tiivistykseen käyttää esimerkiksi palokatkomassaa, joka on tyyppihyväksytty. (RT 103123, 11.)

Koska ilma, jota alapohjasta imetään, on kylmempää kuin sisätilojen ilma, on poistokanavan ulkopintaan vaarana tapahtua kondensoitumista etenkin, jos sisäilmankosteus on suuri. Kondensoitumisen estämiseksi koko poistokanavisto eristetäänkin vesihöyrytiivillä lämmöneristeellä. Kylmissä tiloissa sijaitsevien osien eristämässä on noudatettava jäteilmakanavalle annettuja ohjeita. Talvella kondensoitumisen vaara on taas kanavan sisäosissa sellaisissa kohdissa, joissa poistokanavisto rajoittuu ulkoilmaan. Tämä johtuu siitä, että ulkolämpötila on kylmempää kuin alapohjasta imettävä ilma. Sen vuoksi onkin tärkeää rakentaa koko poistokanava niin, että sisäpuolen kondenssivesi palautuu laatan alaiseen kanavistoon. (RT 103123, 11.)

### 3.8.3 Kanaviston mitoitus

Tuuletusjärjestelmän imukanaviston kanavapituudet ja -koot voidaan valita RT-kortin 103123 taulukoiden mukaisesti. Tässä työssä nämä taulukot ovat alapuolella (Taulukko 2). Taulukoissa on esitetty mitoitus rengasmalliselle- sekä monihaariselle imukanavistolle. Kanavakokoihin vaikuttavat poistopisteiden määrä sekä kanaviston pituus. Taulukoissa annetut arvot ovat järjestelmän minimiarvoja, joten järjestelmää ei voida toteuttaa pienemmillä kanavilla. (RT 103123, 12.)

Yleensä rengasmallisessa imukanavistossa on yksi tai kaksi poistopistettä, jotka voidaan yhdistää yhteen poistokanavaan. Mikäli järjestelmässä on näitä pisteitä kaksi, sijoitetaan ne symmetrisesti niin, että molempia poistopisteitä kohden on imukanavaa yhtä monta metriä. (RT 103123, 12.)

Monihaarainen imukanavisto suositellaan tehtäväksi niin, että kokoojakanavan ja imukanavan liitos on korkeintaan 15 metriä. Tämän mukaan tehtäessä voitaisiin imukanavat liittää kokoojakanavaan salaoja- ja sadevesiviemärointiin tarkoitettuilla tarvikkeilla. Mikäli liitos on yli 15 metriä, täytyy liitokseen tehdä rei'itys. (RT 103123, 12.)

Poisto- ja siirtokanavaa valittaessa on huomioitava imu- ja kokoojakanava mitat, ja valittava liitokset niiden mukaan niin, että ne ovat tiiviit eivätkä pääse irtoamaan. Esimerkiksi ennen täyttöjen tiivistämistä on huomioitava, että kaikki liitokset pysyvät varmasti paikoillaan, eivätkä irtoa tiivistysten yhteydessä. (RT 103123, 13.)

Taulukko 2. Tuuletusjärjestelmän mitoitus (RT 103123, 12)

Taulukko 1. Rengasmallisen imukanaviston mitoitus.

Imukanaviston poistopisteiden välinen etäisyys L	Imukanaviston nimelliskoko $\varnothing$
m	mm
$L \leq 30$	$\geq 80$
$30 < L \leq 45$	$\geq 100$
$45 < L \leq 70$	$\geq 130$

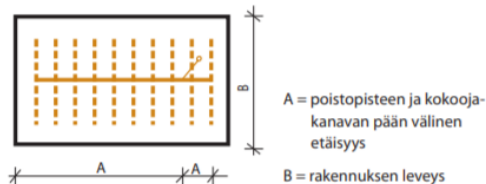


L = imukanaviston poistopisteiden välinen etäisyys

Taulukko 2. Monihaaraisen imukanaviston mitoitus.

Poistopisteen ja kokoojakanavan pään välinen suurin etäisyys A	Kokoojakanavan nimelliskoko $\varnothing$
m	mm
$A \leq 15^*$	$\geq 100$
$15 < A \leq 30$	$\geq 160$
Rakennuksen leveys B	Imukanaviston nimelliskoko $\varnothing$
m	mm
$B \leq 10$	$\geq 65$
$10 < B \leq 15$	$\geq 80$

\* ensisijainen suunnittelumitta



### 3.8.4 Radonputkiston käyttöönotto

Rakennuksen valmistuttua olisi sinne suotavaa tehdä tarkistusmittaus, jolla tarkistetaan radonpitoisen ilman määrä sisällä. Jotta mittauksesta saataisiin mahdollisimman luotettava arvo, tulisi rakennuksen lämmityksen ja ilmanvaihdon olla jo normaalissa käytössä. Luotettavan arvon saaminen edellyttää myös, että mitaus on tehty syyskuun ja toukokuun välisellä ajalla. (STUK 2019.) Ennen mitausta on myös tarkastettava, että rakennuksen kaikissa osissa läpiviennit ovat varmasti tiivistetty oikein (RT 103123, 13).

Rakennuksen radonpitoisuuden ylittäessä  $200 \text{ Bq/m}^3$ , olisi syytä kytkeä tuuletusjärjestelmän poiskanavaan poistopuhallin. Helpoin ratkaisu tähän olisi, että poistokanavaan liitettäisiin valmis huippuimuri, se voi alentaa radonpitoisuutta jopa

60-95%. (STUK 2019.) RT-kortiston ohjeessa Radonin torjunta suositellaan poistopuhaltimena käytettäväksi huippuimuria, sillä muissa tyypeissä on esiintynyt käyttöhäiriöitä. Mitoitus poistopuhaltimelle suunnitellaan niin, että jokaista maanvastaista lattia- ja seinäneliömetriä kohden olisi 0,05dm<sup>3</sup>/s ilmavirtaa. Oikeanlainen mitoitus on tärkeä, sillä liika ilman imeminen rakennuspohjasta lisää perusrakenteiden routimisriskiä ja talvella se lisää energiankulutusta. Mikäli tuuletusjärjestelmään täytyy liittää huippuimuri, on oleellista, että sen täytyy olla koko ajan päällä, jotta radonpitoisuus saadaan pysymään alhaisempana. On kuitenkin muistettava, ettei tätä puhallinta saa kytkeä huonetilojen muuhun koneelliseen ilmanvaihtojärjestelmään. (RT 103123, 13.)

### 3.8.5 Puutteellisuuksia järjestelmän toiminnassa

Vaikka alapohjan tuuletusjärjestelmä on hyvä ja tärkeä ajatellen radonin torjuntaa, on kuitenkin muistettava, ettei torjuntaa saisi jättää ainoastaan tuuletusjärjestelmän varaan. Tällä tarkoitetaan sitä, että on hyvin tärkeää tehdä myös erilaiset tiivistystyöt kunnolla. Mikäli torjunnan jättää pelkästään järjestelmän varaan, voi tuuletusjärjestelmä olla tarpeeksi tehokas ainoastaan hyvin suurilla ilmavirroilla. Tämä voi aiheuttaa jo aiemmin vääränlaisen mitoituksen vuoksi mainittuja routimisongelmia. Jos tiivistykset on huonosti tehty ja lisäksi täyttöaine on kärkeä, saattaa tuuletusjärjestelmän oikeanlainen ilmavirta ylittää mitoitusilmavirran moninkertaisesti. Oikeanlaisella ilmavirralla tässä yhteydessä tarkoitetaan ilmavirtaa, jolla saavutetaan riittävän alhainen radonpitoisuus rakennuksen sisätiloissa. (RT 103123, 14.) Tuuletusjärjestelmän asentaminen on yleensä vain varmuustoimenpide ja jo pelkän tiivistystyön avulla pyritään riittävän hyvään lopputulokseen radonin torjunnan kannalta (Weltner ym. 2003, 149–150).

## 4 KUSTANNUKSIA

### 4.1 Radonputkiston kustannuksia uudisrakennuksessa

Aiemmin on jo useamman kerran mainittu, että radon torjunta on halvempaa rakennusvaiheessa kuin jälkikäteen tehtynä. Itse radontorjuntaan liittyy paljon erilaisia kustannus lähteitä kuten kermit ja tuuletusjärjestelmä. Aiemmin mainittiin, että on olemassa myös radonputkistopaketteja. Alapuolella kerrotaan lyhyesti karkea arvio, kuinka paljon radonputkisto tulee uudisrakennukseen maksamaan, kun työtä ei ole huomioitu hintaan.

Radonputkisto maksaa erilähteiden mukaan hieman alle tuhat euroa asuntoa kohden (Rautiainen 2016). Omakotitalon tarpeisiin mitoitettu Uponor radonputkistopaketti maksaa myös hieman alle 1000 € muun muassa Taloon.com sivuilla. Tällainen paketti sisältää kaiken muun paitsi kattoläpiviennit sekä mahdollisesti tarvittavan huippuimurin. On toki muistettava, että mikäli työn tekee ulkopuolinen, lisää se putkistonhintaa. Kuitenkin voidaan todeta, ettei pelkkä radonputkisto lisää rakennuksen hintaa niin paljon, etteikö se olisi hyvä varmuuden vuoksi asentaa.

### 4.2 Radon korjauksen hintoja

Jotta jo rakennusvaiheessa muistettaisiin tehdä yllä mainitut radonin torjunta menetelmät (tiivistykset ynnä muut) kunnolla, on hyvä selvittää hieman hintoja, joita voivat aiheuttaa jälkeempään tehtävät radonkorjaukset. Kuten edellä on mainittu, ovat monet radonin torjunta keinot halvempaa tehdä rakennusaikana, eikä vasta jälkikäteen. Sen vuoksi on tässä opinnäytetyössä otettu esille myös hieman karkeita kustannusarvioita radonkorjauksista.

Alla oleva taulukko on otettu Säteilyturvakeskuksen-sivuilta (Taulukko 3). Kyseisessä taulukossa on esitetty kustannuksia, joita voi esiintyä, kun joudutaan tekemään erilaisia radonkorjauksia. Kustannukset Säteilyturvakeskus on selvittänyt kyselytutkimuksen avulla (STUK).

Taulukko 3. Radonkorjausten kustannuksia kyselytutkimuksen avulla (STUK)

	Ulkopuolinen työ (EUR)			Tarvikkeet, työ itse tehtynä (EUR)		
	N	ka	med. (P25 - P75)	N	ka	med. (P25 - P75)
Huippuimurin kytkeminen radonputkistoon	30	1010	<b>500</b> (300 - 1500)	36	260	<b>230</b> (150 - 300)
Radonimuri (poistokanava lattialaatan läpi)	26	3440	<b>2350</b> (1180 - 3900)	23	440	<b>300</b> (200 - 500)
Radonimuri (poistokanava sokkelin läpi)	9	4560	<b>2790</b> (2000 - 5000)	6	180	<b>150</b> (50 - 300)
Rakenteiden tiivistäminen	4	760	<b>1000</b> (510 - 1000)	22	90	<b>50</b> (20 - 150)
Ilmanvaihdon parantaminen asuintiloissa*	36	5790	<b>2400</b> (480 - 9490)	22	1 600	<b>650</b> (200 - 6500)

Yllä olevasta taulukosta nähdään kustannuksia erilaisille radonkorjauksille (Taulukko 3). Ennen taulukon tulkitsemista on kuitenkin muistettava ottaa huomioon, että eri toimenpiteisiin on vastannut eri määrä ihmisiä, joten taulukko on vain suuntaa antava. Lisäksi on huomioitava, että eri toimijoilta saa eri hintaisia palveluita ja myös rakennusten kunnot sekä koot ovat vaihtelevat. Nämä asiat voidaan taulukon tulkitsemisessä huomata, kun katsotaan, kuinka paljon saman työn hinnat vaihtelevat (STUK).

Taulukossa kirjain *N* tarkoittaa tehtyyn kyselyyn vastaajien lukumäärää, *ka* on keskiarvo ja *med.* mediaani (Taulukko 3). Kuten taulukosta nähdään, on pelkkä huippuimurin kytkeminen tuuletusjärjestelmään halvin ratkaisu (noin 500 €), mikäli työn teettää ulkopuolisella. (STUK.) Kun rakennukseen asennetaan radonimuri, joka menee sokkelin läpi, nousee taulukon mukainen mediaani hinta heti yli 1500 eurolla. Vaikka huippuimurin sekä sokkelin lävitse menevän radonimurin hinta erona otettaisiin huomioon halvimmat hinnat, jolla ulkopuolinen on työn tehnyt, on ero joka tapauksessa yli 1000 euroa. Toki, mikäli työn tekee

itse, tulevat nämä kustantamaan lähes yhtä paljon ylempänä olevan taulukon mukaan.

Radonimurin voi asentaa myös lattian läpi. Joka tapauksessa pelkkä huippuimurin asentaminen olisi todennäköisesti halvempi ratkaisu, kun verrataan huippuimurin sekä radonimurin mediaani hintoja. Kuten jo edellä taulukosta 3 katsoen todettiin, että myös itse tehtynä työt tulisivat olemaan lähes samanhintaisia huippuimurilla sekä radonimurilla, joka asennetaan sokkelin läpi. Taulukon avulla näemme, että sama pätee myös radonimurille, joka asennettaisiin lattian läpi. Hintaeroa huippuimuriin ei juurikaan ole. Lisäksi hinnat samalle työlle eivät vaihtele niin paljoa itse tehtynä. Esimerkiksi lattian läpi asennettavalla radonimurilla hintavaihtelu on 200-500 euroa itse tehtynä. Kuten jo aiemmin on mainittu, on näiden hinta-arvioiden tulkitsemisessa kuitenkin huomioitava myös vastaajien määrä ja kuten taulukosta näemme, on vastaajia ollut huomattavasti vähemmän radonimurille, jonka poistokanava asennetaan sokkeli läpi, entä kuin huippuimurille tai lattian läpi menevälle radonimurille.

Kuten taulukosta 3 nähdään, on ulkopuoliselta otettuun työhön rakenteiden tiivistämisessä vastannut vain neljä (4) henkilöä. Näiden vastaajien mukaan on mediaani hinta tiivistämiselle ollut 1000 euroa. Itse tehtynä tämä työ ei kuitenkaan ole vastaajien mukaan kallis. Säteilyturvakeskuksen mukaan pelkkä rakenteiden tiivistäminen toimenpiteenä on kuitenkin harvinaista (STUK).

Taulukon 3 mukaan vastaajia on ollut eniten kohdassa ilmanvaihdon parantaminen, kun katsotaan jälleen ensimmäisenä ulkopuolisen työn sarakkeita. Vastaajia on tähän ollut 36, mikä on kuusi enemmän kuin huippuimurin kytkemiseen vastanneista. Ilmanvaihdon parantamisessa myös hinta erot ovat suurimmat. Halvimmasta hinnasta on eroa kalleimpaan jopa 9000 euroa. Kuitenkaan mediaani-hinta ei ole kuin 2400 €, mikä on samoissa luokissa radonimurien kanssa. Myös ilmanvaihdon parantamisessa mediaani hinta itse tehdyille työlle on matalampi, kuin ulkopuolisella teetetty. Tosin myös itse tehtynä työn hinnat ovat kyselyyn vastanneiden mukaan vaihdelleet jopa 6000 euroa.



Taulukossa 3 mainitsematta jäänyt radonkaivo on myös melko tehokas radonkorjauskeino. Tällainen menetelmä tosin sopii vain sellaiselle maaperälle, joka on läpäisevää soramaata. Radonkaivon kustannukset ovat noin 3000 - 5000 euroa. (STUK 2019.)

Yleisesti ottaen tiedetään, että jälkeinpäin tekeminen on työläämpää sekä usein myös kalliimpaa. Tämä on tässä työssä mainittu radonin torjunnan yhteydessä jo useampaan kertaan. Ylempänä tarkasteltiin Säteilyturvakeskuksen taulukkoa, jossa radonkorjauksen hintoja oltiin selvitelty kyselyn avulla (Taulukko 3). Muita lähteitä tutkimilla (tässä esimerkkinä Talotekniikka-lehti) huomasin, että radonkorjausten keskimääräinen hinta on noin 2400 €. Kun rakennuksessa on radonputkisto valmiina ovat radonkorjaukset kustannukset noin 500 €. (Talotekniikka 2017.) Korjauksista aiheutuu kustannuksia muun muassa materiaaleista sekä työstä. Mikäli työn tekee itse, säästää kustannuksissa, kuten yläpuolella olevasta taulukosta 3 voidaan havaita. Korjauskustannuksia lisäävät vielä korjauksen jälkeen tehtävä radonmittaus, josta mainittiin jo radonmittausten yhteydessä. On kuitenkin hyvä miettiä erilaisia vaihtoehtoja radonin torjunnalle ja punnita tärkeyttä rahan ja oman terveytensä välillä.

## 5 POHDINTA

Opinnäytetyössä käsiteltiin melko laajasti erilaisia radonin torjuntakeinoja uudisrakentamisessa. Työssä on käytetty paljon virallisia ja asiantuntevia lähteitä, jotta työ olisi mahdollisimman luotettava. Keskeisintä työssä oli rakennuspohjien ja rakenteissa olevien erilaisten, muun muassa läpivientien, tiivistäminen. Myös perustamistavalla ja suunnittelulla on radonin torjunnan kannalta suuri merkitys. Työssä pyrittiin tuomaan tietoa siitä, kuinka haitallinen radonkaasu on ja miksi se kannattaa ottaa huomioon jo uudisrakennusvaiheessa. Tavoitteena oli myös lisätä ihmisille tietoisuutta huolellisen ja ohjeiden mukaisen työtoteutuksen tärkeydestä.

Työssä käytiin läpi erilaisia perustustapoja ja niihin liittyvää radon torjuntaa. Kävi ilmi, että tuulettuva alapohjarakenne on radonturvallinen ratkaisu, tosin myös tässä ratkaisussa pitää läpiviennit tiivistää kunnolla ja alapohjan riittävästä tuulettumisesta on huolehdittava. Myös alipaine sisätiloissa lisää radonin kulkeutumista asuntoihin. Vaikka rakennuspohjaan suositellaan asennettavaksi tuuletusjärjestelmä, ovat tiivistykset silti ensisijaisia radonin torjuntakeinoja.

Tutkimuksen avulla selvitettiin, ettei perinteinen radonmittaus ole niin suuri kustannuskysymys, etteikö pitoisuutta kannattaisi mitata, mikäli siitä ei ole varma. Mittaus kannattaa kuitenkin tilata sellaisilta toimijoilta, jotka ovat Säteilyturvakeskuksen hyväksymiä. Radonpitoisuus vaihtelee hyvin paljon lyhyissä ajoissa, joten pikamittaus antaa vain suuntaa antavan tiedon. Pidempi aikainen mittaus antaa taas luotettavamman keskiarvotuloksen. Lisäksi pikamittauslaitteet ovat usein kalliimpia, kuin pidempiaikaiset mittalaitteet.

Pienen kustannusselvityksen mukaan saatiin tietoon radonkorjauksista aiheutuvia karkeita kustannuksia. Eri lähteistä saatiin myös selville radonkorjausten keskiarvohinta. Vaikka työssä ei käsitelty laajasti radon torjunnan kustannuksia uudisrakentamisessa, saatiin kuitenkin tietoon, että pelkän radonputkiston hinta tulee uudisrakennukseen halvemmaksi kuin radonkorjauksen teko. Ja koska korjaustoimenpiteet ovat usein myös hankalampia toteuttaa, suositellaan radon torjunnat toteutettavaksi jo rakennusvaiheessa.

## LÄHTEET

Myllymäki, P. 1996. Radonin ja uraanin poisto kalliopohjavedestä. Suomen ympäristö 50. Helsinki: Oy Edta Ab. Viitattu 15.2.2020 [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/179375/SY\\_50.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/179375/SY_50.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Omakotiliitto 2019. Asuminen. Pitääkö radon mitata? Viitattu 15.2.2020 [https://www.omakotiliitto.fi/asuminen/artikkelit/pitaako\\_radon\\_mitata](https://www.omakotiliitto.fi/asuminen/artikkelit/pitaako_radon_mitata).

Oram, B. Radon in Water, Air, and Soil. Water Research Center. Viitattu 16.3.2020 <https://water-research.net/index.php/radon>.

Pohjalainen, E. 2017. Perustietoa uraanista. Geologian tutkimuskeskus. Viitattu 5.2.2020 [http://www.geologia.fi/wp-content/uploads/2019/12/Perustietoa\\_uraanista.pdf](http://www.geologia.fi/wp-content/uploads/2019/12/Perustietoa_uraanista.pdf).

Radon and Cancer 2015. American Cancer Society. Viitattu 14.2.2020 <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/radon.html>.

Radon and health 2016. World Health Organization. Viitattu 20.2.2020 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>.

Rakentaja 2013. Radonalueelle tuulettuva alapohja. Viitattu 20.3.2020 [https://www.rakentaja.fi/artikkelit/847/radonalueelle\\_tuulettuva\\_alapohja.htm](https://www.rakentaja.fi/artikkelit/847/radonalueelle_tuulettuva_alapohja.htm).

Rautiainen, A. 2016. Laatuvirhe: Radonputkisto on halpa vakuutus maanvaraisissa lattioissa. Rakennuslehti. Viitattu 2.4.2020 <https://www.rakennuslehti.fi/2016/01/laatuvirhe-radonputkisto-on-halpa-vakuutus-maanvaraisissa-lattioissa/>.

Robertson, A., Allen, J., Laney, R. & Curnow, A. 2013. The Cellular and Molecular Carcinogenic Effects of Radon Exposure: A Review. MDPI. Viitattu 1.3.2020 <https://www.mdpi.com/1422-0067/14/7/14024>.

RT 2019. Rakennustietosäätien ohjetiedosto 103123. Radonin torjunta. Rakennustietosäätö.

Scanoffice 2019. Radon ja ilmanvaihto. Viitattu 23.2.2020 <https://www.scanoffice.fi/radon-ja-ilmanvaihto/>.

Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018. Rakenteiden lujuus ja vakaus: Pohjarakenteiden suunnittelu. Helsinki: ympäristöministeriö.

Suomi rakentaa 2018. Työohjeet. Radonin ehkäiseminen. Viitattu 20.3.2020 <https://www.suomirakentaa.fi/tyoohjeet/perustukset-ja-alapohja/radonin-ehkaeiseminen>.

Säteilyturvakeskus 2019. Mitä säteily on? Ionisoiva säteily. Viitattu 2.2.2020 <https://www.stuk.fi/aiheet/mita-sateily-on/ionisoiva-sateily>.

Säteilyturvakeskus 2019. Radon. Asuntojen radonia koskevat viitearvot ja määräykset. Viitattu 5.3.2020 <https://www.stuk.fi/aiheet/radon/asuntojen-radonia-koskevat-viitearvot-ja-maaraykset>.

Säteilyturvakeskus 2018. Radon. Radon Suomessa. Viitattu 15.3.2020 <https://www.stuk.fi/aiheet/radon/radon-suomessa>.

Säteilyturvakeskus 2019. Radon kartat. Koko Suomi. Viitattu 25.2.2020 <https://www.stuk.fi/aiheet/radon/radon-suomessa/suomen-radonkartat/koko-suomi>.

Säteilyturvakeskus 2019. Radon uudisrakentamisessa. Rakennusmaan ja rakennusmateriaalien vaikutus. Viitattu 20.3.2020 <https://www.stuk.fi/aiheet/radon/radon-uudisrakentamisessa/rakennusmaan-ja-rakennusmateriaalien-vaikutus>.

Taloon. Radon-putkistopaketti Uponor uudisrakennukseen kieppiputkillä. Viitattu 5.4.2020 <https://www.taloon.com/radon-putkistopaketti-uponor-uudisrakennukseen-kieppiputkillä>.

Talotekniikka 2017. Korjaus alentaa radonpitoisuutta jopa yli 90%. Viitattu 25.3.2020 <https://talotekniikka-lehti.fi/korjaus-alentaa-radonpitoisuutta-jopa-90/>.

Turtiainen, T. Radonin mittaaminen. Säteilyturvakeskus. Viitattu 23.3.2020 [https://www.stuk.fi/documents/12547/5944511/3\\_Mittaaminen\\_2018.pdf/85c5e23b-4e0c-155a-3254-23c244a8ffd8](https://www.stuk.fi/documents/12547/5944511/3_Mittaaminen_2018.pdf/85c5e23b-4e0c-155a-3254-23c244a8ffd8).

Turtiainen, T. 2016. Radon suomalaisissa asunnoissa: enimmäisarvot, määräykset uudisrakentamisessa, radonlähteet. Säteilyturvakeskus. Viitattu 10.3.2020 <https://www.stuk.fi/documents/12547/1468301/Radon+suomalaisissa+asunnoissa/c3beb4a2-c082-4daf-9fa0-65a87afc93e9>.

Työsuojelu 2019. Työympäristö. Radon. Viitattu 15.2.2020 <https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/tyoymparisto/radon>.

Tähtitieteellinen yhdistys Ursa. Aurinkokuntamme. Viitattu 12.2.2020 <https://www.ursa.fi/tahtitieteesta/tietoa-tahtitieteesta/aurinkokuntamme.html>.

Uponor. Radonin poisto uudisrakennuksessa. Viitattu 6.4.2020 <https://www.uponor.fi/tuotejarjestelmat/radon/rakentaminen>.

Weltner, A., Arvela, H., Turtiainen T., Mäkeläinen, I. & Valmari, T. 2003. Säteily- ja ydinturvallisuus-sarja. Säteily ympäristössä, luku 4. Radon sisäilmassa. Viitattu 2.2.2020 [https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja2\\_4.pdf/e4ad6bfe-b60f-4394-b6a5-049d9c63e148](https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja2_4.pdf/e4ad6bfe-b60f-4394-b6a5-049d9c63e148).

Ympäristö 2016. Rakentaminen. Torju radonkaasu. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Viitattu 5.3.2020 [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Pientalot/Korjaushankkeet/Rakennuksen\\_muut\\_osat/Radonkorjaukset](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Pientalot/Korjaushankkeet/Rakennuksen_muut_osat/Radonkorjaukset).

Ympäristöministeriön asetus pohjarakenteista 17.6.2014/465.