

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Rakennustuotanto  
Toni Lammi

## **Opinnäytetyö**

Sisäilmaongelmien tutkimusmenetelmät

Työn ohjaaja  
Tampere 5/2010

Pekka Väisälä

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Rakennustuotanto

Tekijä	Toni Lammi
Työn nimi	Sisäilmaongelmien tutkimusmenetelmät
Sivumäärä	55+9
Valmistumisaika	Toukokuu 2010
Työn ohjaaja	Pekka Väisälä

---

## TIIVISTELMÄ

Tässä insinöörityössä käsitellään sisäilmaan ja sen tutkimiseen liittyviä määritelmiä ja tutkimusmenetelmiä. Työn liitteenä on case-tutkimus, jossa sovellettiin työssä esiteltyjä tutkimusmenetelmiä.

Insinöörityön aihe syntyi työn tekijän kiinnostuksesta alaan ja halusta perehtyä syvemmin nykyään yleisiin sisäilmaongelmiin. Aihe työlle ja kohde case-tutkimukselle saatiin Hengitysliitto Heli ry:ltä.

Työssä on käytetty lähteinä alan kirjallisuutta sekä työn tekijän omaa kokemusta rakennusten kuntotutkimusten ja ilmanvaihdon parissa. Myös alalla toimivilta asiantuntijoilta on saatu tietoa ja kommentteja työn tekemisen aikana. Työn tekemisen aikana on työn kirjoittaja aloittanut työskentelyn Inspecta Oy:n palveluksessa ja työskentelee nykyään rakennusten kuntotutkimusten ja sisäilmatutkimusten parissa.

Työssä on esitelty hyvän sisäilman osatekijöitä, yleisimpiä mitattavia suureita ja niiden mittaamenetelmiä sekä annetaan ohje, kuinka sisäilman kuntotutkimus suoritetaan. Työtä voidaan käyttää käsikirjan omaisesti kun halutaan perustietoa sisäilmaan ja sen tutkimiseen liittyen. Työ antaa ohjeet yleisimpien sisäilman osatekijöiden mittaamiseen, mutta kokonaisuuksien ymmärtäminen ja itse ongelmien ratkaiseminen vaatii osaamista ja kokemusta myös niin rakennustekniikan kuin lvi-järjestelmienkin osalta.

---

Avainsanat

sisäilma, kuntotutkimus, sisäilmaongelma

Tampere University of Applied Sciences,  
Building Engineering Programme, Construction

Writer	Toni Lammi
Thesis	Research methods of indoor air problems
Pages	55+9
Graduation time	May 2010
Thesis Supervisor	Pekka Väisälä

---

## **ABSTRACT**

The target of this thesis was to summarise the definition of good indoor air and how to investigate it and its different parts. Thesis includes examination case in which the methods of this work were used in practice.

The subject of this thesis came out from the writer's interest and desire to learn more about the field of indoor air investigations. The subject of this thesis and target of the investigation case was given by Hengitysliitto Heli ry.

The sources used in this thesis are based on the literature of the field and writer's own experience. The experts working in the field have also given lots of good advices and comments. During the writing of this thesis the writer started working as an advisor for Inspecta Oy.

This thesis presents the definition of good indoor air, the most common components and how to measure those components. It also tells how to execute the indoor air examination. The thesis can be used as a manual of basic information about indoor air and its measuring methods. Although, the solving of indoor air problems demands experience and understanding of the big picture about construction and hvac-structures.

---

Key words                      indoor air, research

## **Esipuhe**

Työn alkuperäinen aihe kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimuksesta muokkaantui työn edetessä sisäilmaongelmien tutkimiseen. Olen kiitollinen Hengitysliitto Heli ry:lle mielenkiintoisesta aiheesta opinnäytetyöhöni. Työn tekeminen on ollut mielenkiintoista ja olen oppinut matkan varrella paljon. Kiitos myös työni ohjaajalle Pekka Väisälälle ja työnantajalleni Inspecta Oy:lle ja työtovereilleni neuvoista ja kommentteista. Erityiskiitos Annalle tsemppauksesta.

Tampere 13.5.2010

Toni Lammi

# Sisällysluettelo

Esipuhe .....	4
Sisällysluettelo .....	5
1 Johdanto .....	7
2 Hyvä sisäilma .....	8
2.1 Mitä on hyvä sisäilma? .....	8
2.2 Sisäilmastoluokitus.....	8
2.3 Sisäilman epäpuhtaudet .....	10
2.3.1 Ihmisperäiset epäpuhtaudet .....	10
2.3.2 Rakennusmateriaalien epäpuhtaudet .....	10
2.3.3 Muut rakennusperäiset epäpuhtaudet .....	11
2.3.4 Ulkoilman epäpuhtaudet.....	11
2.3.5 Maaperän epäpuhtaudet.....	11
3 Yleisimpiä sisäilmaongelmia rakennuksissa.....	13
3.1 Fysikaaliset olot .....	13
3.1.1 Lämpötila .....	13
3.1.2 Vedon tunne.....	14
3.1.3 Ilman paine.....	15
3.1.4 Radon .....	16
3.1.5 Kosteus.....	18
3.1.6 Melu.....	19
3.2 Kemialliset epäpuhtaudet.....	19
3.2.1 Formaldehydi .....	20
3.2.2 Asbesti.....	20
3.2.3 Ammoniakki .....	21
3.2.4 Hiilidioksidi .....	22
3.2.5 Hiilimonoksidi .....	23
3.2.6 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) .....	23
3.2.7 Styreeni .....	25
3.2.8 Sisäilman hiukkaset.....	25
3.2.9 Tupakansavu.....	27
3.2.10 TXIB .....	27
3.2.11 Kreosootti .....	27
3.2.12 Betonipöly .....	28
3.3 Mikrobit .....	28
3.3.1 Mikrobin kasvamisen edellytykset .....	29
3.3.2 Ulkoilman mikrobit.....	29
3.3.3 Indikaattorimikrobit .....	30
3.3.4 Lahottajasisienet.....	30
3.3.5 Mikrobin terveysvaikutukset.....	31
4 Sisäilman laadun tutkiminen .....	32
4.1 Sisäilmaston kuntotutkimus .....	32
4.1.1 Lähtötiedot.....	32
4.1.2 Perustutkimukset.....	33
4.1.3 Jatkotutkimukset .....	35
4.2 Tutkimusmenetelmät .....	36
4.2.1 Ilman lämpötilan mittaus .....	36
4.2.2 Ilman kosteuden mittaus.....	37
4.2.3 Paine-erojen mittaus.....	37
4.2.4 Ilman virtauksen mittaus .....	38

4.2.5	Vaipan ilmapuotojen mittaus .....	40
4.2.6	Melun mittaus .....	41
4.2.7	Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) mittaus.....	42
4.2.8	Sisäilman hiukkasten mittaus.....	43
4.2.9	Hiilidioksidin mittaus.....	44
4.2.10	Hiilimonoksidin mittaus .....	44
4.2.11	Formaldehydin mittaus.....	44
4.2.12	Ammoniakin mittaus .....	45
4.2.13	Styreenin mittaus.....	45
4.2.14	Radonin mittaus .....	46
4.2.15	Kuitujen mittaus.....	46
4.2.16	Rakennekosteusmittaukset.....	47
4.2.17	Mikrobimittaukset .....	49
5	Case-tutkimus.....	53
6	Yhteenveto .....	54
	Lähteet .....	55

# 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteena on selvittää, mistä ihmisen hengittäjä ja muilla aisteillaan kokema sisäilma muodostuu sekä yleisimpien rakennuksissa tavattavien sisäilmaongelmien sekä niiden tutkimusmenetelmien esittely.

Ihmiset viettävät nykyään suurimman osan ajastaan sisätiloissa. Tämän takia hyvän ja terveellisen sisäilman merkitys on entisestään korostunut. Hyvän sisäilman merkityksen huomaa yleensä vasta sitten kun sitä ei ole saatavilla ja viihtyvyys tai terveellisyys sisätiloissa kärsii.

1970-luvun energiakriisin jälkeen ryhdyttiin rakennuksia tiivistämään ymmärtämättä aina rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa. Tämä, yhdistettynä ilmanvaihdon puuttumiseen tai riittämättömään toimintaan, aiheutti ja aiheuttaa edelleen lukuisia sisäilmaongelmatapauksia. Nykyisin ilmastonmuutoksen vauhdittama passiivi- ja matalaenergiarakentaminen asettaa myös uudet haasteet sisäilmalle. Taloista tehdään entistä tiiviimpiä sekä lämmöneristeen määrää lisätään. Kokemusta nykyisistä rakenteista ei vielä pitkällä aikavälillä ole, ja vain tulevat vuodet näyttävät rakenteiden todellisen toimivuuden. Selvää on, että nykyisellä tiiviin rakentamisen kaudella hallitun ilmanvaihdon ja hyvän sisäilman merkitys korostuu.

Sisäilmaongelmista puhuttaessa on muistettava sisäilmaston koostuvan lukuisista eri tekijöistä, ja sen vuoksi ongelmien syiden ratkominen vaatii erittäin hyvää ammattitaitoa ja asian moninaisuuden ymmärtämistä. Eniten julkisuutta viime aikoina sisäilmaongelmista ovat saaneet mikrobivauriot. Mikrobivauriot ovat kuitenkin vain yksi, joskin merkittävä, osa sisäilmaongelmista.

Tässä insinööriyössä käsiteltyjä aiheita sovelletaan työn liitteenä olevassa tutkimusraportissa. Tutkimuskohteena on omakotitalo, jonka asukkailla on havaittu terveysoireita, ja rakennuksessa on havaittu epämiellyttävää hajua.

## 2 Hyvä sisäilma

### 2.1 Mitä on hyvä sisäilma?

Hyvän sisäilman yksinkertainen määritelmä on, että sisäilma on hyvää kun siitä ei aiheudu terveyshaittaa ja sen käyttäjät ovat tyytyväisiä siihen.

Hyvän sisäilman tunnusmerkkejä ovat puhdas ja raikas ilma, vedottomuus, sopiva lämpötila ja ilman kosteus, sopiva valaistus sekä meluttomuus. Näiden kriteerien täyttämiseksi tulee rakennuksessa olla toimivat rakenteet sekä toimivat ilmanvaihto- ja lämmityslaitteet.

Hyvä sisäilma vaikuttaa paitsi viihtyvyyteen ja terveyteen, myös työpaikoilla työn tuottavuuteen. Esimerkiksi toimistotyössä paljon hiilidioksidia sisältävässä tunkkaisessa ilmassa ihmisen tuottavuus heikkenee. Hyvällä sisäilmalla on siis jo kansantaloudellistakin merkitystä.

Sisäilma muodostuu rakennuksen rakenteiden ja sisustusmateriaalien, ulkopuolisen ympäristön, ilmanvaihdon- ja lämmityslaitteiden ja ihmisen toimintojen yhteisvaikutuksesta. /5/

### 2.2 Sisäilmastoluokitus

Sisäilmayhdistys ry on julkaissut luokituksen, joka asettaa sisäilman laadulle, rakennusmateriaaleille ja ilmanvaihtotuotteille sekä rakennustöille ja ilmanvaihtojärjestelmille raja-arvoja, joiden avulla ne jaetaan eri puhtausluokkiin. Tämän luokituksen nimi on *Sisäilmastoluokitus 2008*. Sen edeltäjinä ovat olleet vuonna 1995 ilmestynyt *Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus*, sekä vuonna 2001 ilmestynyt *Sisäilmastoluokitus 2000*.

Sisäilman laatu voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan: S1, S2 ja S3. Lisäksi rakennusmateriaaleille ja ilmanvaihtotuotteille on määritelty päästöluokat M1, M2 ja



M3. Rakennustyöt ja ilmanvaihtojärjestelmät luokitellaan puolestaan puhtausluokkiin P1 ja P2.

Sisäilmastoluokitus on tarkoitettu käytettäväksi niin rakennus- kuin taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin apuna kun tavoitteena on rakentaa viihtyisiä ja terveellisiä rakennuksia. Luokitus on saanut hyvän jalansijan rakentamisessa, varsinkin toimitilarakentamisessa, jossa sitä käytetään lähes poikkeuksetta varmistamaan hyvän lopputuloksen aikaansaaminen.

Sisäilmaluokitus 2008 jakaa sisäilman laadun kolmeen eri luokkaan: /17/

- *S1: Yksilöllinen sisäilmasto*  
*”Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllilämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet ja hyviä valaistusolosuhteita tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus.”*
- *S2: Hyvä sisäilmasto*  
*”Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllilämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet.”*
- *S3: Tyydyttävä sisäilmasto*  
*”Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. Eri suureiden tavoite- ja suunnitteluarvot voidaan valita eri laatuluokista tai tarvittaessa määritellä jonkin suureen arvo.”*

Sisäilmastoluokitus asettaa suunnittelulle ja toteutukselle tavoitearvoja muun muassa lämpötilan, minimi-ilmavirtojen sekä äänitasojen suhteen.

## **2.3 Sisäilman epäpuhtaudet**

Sisäilma saattaa sisältää perusosiensa lisäksi monenlaisia epäpuhtauksia. Epäpuhtauksia sisäilmaan välittyy monista eri lähteistä, kuten ulkoilmasta, rakennus- tai sisustusmateriaaleista, mikrobikasvustoista tai ihmisestä itsestään. Siivous on yksi tärkeä asia hyvän sisäilman saavuttamisen kannalta. Kun pölyt ja muu kerääntynyt lika siivotaan säännöllisesti, eivät ne ehdi keräämään kaasumaisia epäpuhtauksia tai toimia mikrobikasvuston kasvualustana. /5/

### **2.3.1 Ihmisperäiset epäpuhtaudet**

Ihmisestä ja ihmisen toiminnoista leviää sisäilmaan monia eri epäpuhtauksia. Ihmisen aineenvaihdunnan seurauksena syntyy eritteitä, jotka poistuvat kehosta uloshengityksen tai hikoilun kautta. Uloshengityksessä syntyvä hiilidioksidi toimii usein ihmisperäisten epäpuhtauksien indikaattorina, jota mittaamalla voidaan päätellä muidenkin epäpuhtauksien esiintymistä. Tämä voi olla seurausta ilmanvaihdon riittämättömyydestä tilassa vallitsevaan ihmiskuormaan nähden. /5/

Ihmisen toiminnoista kuten ruuanlaitosta, peseytymisestä ja tupakoinnista välittyy epäpuhtauksia sisäilmaan. Näitä toimintoja, lukuun ottamatta tupakointia, ei voida kokonaan poistaa, joten niistä välittyvät epäpuhtaudet tulee poistaa sisäilmasta ilmanvaihdon avulla.

### **2.3.2 Rakennusmateriaalien epäpuhtaudet**

Rakennusmateriaaleissa käytetyistä kemiallisista yhdisteistä voi levitä sisäilmaan merkittäviä päästöjä. Kemialliset yhdisteet ovat kuitenkin osalle rakennusmateriaaleista välttämättömiä, jotta niiden toimivuus ja käyttöikä saadaan vaaditulle tasolle. /5/

Rakennusmateriaaleista voi erittyä esimerkiksi aldehydejä, orgaanisia kaasuja tai ammoniakkia. Yleisimpiä niiden lähteitä ovat erilaiset rakennuslevyt, lakat, liimat, maalit tai muovit. Oikein käytettyinä ja valmistettuina rakennusmateriaalit eivät yleensä aiheuta terveyshaittaa kuin vain kaikista herkimmille yksilöille. Kastumisen aiheuttamat hajoamisreaktiot voivat aiheuttaa rakennusmateriaaleissa esimerkiksi ammoniakin tai muiden yhdisteiden pääsyn sisäilmaan. /5/

Sisäilmastoluokituksen luokittelemisissa M1-luokan materiaaleissa on kaikkein pienimmät päästöt, ja niitä kannattaa suosia jo suunnitteluratkaisuissa.

Rakennusmateriaalien päästöt ovat uusina kaikkein suurimmalla tasolla, joten uutta rakennusta käyttöönotettaessa tulee ilmanvaihtoa käyttää ensimmäisen vuoden ajan jatkuvasti ja tehostetusti. /5/

### **2.3.3 Muut rakennusperäiset epäpuhtaudet**

Rakennuksen rakenteisiin voi muodostua home- ja mikrobikasvustoja, jotka levittävät itiöitään tai aineenvaihduntatuotteitaan sisäilmaan. Mikrobikasvustot voivat syntyä minkä tahansa materiaalin pinnalle riittävän kosteuden saatuaan. Homehtumattomia materiaaleja ei ole. Home- ja mikrobikasvustoihin tulee suhtautua vakavasti, sillä ne saattavat aiheuttaa vakavaa terveyshaittaa. Mikrobikasvustoja käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.3 Mikrobit. /5/

### **2.3.4 Ulkoilman epäpuhtaudet**

Ulkoilmasta sisäilmaan pääseviä epäpuhtauksia syntyy liikenteen ja teollisuuden päästöistä. Ulkoilma sisältää aina myös mikrobeja, jotka voivat päästä myös sisäilmaan. Ulkoilman sisältämät epäpuhtaudet kulkeutuvat sisäilmaan ilmanvaihdon ja ilmapuotojen kautta.

Rakennuksen sijainti vaikuttaa ulkoilman epäpuhtauksien määrään olennaisesti. Suurten teollisuuslaitosten päästöt, kuten hajut, rikin yhdisteet, typen oksidit, orgaaniset ja epäorgaaniset kaasut sekä melu, voidaan kokea usein selvästi teollisuuslaitosten lähituntumassa. Liikenteen päästöistä kärsitään eniten kaupunkien keskustoissa ja esimerkiksi vilkkaasti liikennöityjen moottoriteiden varsilla. Liikenteen päästöistä merkittävimpiä ovat häkä, hiukkaset, orgaaniset kaasut, typen oksidit ja melu. /6/

### **2.3.5 Maaperän epäpuhtaudet**

Vaarallisin maaperän epäpuhtauksista on syöpää aiheuttava radon. Radonkaasu voi sopivassa maaperässä kulkeutua rakennusten alle ja päästä alapohjan epätiiveyskohdista

hengitettävään sisäilmaan. Radonongelmista kärsitään eniten huokoisille maa-aineksille, kuten soraharjut, perustetuissa rakennuksissa, joissa radon pääsee nousemaan maaperästä helposti. /5/

Saastuneelle maaperälle rakennettaessa voi ongelmia syntyä myös erilaisista kaasuista. Tällaisia tontteja voi tulla vastaan vaikkapa vanhan kaatopaikan tai teollisuuslaitoksen paikalle rakennettaessa. /5/

## 3 Yleisimpiä sisäilmaongelmia rakennuksissa

### 3.1 Fysikaaliset olot

#### 3.1.1 Lämpötila

Viihtyvyyden kannalta tärkein ja helpoimmin havaittavissa oleva sisäilmaston tekijä on lämpötila. Lämpötilan muodostumiseen vaikuttavat rakennusten lämmitys, ilmanvaihto, lämpöhäviöt sekä lämpökuormat, jotka riippuvat ilmastosta, ihmisten toiminnoista sekä sähkölaitteiden ja valaistuksen käytöstä.

Ihmisten kokemat tuntemukset lämpötilan suhteen voivat vaihdella suurestikin eri henkilöillä. Toinen kokee viileämmän miellyttävämmäksi, toinen taas viihtyy lämpimässä.

Alhaiset pintalämpötilat voivat aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteille ja näin muodostaa riskin mikrobikasvuston muodostumiselle. Kun eri pintojen välillä on lämpötilaeroja, saattaa siitä muodostua ilman liikettä, joka aistitaan vedon tunteena. Pitkäaikainen ilman viileys ja vetoisuus saattaa aiheuttaa terveyshaittaa, liian korkea huoneilma tuntuu usein taas kuivalta ja tunkkaiselta.

Sisäilmastoluokituksen mukaan huoneilman lämpötilojen tavoitearvot ovat: /17/

*Sisäilmastoluokka S1:*

*21...22 °C talvella*

*23...24 °C kesällä*

*Sisäilmastoluokka S2:*

*20...22 °C talvella*

*23...26 °C kesällä*

*Sisäilmastoluokka S3:*

*20...23 °C talvella*

*22...27 °C kesällä*

### **Operatiivinen lämpötila**

Operatiivinen lämpötila on huoneilman ja ympäröivien pintojen säteilylämpötilojen keskiarvo. Operatiivisella lämpötilalla pyritään mittaamaan ihmisen tuntemaa todellista lämpöolojen arvoa. Tämä tarkoittaa, että huoneilman lämpötilaan otetaan mukaan pintojen säteilylämpötilan vaikutus. Operatiivinen lämpötila poikkeaa huoneilman lämpötilasta eniten sellaisissa tiloissa, joissa on suuria kylmiä pintoja kuten ikkunat tai muita kylmiä pintoja. /2/

### **3.1.2 Vedon tunne**

Ihminen kokee vedon tunnetta kun lämpö siirtyy iholta. Tähän lämmön siirtymiseen vaikuttaa ilman nopeus, lämpösäteily ja käytetty vaatetus. Kuten eri lämpötilojen, myös vedon tunteen kokeminen on yksilöllistä. Kylmät pinnat aiheuttavat vedon tunnetta jäähdyttämällä ihoa kylmien pintojen läheisyydessä. Ilma liikkuu jäähtyessään alaspäin ja kääntyy lopulta lattiansuuntaiseksi. Tämä ilmavirtaus ilmenee vedon tunteena. Esimerkiksi vuotavat ikkunat ja niiden raitisilmaventtiilit sekä vuotava rakennuksen vaippa voivat aiheuttaa ilmavirtoja. Vedon tunnetta yritetään usein vähentää nostamalla huoneen lämpötilaa. Tämä ratkaisu näkyy kuitenkin kohonneina lämmityskustannuksina, eikä poista itse perimmäistä ongelmaa. Vedon aiheuttamat haittavaikutukset liittyvät lähinnä viihtyvyyteen. Vedon tunne aiheuttaa palelua ja toimintakyvyn heikkenemistä. Varsinaisia sairauksia vedon tunteen ei ole todettu aiheuttavan. /5/

Sisäilmastoluokituksen mukaan huoneilman ilman nopeuden tavoitearvot ovat enintään:

/17/

*Sisäilmastoluokka S1:*

*0,13 m/s talvella 20 °C*

*0,14 m/s talvella 21 °C*

*0,20 m/s kesällä 24 °C*

*Sisäilmastoluokka S2:*

*0,16 m/s talvella 20 °C*

*0,17 m/s talvella 21 °C*

*0,25 m/s kesällä 24 °C*

*Sisäilmastoluokka S3:*

*0,19 m/s talvella 20 °C*

*0,20 m/s talvella 21 °C*

*0,30 m/s kesällä 24 °C*

### **3.1.3 Ilman paine**

Ilman paineolot vaikuttavat ilman siirtymiseen paikasta toiseen. Kun rakennukseen asetetaan suunnitellut painesuhteet, saadaan ilma liikkumaan haluttuun suuntaan.

Yleissääntönä on, että sisätiloissa ilma liikkuu puhtaamman tilan kautta likaisempaan.

Näin ollen ilmanvaihdon poistoventtiilit sijaitsevat yleensä likaisissa tiloissa, kuten kylpyhuoneissa, keittiössä ja vaatehuoneissa. Raitista tuloilmaa taas puhalletaan tiloihin, joissa oleskellaan kuten makuuhuoneet ja olohuone. Näin ilma liikkuu oleskelutiloista, jotka ovat ylipaineisia likaisiin tiloihin nähden, likaisiin tiloihin, joissa vallitsee alipaine oleskelutiloihin nähden.

Rakennuksen tulee olla ulkoilmaan verrattuna hieman alipaineinen, jolloin sisätiloissa tuotettu kosteus tuulettuu ilmanvaihdon kautta ulos. Jos sisätiloissa on ylipainetta, työntää se kosteaa sisäilmaa rakenteisiin niiden mahdollisista ilmanvuotokohdista. Tämä taas aiheuttaa riskin kosteusvaurion syntymiseen.

Kun rakennuksessa on liian suuri alipaine, aiheuttaa se usein ilmanvaihdon venttiileihin viheltävää ääntä ja esimerkiksi ulko-oven avaaminen vaikeutuu. Tämä pätee varsinkin sellaisiin tiloihin, joissa korvausilman saanti on huonoa. Tällöin korvausilma tulee hallitsemattomasti vuotoilmana rakenteiden epätiivetyyskohdista tai esimerkiksi ikkunoiden puitteiden läpi. Taulukossa 1 on esitetty tavoitteelliset paine-erot eri ilmanvaihtojärjestelmissä.

Taulukko 1 Tavoitteelliset paine-erot eri ilmanvaihtojärjestelmissä /1/

Ilmanvaihtotapa	Paine-ero	Huomautuksia
Painovoimainen Ilmanvaihto	0...-5 Pa ulkoilmaan ±0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat voimakkaasti sään mukaan
Koneellinen Poistoilmanvaihto	-5...-20 Pa ulkoilmaan 0... -5 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan
Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, ilmanvaihtolämmitys	0...-2 Pa ulkoilmaan ±0 Pa porraskäytävään	Paine-erot vaihtelevat sään mukaan

### 3.1.4 Radon

Radon (Rn) on radioaktiivinen jalokaasu, jota syntyy radiumin hajoamistuotteena. Radiumia puolestaan syntyy uraanin hajoamisessa. Suomessa uraania esiintyy enemmän kuin maailmassa keskimäärin maaperän luonteen ja graniittisen kallioperän takia Radonin merkittävin lähde onkin maaperä, josta se voi päästä rakennuksiin, varsinkin alueilla, joilla esiintyy soramaata. Radon-kaasu pääsee hyvin ilmaa läpäisevästä soramaasta läpi ja saattaa päästä virtaamalla paine-erojen vaikutuksen johdosta aina rakennuksen sisäilmaan asti, mikäli rakenteet eivät ole rakennusteknisesti riittävän oikeaoppisesti toteutetut. Suomessa suurimmat radonpitoisuudet on mitattu soraharjuilta, kuten Pispalanharju Tampereella tai Salpausselkä Lahden seudulla. /1/, /7/

Radonin kulkeutumiseen rakennuksen alta rakennuksen sisäilmaan on monia reittejä, yleisimpiä niistä ovat seuraavat: /1/

- maanvaraisen lattialaatan ja sokkelin välinen kutistumarako
- alapohjalaatan ja kantavien väliseinien liitoskohdat
- kantavat väliseinät, jotka läpäisevät alapohjarakenteen
- maanvastaiset harkkorakenteiset tiivistämättömät seinät
- lattialaatan halkeamat
- kellarin maalattia
- lattialaatan läpiviennit
- takan ja lattian saumat tai takkarakenteet.



Hyviä rakenteita radonpitoisilla alueilla ovat esimerkiksi reunajäkistetty yhtenäinen laatta, joka estää tehokkaasti radonin kulkeutumisen sisälle, sekä tuulettuva alapohja, josta radon-kaasu tuulettuu pois ulkoilmaan sen sijaan, että kulkeutuisi rakennukseen sisälle. Radonin kulkeutumisesta sisäilmaan voidaan myös estää erilaisten radonimureiden ja radonkaivojen avulla. Rakenteiden tiiveys ja vuotoreittien estäminen sekä asianmukainen ilmanvaihto ovat kuitenkin parhaat keinot ehkäistä radonia. Tämä tutkimus ei keskity yksityiskohtaisesti rakennetyyppeihin, joilla radonin pääsy sisäilmaan estetään. Lisää tietoa radonkestävistä rakenteista löytyy esimerkiksi RT-ohjekortista (RT 81-10791, LVI 37-10357, Radonin torjunta). /1/

Radonia voi päästä sisäilmaan myös talousveden mukana tai eriytymällä tietyistä rakennusmateriaaleista. Talousveden mukana tuleva radon on suurempi ongelma, kun käytetään porakaivosta otettua vettä. Porakaivoveden radonpitoisuus on keskimäärin yli kymmenkertainen verrattuna muihin kaivovesiin. Talousveden ollessa radonpitoista voi sisäilmaan vapautua radonia esimerkiksi suihkusta tai pesualtaista.

Rakennusmateriaaleista eriytyvää radonia tavataan esimerkiksi betonirakenteisissa kerrostaloissa, joissa rakenteista vapautuu pieniä määriä radonia sisäilmaan.

Rakennusmateriaaleista johtuvia radonin ohjearvojen ylityksiä ei Suomessa ole tiettävästi tavattu, mikäli rakennuksessa on toimiva ja suunnitelmien mukainen ilmanvaihto. /1/, /6/

Radonin hajotessa sen hajoamistuotteet kulkeutuvat hengitettäessä keuhkoihin.

Pitkäaikainen altistuminen radonille lisää keuhkosyövän riskiä. Vuonna 2004 julkaistun EU-maissa tehdyn tapaus-verrokkitutkimuksen mukaan radon lisää keuhkosyövän riskiä 8 - 16 %  $100\text{Bq/m}^3$  (Becquereliä per kuutiometriä ilmaa) radonpitoisuutta kohti.

Radonaltistuksen aiheuttama suhteellinen lisäriski on sama sekä tupakoimattomalle että tupakoivalle. Tupakoivan kokonaisriski sairastua keuhkosyöpään on silti monikertainen tupakoimattomaan verrattuna. /1/

Radonin ohjearvo on sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen mukaan alle  $400\text{ Bq/m}^3$  vuosikeskiarvona. Uudet asunnot on suunniteltava ja rakennettava siten, että vuosikeskiarvo ei saa ylittää  $200\text{ Bq/m}^3$ . Suomessa asuntojen keskimääräinen radonpitoisuus on Säteilyturvakeskuksen mukaan  $123\text{ Bq/m}^3$ . Alla olevassa taulukossa 2 esitetään radonpitoisuuksia suomalaisissa asunnoissa. /1/, /7/

Taulukko 2: Tietoa Säteilyturvakeskuksen otantatutkimuksesta vuosilta 1990 - 1991.

Taulukossa esitetään radonpitoisuuden keskiarvot ja ylitysprosentit sekä arviot sellaisten talojen lukumäärästä, joissa radonpitoisuudet ylittävät 200, 400 ja 800 Bq/m<sup>3</sup>.

/7/

	Keskiarvo Bq/m <sup>3</sup>	>200 Bq/m <sup>3</sup> %	>400 Bq/m <sup>3</sup> %	>800 Bq/m <sup>3</sup> %
Pientalot	145	17,9	5	1,4
Kerrostalot	82	1,6	0,8	0,3
Kaikki asunnot	123	12,3	3,6	1

### 3.1.5 Kosteus

Sisäilman suhteellisen kosteuden tulisi asunnoissa olla 20 - 60 %. Tällaisen kosteuden saavuttaminen voi olla kuitenkin ongelma etenkin talvella. Talvisin ulkoilman ollessa kylmää on sisään virtaavan raittiin ulkoilman absoluuttinen kosteusmäärä pieni. Kun asunnossa sisällä oleva lämpimämpi sisäilma pystyy kuitenkin sitomaan kosteutta huomattavasti paremmin, voi sisäilman suhteellinen kosteus tällöin laskea hyvinkin alhaiseksi, jopa alle 10 %:iin. /1/

#### Korkea kosteus

Liian korkea sisäilman kosteus voi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteisiin ja näin ollen aiheuttaa mikrobikasvun riskin. Liian korkea kosteus myös edistää pölypunkkien esiintymistä sekä lisää materiaalien emissioita. Sisäilman liian korkeaa kosteutta esiintyy pääosin kesällä, mutta koska liian korkea sisäilman kosteus johtuu yleensä ihmisen omasta toiminnasta, saattaa sitä esiintyä myös talvella. Yleensä liian kostea sisäilma on merkki puutteellisesti toimivasta ilmanvaihdosta. /1/, /3/, /6/

Ongelmallisia rakenteita erityisesti ulkoilman absoluuttisen kosteuden ollessa korkealla kesäaikaan, erityisesti heinä-, elo- ja syyskuussa, voivat olla maanvastaiset rakenteet, kuten kellarit. Näissä tiloissa voi sisäilman lämpötila olla alempana kuin ulkoilman, mikä aiheuttaa riskin kosteuden tiivistymisestä kylmemmille pinnoille. Ongelma voidaan ratkaista nostamalla näiden rakenteiden pintalämpötilaa esimerkiksi lisäeristyksen avulla tai tehostamalla näiden tilojen ilmanvaihtoa. /1/

### **Alhainen kosteus**

Alhainen sisäilman kosteus on ongelma Suomen ilmasto-olosuhteissa yleensä erityisesti talvella. Liian alhainen sisäilman kosteus lisää limakalvojen tulehtumisriskiä heikentämällä liman poistumista hengitysteistä. Liian kuivaa sisäilmaa voidaan kostuttaa huonekohtaisella kostuttimella tai ilmanvaihtojärjestelmissä olevilla kostuttimilla. Kostuttimien käytössä tulee olla varovainen, ettei ilmaa kostuteta liikaa, ja näin aiheuteta esimerkiksi kosteuden tiivistymistä kylmemmille pinnoille.

Ilmanvaihtojärjestelmissä sijaitsevat kostuttimet voivat myös aiheuttaa ongelmia, mikäli niiden huolto on laiminlyöty. Ne voivat likaantua, tai niihin voi pahimmillaan ilmaantua mikrobikasvustoa, jonka ilmanvaihto tuo sisäilmaan. /3/, /8/

### **3.1.6 Melu**

Melu on haitallista tai häiritsevää ääntä, joka kuullaan rakennuksessa. Sisätiloissa melu on yleensä peräisin rakennuksen teknisistä järjestelmistä, ihmisen toiminnoista tai rakennuksen ulkopuolelta esimerkiksi liikenteestä. Asuinkerrostaloissa yleisin meluhaitta aiheutuu naapurin toiminnasta ja puutteellisesta ääneneristyksestä asuntojen välillä.

Jos melutaso on riittävän voimakas, voi se aiheuttaa kuulon alenemista. Yleisimmät melun aiheuttamat terveyshaitat ovat kuitenkin toiminnallisia ja suorituskykyä alentavia. Esimerkiksi keskittymistä vaativa työ häiriintyy helposti liiallisesta melusta. Ihmisten reagoiminen meluun vaihtelee suuresti yksilöiden välillä. Melun aiheuttamia haittoja ovat vaikutukset uneen ja nukahtamiseen, joiden vaikutuksesta syntyy muita oireita kuten väsymystä, mielialan laskua tai suorituskyvyn laskua. /1/

## **3.2 Kemiaalliset epäpuhtaudet**

Sisäilmassa voi olla monenlaisia kemiallisia epäpuhtauksia. Tässä kappaleessa on käsitelty niistä yleisimpiä. Kemiallisia epäpuhtauksia voi sisäilmaan välittyä rakennus- tai sisustusmateriaalien emissioista, kosteusvaurioiden tuotteena, liikenteen tai teollisuuden päästöistä tai ihmisen oman toiminnan seurauksena.

Kemiallisten epäpuhtauksien tutkiminen ja mittaaminen sisäilmasta on yleensä seurausta kiinteistössä suoritetuista sisäilman perustutkimuksista. Perustutkimusten jälkeen voidaan tarvittavat jatkotutkimukset kohdentaa oikein ja kustannustehokkaasti.

Monille kemiallisille epäpuhtauksille on tyypillistä, että ne eivät ole pieninä pitoisuuksina ihmiselle vaarallisia, mutta ovat hyviä indikaattoreita muista aineista tai reaktioista. Esimerkiksi kohonneet ammoniakkipitoisuudet voivat viitata kosteusvaurion yhteydessä tapahtuviin reaktioihin, joissa vapautuu ammoniakkia ja muita kemiallisia yhdisteitä.

### 3.2.1 Formaldehydi

Formaldehydi ( $H_2CO$ ) kuuluu aldehydeihin, jotka voivat ärsyttää silmiä ja hengitysteitä. Formaldehydi on väritön kaasu, jolla on pistävä hajua. Muut aldehydit vaativat noin 100 kertaa suuremmat pitoisuudet kuin formaldehydi aiheuttaakseen ärsytysoireita. /1/

Sisäilman formaldehydi on yleensä peräisin ureaformaldehydihartsista, jota on käytetty liima-aineena lastulevyissä ja eräissä paneeleissa. Formaldehydiä saattaa vapautua sisäilmaan myös happokovetteisista lakoista, maaleista, pinnoitteista, itsesiliävistä tekstiileistä ja kokolattiamatoista. /1/

Ihmisten herkkyys formaldehydille vaihtelee suuresti. Formaldehydi saattaa aiheuttaa oireita herkimmille jo hyvin pienissä pitoisuuksissa ( $5-10 \mu g/m^3$ ). Sisäilman formaldehydipitoisuus saa olla enintään  $100 \mu g/m^3$ , vaikka sen hajukynnys on jo  $35 \mu g/m^3$ . Formaldehydin tutkiminen on tarpeellista jos huonetilassa on käytetty runsaasti lastulevyä tai sisäilmassa voi haistaa formaldehydin hajua. Formaldehydin tutkiminen on myös tarpeen jos huoneissa on ollut kosteusvaurio tai jos asukkaiden oireet viittaavat formaldehydialtistukseen. /1/, /2/

### 3.2.2 Asbesti

Asbesti on yleisnimitys eräille luonnossa esiintyville mineraalikuiduille. Asbesti on terveydelle erittäin vaarallinen aine, jota on käytetty rakentamisessa 1920-1990-luvuilla. Laajimmillaan sen käyttö oli 1960-1970-luvuilla. Asbestia on käytetty yleisesti sen hyvän lämmön- ja paloneristysominaisuuksien takia paljolti esimerkiksi putkien

lämmöneristysmassoissa, seinä- ja kattolevyissä, lattialaatoissa ja tasoitteissa. Nykyään sen käyttö on kielletty Suomessa, koska sen tiedetään aiheuttavan keuhkosityöpää ja asbestoosia. /1/, /3/

Asbestipölyä voi syntyä rikkoutuneista materiaaleista ja ennen kaikkea tehtäessä purku- ja korjaustöitä. Asbestia sisältäviä rakennusosia saavatkin käsitellä vain asbestitöiden pätevyyden hankkineet yritykset. Suomessa ennen vuotta 1988 rakennetuissa rakennuksissa on aina tehtävä asbestikartoitus ennen purkutöihin ryhtymistä.

Asbesti ei normaalikäytössä aiheuta esimerkiksi rakennuksen käyttäjälle terveystahaitta, mutta asbestipölyä hengitettäessä kulkeutuu pöly keuhkoihin aiheuttaen terveystahaitta. Sisäilman asbestikuitupitoisuuden pitää olla alle 0,01 kuitua/cm<sup>3</sup>. Myöskään pinnoille laskeutuneessa pölyssä ei asbestikuituja saa esiintyä. /1/

### 3.2.3 Ammoniakki

Ammoniakki (NH<sub>3</sub>) on huoneenlämmössä esiintyessään väritön kaasu, jolle on ominaista pistävä haju. Ammoniakki saattaa esiintyessään aiheuttaa esimerkiksi parketteihin tai seinä- ja kattotasoitteisiin laajoja tummentumia. Ammoniakki ei itsessään yleensä ole terveystahaitta, mutta sen mittauksella voidaan osoittaa rakennusmateriaaleissa tapahtuvaa hajoamista, joka voi johtua esimerkiksi kosteusvauriosta. Tällaisten reaktioiden yhteydessä vapautuu yleensä monia muitakin haitallisia kemiallisia yhdisteitä. /5/

Ammoniakkia voi huoneilmaan vapautua joistain rakennusmateriaaleista, maaleista ja lakoista, puhdistusaineista ja ihmisten tai eläinten eritteistä. Eniten ammoniakkia vapautuu kuitenkin erilaisissa tasoitteissa tapahtuvissa kemiallisissa reaktioissa. Myös tupakointi lisää sisäilman ammoniakkipitoisuuksia. /2/, /5/

Ammoniakin normaali pitoisuus sisäilmassa on välillä 10...20 µg/m<sup>3</sup>. Mikäli sisäilman pitoisuus ylittää arvon 40 µg/m<sup>3</sup>, voidaan sitä pitää tavanomaista korkeampana. Ammoniakki aiheuttaa ihmiselle ärsytysoireita pitoisuuksien kohotessa yli 160...410 µg/m<sup>3</sup>. Hajukynnys ammoniakilla vaihtelee erittäin paljon, ollen välillä 100...37000 µg/m<sup>3</sup>. /1/

Ammoniakkipitoisuuksia on syytä mitata kun ammoniakille tyypillistä pistävää hajua esiintyy, on havaittavissa läikkiä tasoitteissa ja lattiapäällysteissä, tai kun ongelmakohteissa on käytetty kaseiinipitoisia tasoitteita. Mittaukset on syytä suorittaa samanaikaisesti VOC-pitoisuuksien kanssa. Jos tutkittaessa ammoniakkia esiintyy tavanomaista korkeampina arvoina, on syytä selvittää johtuuko se esimerkiksi kosteus- tai viemäriverousta. /1/, /6/

### 3.2.4 Hiilidioksidi

Ilman hiilidioksidipitoisuutta (CO<sub>2</sub>) käytetään yleensä ilmanvaihdon riittävyyden mittarina. Kohonneet hiilidioksidipitoisuudet ovat usein merkki siitä, että ilmanvaihto on riittämätön ja sisäilmassa saattaa olla muitakin ihmisperäisiä epäpuhtauksia. Sisätiloissa suurin hiilidioksidin lähde on ihmisen uloshengitysilmä. Sisäilman hiilidioksidipitoisuus saattaa kohota korkeaksi tiloissa, joissa oleskelee paljon ihmisiä, ja joiden ilmanvaihto ei ole riittävän tehokas ihmiskuorman aiheuttaman hiilidioksidin poistamiseen. Tällaisia tiloja voivat olla esimerkiksi toimistot, luokahuoneet tai odotustilat. Kohonnut hiilidioksidin määrä saa ilman tuntumaan tunkkaiselta sekä voi aiheuttaa päänsärkyä tai väsymystä. /8/, /3/

Hiilidioksidin määrästä käytetään yleensä yksikkö ppm (cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Myös yksikkö mg/m<sup>3</sup> on käytössä. Jos hiilidioksidin määrä sisäilmassa ylittää 1500 ppm (2700mg/m<sup>3</sup>), rakennuksen ilmanvaihto ei ole terveysuojelulain edellyttämällä tasolla. Tyydyttävänä arvona voidaan pitää lukemaa 1200 ppm. Hiilidioksidin mittaus voi olla tarpeen kun ilmanvaihdon toimivuutta on syytä epäillä, tai kun ilmassa tuntuu jatkuvaa tunkkaisuutta. /1/

Nykyaikaisiin ilmanvaihtolaitteisiin on saatavissa myös hiilidioksidiantureita, jotka tunnistavat ilman hiilidioksidipitoisuudet ja havaitsevat milloin ilmanvaihtoa on syytä tehostaa. Ilmanvaihtokone säätää ilmanvaihdon voimakkuutta automaattisesti hiilidioksidin määrän mukaan minimitehosta maksimitehoon. Esimerkiksi pientaloissa hiilidioksidianturin hankinnasta saatava hyöty voi olla suhteellisen pieni, koska yleensä normaalisti mitoitettu ilmanvaihto riittää pitämään hiilidioksidipitoisuudenkin riittävän alhaalla. Sen sijaan esimerkiksi neuvottelu- ja kokoustiloissa, jotka eivät jatkuvasti ole käytössä, anturin hankinta saattaa hyvinkin olla aiheellista.

### 3.2.5 Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidi (CO) eli häkä on suurissa pitoisuuksissa erittäin vaarallinen väritön, mauton ja hajuton kaasu. Häkää syntyy kun hiiltä sisältävät aineet palavat epätäydellisesti. Häkää voi sisäilmaan tulla väärin käytetyistä tulisijoista tai uuneista, tupakoinnista tai ulkoilmasta esimerkiksi liikenteen pakokaasujen mukana. /1/, /8/

Hiilimonoksidi pystyy sitoutumaan veren hemoglobiiniin 200 kertaa tehokkaammin kuin happi. Häkämyrkytys syntyy kun hiilimonoksidi sitoutuu punasolujen happea kuljettavaan hemoglobiinimolekyyliin, ja tämä vähentää veren kykyä kuljettaa happea. Häkämyrkytyksen haitallisuuteen vaikuttaa niin altistumisen voimakkuus, kuin altistumisen kesto. Lievän häkämyrkytyksen aiheuttamia oireita ovat päänsärky, pahoinvointi ja hengenahdistus. Vakava häkämyrkytys saattaa aiheuttaa kuoleman ja Suomessa häkämyrkytykseen kuoleekin vuosittain noin 100 ihmistä. /8/, /1/

Hiilimonoksidin tutkiminen sisäilmasta on aiheellista silloin kun on syytä epäillä, että liikenteen pakokaasuja kulkeutuu huoneiston sisäilmaan. Pakokaasut voivat olla peräisin esimerkiksi lähellä olevalta liikenneväylältä tai samassa rakennuksessa sijaitsevasta pysäköintihallista. Lisäksi jos huoneistossa on käytössä tulisija ja ihmisten oireet viittaavat häkäaltistukseen, on mittaukset aiheellista suorittaa /1/, /6/

Sisäilmassa on harvoin suuria häkäpitoisuuksia. Hiilimonoksidin sallittu enimmäisarvo on 8mg/m<sup>3</sup>. Jo 60mg/m<sup>3</sup> suuruiset pitoisuudet voivat aiheuttaa lieviä sydämen ja hermoston toiminnallisia muutoksia. Noin tunnin oleskelu yli 200 mg/m<sup>3</sup> hiilimonoksidipitoisuuksissa aiheuttaa päänsärkyä. Jos pitoisuudet ovat yli 1000 mg/m<sup>3</sup>, ilmaantuu päänsärkyä, huimausta, hengästyneisyyttä ja pahoinvointia jo 10 minuutissa. Tällaiset olot aiheuttavat kuoleman jo alle tunnissa. /1/, /8/

### 3.2.6 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Sisäilmassa on satoja orgaanisia yhdisteitä, jotka on jaoteltu alla olevan taulukon 4 mukaisesti neljään eri ryhmään kiehumispisteensä perusteella. Yhdisteen kiehumispiste vaikuttaa yhdisteen haihtuvuuteen siten, että alhaisemman kiehumispisteen omaava yhdiste on haihtuvampi ja kaasuuntuu nopeammin siitä materiaalista, jossa sitä on. Alhaisemman kiehumispisteen omaavien yhdisteiden poistumista rakennuksesta

voidaankin nopeuttaa nostamalla huonetilan lämpötilaa ja tehostamalla ilmanvaihtoa. Korkeamman kiehumispisteen omaavat aineet poistuvat taas lähteestä hitaammin. /1/

Taulukko 3: Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden jaottelu /1/, /5/

Lyhenne	Ryhmä	Kiehumispiste, [C]	Esimerkkejä
VVOC	erittäin haihtuvat yhdisteet	>0...50-100	formaldehydi, pentaani
VOC	haihtuvat yhdisteet	50-100...240-260	styreeni, tolueni, ksyleeni
SVOC	puolihaihtuvat yhdisteet	240-260...380-400	PAH-yhdisteet
POM	hiukkasiin sitoutuneet yhdisteet	>380	pestisidit eli torjunta-aineet

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC = Volatile Organic Compounds) pitoisuus ilmoitetaan kaikkien haihtuvien orgaanisten aineiden summana termillä TVOC (Total Volatile Organic Compounds). Yksittäiset pitoisuudet saattavat vaihdella esimerkiksi ihmisen toiminnan takia hyvin jyrkästi eri aikoina mitattaessa.

VOC-päästöjä erittyy huoneilmaan rakennus- ja sisustusmateriaaleista, pesuaineista ja myös mahdollisista mikrobikasvustoista. Myös ulkoilman kautta tulevat liikenteen pakokaasupäästöt vaikuttavat pitoisuuksien kasvuun. Joillain materiaaleilla, kuten maalit ja lakat, ovat VOC-päästöt suhteellisen lyhytaikaisia. Juuri rakennetun rakennuksen VOC-päästöt ovatkin yleensä korkealla, mutta laskevat normaalitasolle yleensä noin puolen vuoden kuluttua /1/, /3/

Yksittäisen VOC-yhdisteen ei välttämättä voida sanoa olevan haitallinen, mutta monen eri yhdisteen yhteisvaikutus voi olla terveydelle haitallista. VOC-yhdisteet voivat aiheuttaa päänsärkyä sekä silmien ja limakalvojen ärsytysoireita. /3/

Tavanomaisena TVOC-pitoisuutena voidaan Asumisterveysoppaan mukaan pitää arvoja 200...300 µg/m<sup>3</sup>. TVOC-mittauksen tarkkuus on kuitenkin niin huono, ettei sitä voida sellaisenaan käyttää arvioitaessa terveyshaitan aiheuttajaa. Suuret arvot kertovat kuitenkin epätavallisen suuresta yhdisteiden määrästä ilmassa ja siten lisätutkimukset yksittäisten aineiden suhteen ovat tarpeelliset. /1/

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä tutkitaan yleensä silloin kun on syytä epäillä tiettyä lähdettä, eikä niitä saada selville muilla keinoin. Mittauksissa voidaan löytää tiettyjä



aineita kuten styreeni ja fenolit, jotka viittaavat virheelliseen rakennusmateriaaliin tai kosteusvaurioon. Mittauksia voidaan tehdä myös vertailevana mittauksina esimerkiksi eri huoneistojen välillä. /6/

### 3.2.7 Styreeni

Styreenille ( $C_8H_8$ ) eli vinyylibentseenille on tyypillistä pistävä haju. Se on helposti haihtuva palava neste, jota käytetään liuottimena teollisuudessa. Sisäilmaan sitä saattaa erittyä väärinkäytetyistä polyesterihartsipohjaisista rakennusmateriaaleista. Normaalisti sisäilma sisältää hyvin vähän styreeniä, mutta löytyy yksittäistapauksia, joissa styreeni on aiheuttanut vaikeita sisäilmaongelmia. /3/, /5/

Styreeni voi aiheuttaa ihmiselle hengitysteiden limakalvojen tai silmien sidekalvojen ärsytystä tai joskus allergisia reaktioita. Se saattaa myös aiheuttaa häiriöitä hermoston toiminnalle. Näitä ongelmia esiintyy lähinnä teollisuudessa, ei niinkään asumiskäytössä olevissa rakennuksissa. /3/, /5/

Tietoa pienten styreenipitoisuuksien aiheuttamista pitkäaikaisvaikutuksista ei vielä juurikaan ole johtuen siitä, että se on vielä suhteellisen nuori tuote sisäilmaongelmien aiheuttajana. /1/

Normaalisti sisäilma sisältää styreeniä hyvin vähän, jopa alle  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Styreenin voi haistaa sen pitoisuuden ollessa noin  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Styreeniä saa Asumisterveysoppaan mukaan olla huoneilmassa enintään  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Styreenipitoisuudet on syytä tutkia kun ilmassa on styreenille tyypillistä pistävää hajua tai jos rakennuksessa on käytetty polyesterihartsipohjaisia tai muita styreeniä sisältäviä materiaaleja. /1/

### 3.2.8 Sisäilman hiukkaset

Sisäilmassa esiintyvät hiukkaset voidaan jakaa eri ryhmiin kokonsa, terveysvaikutuksiansa tai alkuperänsä perusteella. Terveysvaikutuksien perusteella merkittävämpiä sisäilman hiukkasia ovat biologista alkuperää olevat hiukkaset, kuten mikrobit sekä allergioita aiheuttavat pölyt. Mikrobeja käsitellään laajemmin tässä työssä kappaleessa 3.3 Mikrobit. /1/, /8/

Sisäilman hiukkaset jaetaan kokonsa puolesta kolmeen eri ryhmään: /1/

- Pienhiukkaset (PM<sub>2,5</sub>)
- Hengitettävät hiukkaset (PM<sub>10</sub>)
- Kokonaisleijuma (TSP)

Haitallisimpia sisäilmassa esiintyvistä hiukkasista ovat pienhiukkaset, joiden aerodynaaminen halkaisija on alle 2,5 µm. Pienen kokonsa ansiosta ne pystyvät kulkeutumaan syvälle hengityselimiin. Ulkoilmassa esiintyvien pienhiukkasten on todettu aiheuttavat terveyshaittaa lapsille ja astmaatikoille. Ulkoilman pienhiukkasille ei ole pystytty määrittämään pitoisuutta, jonka alapuolella ei terveyshaittaa esiinny. /1/, /8/

Hengitettävät hiukkaset sekä pienhiukkaset ovat ulkoilmassa yleensä peräisin palamisreaktioista, liikenteen ja teollisuuden päästöjen kaukokulkeumasta sekä katupölystä. Nämä hiukkaset voivat ilmanvaihdon mukana tai muuta reittiä käyttäen päätyä rakennuksen sisäilmaan. Hengitettäviä hiukkasia voi sisäilmaan kertyä myös tupakansavusta tai muista sisälähteistä. /1/

TSP eli kokonaisleijuma tarkoittaa kaikkien ilmassa leijuvien hiukkasten määrää ja siitä suurin osa on karkeaa pölyä. Sen lähteinä ovat ulkoilmasta peräisin olevat liikenteen päästöt, katupöly, luonnosta peräisin oleva pöly, sekä ihmisen toiminnasta peräisin oleva pöly. Terveyshaittaa voivat aiheuttaa erityisesti mineraalivillakuidut sekä laskeutuneen pölyn sisältämät orgaaniset hiukkaset. /1/, /8/

Mineraalivillakuituja voi sisäilmaan päästä lasi- tai mineraalivilloja sisältävistä rakenteista tai ilmanvaihdon äänenvaimentimissa tai tuloilmaventtiililaatikoissa käytetyistä mineraalivilloista. Kun mineraalivilla vanhenee, saattaa sen sideaineena käytetty hartsi hajota, ja tämä voi johtaa eristeen pölyämiseen. Kun tuloilmakanavaan sijoitetut äänenvaimentimet alkavat pölytä, on kuiduilla suora reitti siirtyä sisäilmaan. Suljetuissa rakenteissa, kuten seinien ja alakattojen sisällä ei mineraalivillojen pölyäminen ole yleensä ongelma, koska kuidut eivät pääse kosketuksiin sisäilman kanssa. /8/

### 3.2.9 Tupakansavu

Tupakansavu sisältää yli 4000 yksittäistä yhdistettä. Riippuvuutta aiheuttava nikotiini on yksi näistä yhdisteistä. Yli 100 näistä yhdisteistä on luokiteltu ihmiselle haitallisiksi. Syöpää aiheuttavia yhdisteitä niistä on noin neljäkymmentä. /1/

Ympäristön tupakansavuksi (YTS) kutsutaan seosta, joka sisältää tupakkatuotteiden poltosta muodostuvia hiukkasia, aerosoleja ja kaasuja. Pienen keskimääräisen hiukkaskokonsa (0,1 µm) ansiosta tupakansavu kulkeutuu hengityksen mukana ihmisen keuhkoihin asti. /1/

Tupakansavua voi kulkeutua sisäilmaan ulkoilman välityksellä tai muualta rakennuksesta rakennevuotojen tai ilmanvaihdon kautta. Parvekkeella tupakointi voi johtaa tilanteisiin, joissa tupakansavua johtuu naapurin asuntoon korvausilmaventtiilin tai avoimen ikkunan kautta.

### 3.2.10 TXIB

TXIB eli 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidiolidi-isobutyyraatti on yhdiste, jota on käytetty PVC-lattiapinnoitteissa yleisesti vielä 1990-luvulla. Vuonna 1995 sen käyttö loppui pohjoismaissa lähes kokonaan. Sisäilmaan TXIB voi haihtua joko maton huonon laadun tai kemiallisen reaktion seurauksena. TXIB aiheuttaa tutkimusten mukaan silmän ärsytysoireita ja saattaa lisätä astmaan sairastumisen riskiä. /13/

VTT:n sisäilmätietopankin mukaan normaaliksi koetun huoneilman TXIB-pitoisuus on keskimäärin 25 µg/m<sup>3</sup>.

### 3.2.11 Kreosootti

Kreosootti on yleisnimitys kemiallisille aineille, joita on valmistettu korkean lämpötilan avulla puusta, kivihiilestä tai kreosoottipensaan pihkasta. Kreosootilla tarkoitetaan yleensä puunsuojaukseen käytettyä kemikaalia. Kreosootin käyttö rakentamisessa on nykyään kiellettyä, lukuun ottamatta tiettyjä teollisuuden aloja. Kreosootilla käsiteltyä puuta voidaan löytää yleisesti esimerkiksi sähköpylväistä ja rautateistä. /12/

Kreosootti aiheuttaa syöpää, vaurioittaa perimää ja on vaarallinen lisääntymiselle. Lisäksi se voi aiheuttaa ärsytysoireita iholle, silmille tai hengityselimille. Kreosootilla kyllästetystä puusta voi ihmiseen hengitysteitse tai ravinnon kautta välittyä polyaromaattisia tai muita myrkyllisiä yhdisteitä. /12/

### **3.2.12 Betonipöly**

Betonipölyä syntyy rakennustyömailla etenkin purkutyövaiheessa, hiontatyössä ja siivouksessa. Betoni koostuu kiviaineksesta, vedestä, sementistä ja mahdollisista lisäaineista. Betoniin käytetyssä kiviaineksissa on kvartssia ja sen osuus betonipölyssä on muutama prosentti. Kvartsin määrä riippuu betoniin käytetystä kivilaadusta. Punaisessa graniitissa sitä on eniten, noin 20 – 40%. /14/

Betonipölyssä olevan kvartsipölyn altistuminen voi johtaa keuhkosityöpään tai munuaissairauteen sekä voi olla laukaisevana tekijänä eräissä reumaattisissa sairauksissa. ASA-rekisteriin eli ammatissaan syöpäsairauden vaaraa aiheuttavien tekijöiden rekisteriin sitä ei ole kuitenkaan toistaiseksi Suomessa rekisteröity. Kvartsipöly voi myös aiheuttaa pitkäkestoisessa voimakkaassa altistuksessa pölykeuhkosairauden eli silikoosin. Betonipölyn emäksisyys ärsyttää hengitysteitä ja ihoa. Betonipölylle altistuttaessa on tärkeää käyttää hengityssuojainta. /14/

### **3.3 Mikrobit**

Mikroskooppisen pieniä eliöitä, joita ei pysty silmin havaitsemaan, kutsutaan mikrobeiksi. Rakennuksen sisäilmaston kannalta olennaisimpia ovat home- tai hiivasienet ja bakteerit, jotka voivat sisäilmaan kulkeutuessaan aiheuttaa monenlaista terveyshaittaa. Mikrobeilla tarkoitetaan tässä työssä siis erityisesti home- tai hiivasieniä tai bakteereja, jotka voivat aiheuttaa haitallisia terveysvaikutuksia. Erilaisia sisäilman kannalta olennaisia mikrobilajeja on tuhansia ja niiden tunnistaminen on erittäin vaikeaa ja asiantuntemusta vaativaa.

Rakennuksen rakenteissa tai sisäpinnoilla olevat mikrobit voivat päästää sisäilmaan ainakin itiöitä, rihmaston kappaleita, mykotoksiineja eli homeyrkkyjä, allergeeneja sekä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Mikäli mikrobikasvustolla ei ole yhteyttä sisäilmaan esimerkiksi ilmavuotojen kautta, ei kasvustosta välttämättä pääse haitallisia

ainesosia ihmisten hengitysilmaan. Tällaisia paikkoja voivat olla esimerkiksi tuulensuojalevyn ulkopinta, johon muodostunut mikrobikasvusto ei pysty levittämään aineenvaihduntatuotteitaan tai hiukkasia sisäilmaan ilman rakenteiden välisiä vuotokohtia. Tällaisessa tilanteessa ulkoverhouksen ja tuulensuojalevyn välinen tuuletusrako kuljettaa kasvuston levittämät itiöt tai muut hiukkaset ulkoilmaan. /8/, /5/

### 3.3.1 Mikrobien kasvamisen edellytykset

Mikrobit tarvitsevat kasvaakseen lämpöä, ravintoa ja ennen kaikkea kosteutta. Ilman kosteutta ei mikään mikrobi kasva, mutta itiöt säilyvät elinkykyisenä kuivassakin. Näin ollen vanhan mikrobikasvuston herääminen henkiin on nopeampaa kuin täysin uuden pesäkkeen syntyminen. Mikrobit saavat rakennuksista lähes aina tarvittavat ravinteet kasvuunsa esimerkiksi jo huonepölystä, joten ravinteiden puute ei käytännössä mikrobien kasvamista rakennuksissa rajoita.

Suurin mikrobien kasvuedellytys on siis kosteus. Optimaalisissa lämpötila- ja kosteusoloissa käynnistyy mikrobien kasvamisen alhaisemmilla kosteustasoilla kuin niukemmassa ravinneympäristössä. Alla olevassa taulukossa 5 on esitetty mikrobiryhmien kasvun minimikosteusvaatimuksia. /1/

Taulukko 4: Mikrobiryhmien kasvun minimikosteusvaatimukset lämpötila-alueella 10 - 40 °C. /1/

<b>Mikrobiryhmä</b>	<b>Minimikosteusvaatimus (RH %)</b>
Homesienet, hiivat ja aktinomykeetit	65 - 85 %
Muut bakteerit	95 %
Sinistäjä- ja lahottajasienet	95 %

### 3.3.2 Ulkoilman mikrobit

Mikrobeita esiintyy ulkoilmassa aina. Talvella niiden pitoisuus on kuitenkin paljon pienempi, maaperän lumipeitteen johdosta. Ulkoilmaan mikrobeja välittyy esimerkiksi maaperästä, kasveista tai vedestä. Ulkoilman mikrobeja kulkeutuu aina myös sisäilmaan. Yleisin sienisuku ulkoilmassa on *Cladosporium*, jota tavataan yleisesti myös sisäilmasta, varsinkin keväällä ja syksyllä. Sen osuus ulkoilman itiöistä on noin 85 %.

/1/, /5/

Kun selvitetään kosteusvaurion mahdollisuutta mikrobimittauksilla, ovat tärkeässä asemassa niin kutsutut indikaattorimikrobit. Nämä mikrobit ovat sellaisia, joita ei ilman kosteusvaurioita yleensä rakennuksessa esiinny. Näiden perusteella voidaan siis päätellä, että rakennuksessa on mahdollisesti kosteusvaurio ja siitä aiheutuvaa homekasvua tai kyseessä on muu lähde.

### 3.3.3 Indikaattorimikrobit

Indikaattorimikrobeista on laadittu erilaisia listoja eri tahojen, esimerkiksi eri laboratorioiden, toimesta. Nämä listat perustuvat yleensä ns. Baarnin listaan, joka on tehty vuoden 1992 tiedon perusteella. Baarnin listan mukaan mikrobit jaetaan kolmeen eri luokkaan: Runsaasti kosteutta vaativat (RH > 90...95 %, esimerkiksi *Aspergillus Fumigatus*), kohtalaista kosteutta vaativat (RH 85...90 %, *Aspergillus Versicolor*) ja suhteellisen kuivassa viihtyvät mikrobit (RH < 85 %, *Penicillium chrysogenum*). /5/

### 3.3.4 Lahottaj sienet

Homekasvusto kasvaa yleensä rakenteen pinnalla, eikä siten aiheuta muutoksia rakennusmateriaalien lujuusominaisuuksiin. Runsaasti kosteutta kasvaakseen vaativat lahottaj sienet taas tuhoavat puuta joko käyttämällä ravinnokseen selluloosaa tai ligniiniä ja täten aiheuttavat myös puun lujuuden heikkenemisen. /10/

Lahotyyppejä ovat ruskolaho, valkolaho ja katkolaho. Näistä ruskolaho on tyypillinen kun kyseessä on kosteusvaurio. Lahottaj sienistä yleisiä ovat esimerkiksi Kellarisieni (*Coniophora puteana*), Lattiasieni (*Serpula lacryman*) ja Laakakääpä (*Antrodia sinuosa*). Yleisin lahovaurion paikka on alapohja, jossa sen korjaaminen on myös

työläintä. Alapohjan lahovauriot johtuvat yleensä maakosteudesta. Lahovaurioita esiintyy myös rakennuksen ulkopuolisissa puuosissa sadeveden aiheuttaman kosteusrasituksen johdosta. /1/

### **3.3.5 Mikrobien terveysvaikutukset**

Terveydensuojelulain tarkoittama terveyshaitta muodostuu kun rakennuksessa todetaan olevan silminnähtävä tai laboratoriokokeilla osoitettu mikrobikasvusto tiloissa, joista vuotoilmaa kulkeutuu sisäilmaan.

Useimmat kosteusvaurioituneelle rakennukselle tyypilliset homekasvuston itiöt ja mikrobit ovat kooltaan erittäin pieniä ja täten pystyvät kulkeutumaan syvälle hengityselimiin, pienimmät aina keuhkorakkuloihin asti. /5/

Mikrobikasvuston aiheuttaman terveyshaitan osoittaminen suoraan esimerkiksi lääketieteellisellä kokeella on erittäin vaikeaa. Tätä asiaa on tutkittu ja tutkitaan edelleen paljon, mutta varsinaista läpimurtoa asiasta ei ole ainakaan vielä saatu.

Altistumisen kesto ja laatu sekä altisteen pitoisuus vaikuttavat eri ihmisiin hyvin eri tavalla. Herkimmät ihmiset voivat reagoida jo hyvinkin pieniin pitoisuuksiin, kun taas jotkut ihmiset eivät koe mitään vaikutusta paljon suurempiinkin pitoisuuksiin. Kosteus- ja homevaurioiden aiheuttamia terveysvaikutuksia voivat olla esimerkiksi pitkittyneet infektiot, nuha, kurkun karheus, päänsärky tai väsymys. Homevaurioiden on todettu aiheuttavan erittäin paljon muitakin oireita, joista edellä oli lueteltu vain muutamia. /3/

## 4 Sisäilman laadun tutkiminen

### 4.1 Sisäilmaston kuntotutkimus

Tässä insinööriyössä sisäilman kuntotutkimuksen suoritusohje pohjautuu pitkälti Suomen LVI-yhdistysten Liitto ry:n vuonna 1997 julkaisemaan Sisäilman Kuntotutkimusohjeeseen, jonka tietoja on täydennetty muista lähteistä sekä oman kokemukseräisen tiedon pohjalta. Sisäilman kuntotutkimusohje on tarkoitettu ensisijaisesti asuinkerrostalojen sisäilmaston kuntotutkimuksiin, mutta sitä voidaan soveltaa myös muiden rakenteiltaan ja LVI-järjestelmiltään samankaltaisten rakennusten sisäilmaston kuntotutkimuksiin. Ohjeesta löytyy myös tutkimukseen tarvittavia valmiita lomakepohjia ja muistilistoja. /6/

Sisäilmaston kuntotutkimus tehdään yleensä kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa tehdään yksinkertaisimmat perustutkimukset, joita täydennetään yksityiskohtaisimmilla sisäilmaston jatkotutkimuksilla tai esimerkiksi kuntotutkimuksilla mahdollisen kosteusvaurion löytämiseksi.

#### 4.1.1 Lähtötiedot

Sisäilmaston kuntotutkimuksen sujuvaan ja laadukkaaseen toteuttamiseen vaadittavia lähtötietoja ovat kiinteistön/rakennuksen tiedot, rakennuksessa tehdyt korjaukset ja kuntoselvitykset sekä tiedossa olevat ongelmat.

Rakennuksen tiedoista olennaisia ovat rakennuksen koko, rakennus- ja peruskorjausvuosi, rakenneratkaisut, ilmanvaihtojärjestelmä ja käyttöajat sekä lämmönjakotapa. Hyvien lähtötietojen avulla voi kuntotutkija suunnitella etukäteen kuntotutkimuksen läpiviemisen mahdollisimman sujuvasti. Olennaisia lähtötietoja ovat myös rakennuksessa suoritettavat korjaukset ja aiemmat kuntoselvitykset.

Kuntotutkimuksen onnistumisen kannalta on myös tärkeää, että kuntotutkimuksen suorittajalla on tiedossa kaikki rakennuksessa esiintyneet ongelmat ja viat. Näitä tietoja saadaan esimerkiksi kohteen isännöitsijältä tai huoltomieheltä tai rakennuksen



asukkailta. Ennen konkreettisia tutkimuksia on kohteessa suoritettava asukaskysely, jotta saadaan tietoon kaikki puutteet ja asukkaiden havaitsemat ongelmat.

Asukaskyselyyn löytyy valmis malli esimerkiksi Suomen LVI-yhdistysten liiton Sisäilmaston kuntotutkimusohjeesta. Olennaisia asioita, joita asukaskyselyssä tulee muun muassa selvittää, ovat ilmanvaihdon toimivuus, suihkun käyttö ja muut kosteuslähteet sekä onko asunnossa koettu ongelmia tai terveyshaittaa.

#### 4.1.2 Perustutkimukset

Lähtötietojen hankinnan ja analysoinnin jälkeen voidaan suorittaa perustutkimukset.

Ennen perustutkimusten suorittamista tulee asukkaille olla jaettuna tiedotteet ja ohjeet tutkimusten edellyttämistä toimenpiteistä.

Perustutkimuksissa tutkitaan rakennuksen ja sen laitteiden kunto sekä tutkitaan yleiset tilat ja asunnot. Rakennuksen ulkoisessa tarkastelussa tarkastetaan katon, ullakkotilan ja ryömintätilan sekä muiden olennaisten rakennusosien kunto. Ulkoilman olosuhteet tulee myös kirjata ylös. Ilmanvaihtolaitteiden kunto ja toiminta tarkastetaan iv-konehuoneesta ja vesikatolta. Kello-ohjauksen toiminta tarkastetaan kaikilla tehoilla. Tuloilmakoneiden ja niiden osien kunto tarkastetaan. Ilmanvaihtokanaviston puhtaus tarkastetaan ainakin kokooja- ja nousukanaviston osalta.

Lämmitysjärjestelmän osalta tutkittavia asioita ovat lämmitysjärjestelmän asetusarvot ja säätökäyrät sekä kello-ohjauksen toiminta.

Rakennuksen yleistiloista, kuten porrashuoneista, talosaunoista, pesutuvista, väestönsuojista ja rakennuksen liiketiloista tutkitaan ilmanvaihdon toiminta ja onko tiloissa viitteitä kosteusvaurioista.

Kaikissa asunnoissa tehtävät perustutkimukset sisältävät seuraavat tutkittavat asiat: /6/

- *Ilman laadun kuvaus (voimakkaat hajut)*
- *Ilmanvaihtokoneiden kunto ja puhtaus (huoneistokohtaisen ilmanvaihdon asunnot)*
- *Poistoilmanvaihdon toiminta likaisissa tiloissa (merkkisavulla)*

- *Korvausilman saanti oleskelutiloihin (ilmavirrat käsin tunnustelemalla ja/tai merkkisavulla, ikkunarakojen tarkastaminen tarvittaessa avaamalla ikkunat)*
- *Siirtoilmareitit (oviraot)*
- *Lämpötila ja melu (aistinvaraisesti; mikäli lämpötila poikkeaa selvästi yleisestä tasosta, niin mitataan huoneen lämpötila)*
- *Kosteusvauriot (mikäli näkyviä merkkejä, niin mitataan pintakosteus)*

Osassa asuntoja tehdään tarkempia mittauksia. Mittaukset suoritetaan kahdessa ylimmän ja kahdessa alimman kerroksen asunnossa porrasta kohti. Lisäksi yli 4-kerroksisissa rakennuksissa tulee mittaukset suorittaa myös yhdessä keskikerroksen asunnossa. Mittaukset suoritetaan olohuoneesta, yhdestä makuuhuoneesta, keittiöstä sekä kylpyhuoneesta tai saunasta. Mittauksia tulee tehdä myös muualla mikäli havaitaan poikkeavuuksia sisäilmaston suhteen. Asunnoista tutkitaan seuraavat tekijät: /6/

- *Poistoilmavirrat (puhaltimen täydellä käyntiteholla (mitoitusteho), ulkoilmaventtiilit auki; lisäksi yhdestä asunnosta porrasta kohti parvekkeen ovi tai ikkuna avattuna sekä yhdestä asunnosta porrasta kohti poistoilmavirrat puhaltimen puolella käyntiteholla)*
- *Tuloilmavirrat ja tuloilman lämpötila (koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon asunnot)*
- *Kanavien puhtaus (havainnoimalla venttiili irrotettuna kahdesta vaakakanavasta porrasta kohti)*
- *Paine-ero ulkoilmaan ja porraskäytävään nähden (merkkisavulla; puhaltimen täydellä ja puolella käyntiteholla)*
- *Ilman lämpötila ja kosteus (olohuoneesta sekä tarvittaessa)*
- *Lämmityspattereiden pintalämpötilat (yhdestä huoneesta sekä tarvittaessa)*
- *Rakenteiden kosteus (etenkin kylpyhuone, saunaosasto ja keittiö)*

Lisäksi mitataan poistoilmavirrat niistä asunnoista, joissa tilojen käyttötarkoitusta on muutettu. Tällaisia ovat esimerkiksi jälkikäteen rakennetut saunat. Jos rakennuksessa on huoneistokohtainen ilmanvaihto, mitataan tulo ja poistoilmavirrat kaikista asunnoista.

Perustutkimuksessa ilmi tulleiden ongelmien ratkaisut tulee yrittää selvittää välittömästi tutkimusten yhteydessä. Perustutkimusten pohjalta määritellään mahdollinen

jatkotutkimusten tarve. Perustutkimusten pohjalta voidaan suositella muitakin jatkotutkimuksia kuin sisäilman jatkotutkimuksia. Sisäilman kuntotutkimusten perusteella voi herätä tarve suorittaa esimerkiksi kosteusvaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus, julkisivun kuntotutkimus tai vesi- ja viemäriverkon kuntotutkimus.

Perustutkimusten yhteydessä tarvittavia tutkimusvälineitä: /6/

- *Lomakkeet*
- *Piirustukset (tasokuvat ja leikkaukset sekä kojeluettelo)*
- *Taskulamppu, mittanauha, jakoavain, ruuvimeisseli, ikkunanavaaja, peili jatkovarrella)*
- *Kamera*
- *Merkkisavut (ampullit ja pumppu)*
- *Ilmavirtamittarit (kuumalanka-anemometri + torvi tai painemittari + sondi, siipipyöräänemometri)*
- *Lämpö- ja kosteusmittari (digitaalinen)*
- *Pintalämpömittari (esim. infrapunasäteilymittari)*
- *Pintakosteusmittari*
- *Lomakkeiden kantoteline ja mittareiden kantolaite*
- *Viestilaput asuntoihin (joissa käyty yleisavaimella)*

#### **4.1.3 Jatkotutkimukset**

Tarve sisäilmaston jatkotutkimuksille tulee jos perustutkimusten aikana on huomattu niiden olevan tarpeellisia ongelman aiheuttajan löytämiseksi. Jatkotutkimukset ovat yleensä niin kalustolle kuin mittaajallekin vaativampia.

Jatkotutkimuksia voidaan suorittaa jo perustutkimustenkin yhteydessä tietyissä asunnoissa, jotka on ennalta tilaajan kanssa sovittu, ja joissa havaitut ongelmat antavat perusteet epäillä jotain tiettyä ongelmaa. Tarkempia tutkimuksia voidaan suorittaa myös erillisesti vaikka sisäilman kuntotutkimusta ei olisi rakennuksessa suoritettu jos ongelma viittaa johonkin tiettyyn ongelman syntymekanismiin, josta on vahva epäily.

Erilaisia jatkotutkimuksia ovat esimerkiksi ulkovaipan lämpöteknillisen kunnan ja lämmityksen tutkiminen, painekokeet (rakennus, asunto, kanavisto tai hormi), lämpökamerakuvaus, ilmanvaihtuvuuden mittaus, vuotokohtien kartoitus savukokein ja epäpuhtauslähteiden kartoittaminen. Yksittäisistä epäpuhtauksista voidaan mitata muun muassa VOC-pitoisuudet, formaldehydi, ammoniakki, radon, asbesti hiilidioksidi ja hiilimonoksidi. /6/

Seuraavassa kappaleessa *Tutkimusmenetelmät* on esitetty yksityiskohtaisemmat kuvaukset yksittäisten eri sisäilman ominaisuuksien tai epäpuhtauksien mittaukseen.

## **4.2 Tutkimusmenetelmät**

Tämän otsikon alle on koottu eri tutkimusmenetelmien kuvauksia. Yksittäisten mittausten suorittamisen osaamisen lisäksi vaatii ongelmien ymmärtäminen ja ratkaiseminen kuitenkin rakennusten järjestelmien ja rakenteiden toiminnan kokonaisuuden hahmottamista ja vankkaa kokemusta sisäilmatutkimusten parissa.

### **4.2.1 Ilman lämpötilan mittaus**

Sisäilman lämpötilaa mitataan sähköisellä lämpömittarilla. Lämpötilamittauksista merkityksellisiä ovat ilman lämpötilan mittaus, pintojen lämpötilojen mittaus sekä operatiivisen lämpötilan mittaus.

Ilman lämpötilaa huonetilasta mitataan oleskeluvyöhykkeeltä 1,1 metrin korkeudelta huoneen keskeltä. Asumisterveysohje /2/ määrittää oleskeluvyöhykkeen seuraavasti: *”Huoneen osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat ovat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista. ”*

Operatiivinen lämpötila tarkoittaa huoneilman lämpötilan ja ympäröivien pintojen säteilylämpötilojen keskiarvoa. Operatiivinen lämpötila kuvastaa siis huoneilman lämpötilan ja pintojen säteilystä aiheutuvaa ihmisen kokemaa lämpötilaa. Operatiivinen lämpötila mitataan pallolämpötilamittarilla.

Pintalämpötilojen mittaamiseen on olemassa sähköisiä pintalämpömittareita. Pintalämpömittarin avulla voi mitata halutun pinnan lämpötilan ilman, että mittaria vie kiinni mitattavaan pintaan. Mittarissa on yleensä merkkivalo, jonka voi kohdistaa mitattavaan pintaan. Suurin mittausetäisyys vaihtelee eri mittareissa. Pintalämpötiloja mitattaessa voidaan mittaukset suorittaa myös lämpökameralla, jolloin nähdään samanaikaisesti eri pintojen lämpötilat. Lämpökameralla voidaan myös havaita monia muitakin rakenteellisia asioita, kuten esimerkiksi paikallistaa rakennuksen vaipan ilmavuotoja.

#### **4.2.2 Ilman kosteuden mittaus**

Sisäilman kosteuden mittaukset suoritetaan lämpötilamittausten yhteydessä. Ilman suhteellisen kosteuden mittaamiseen käytetään yleensä sähköistä mittalaitetta, joka mittaa kosteuden lisäksi muitakin arvoja, kuten lämpötilaa. Sähköisellä kosteusmittarilla saadaan mittausajankohdan kosteuspitoisuudet tietoon heti lukemana laitteen näytöltä.

Jos halutaan tehdä seurantamittausta, käytetään mittaria, jossa on dataloggeri. Dataloggerin mittausväliksi asetetaan haluttu aika, esimerkiksi mittaus kahden tunnin välein. Dataloggerin avulla voidaan siis seurata ilman kosteuspitoisuutta ja lämpötilaa pidemmällä aikavälillä, jolloin saadaan tietoa olosuhteiden muodostumisesta. Saatuja mittaustuloksia voidaan verrata esimerkiksi ulkoilman vastaaviin tuloksiin ja tehdä johtopäätöksiä esimerkiksi rakenteiden tuulettuvuudesta tai asuntokohtaisesta vedenkäytöstä muodostuvasta kosteuslisästä.

#### **4.2.3 Paine-erojen mittaus**

Sisäilman painesuhteita mitattaessa tulee mitattavassa kohteessa olla sää- ja käyttöolosuhteet normaalit. Poikkeuksellisissa tuuli- ja lämpötilaolosuhteissa tehdyistä mittaukset tulisi toistaa normaaleissa olosuhteissa. Paine-eroja mitattaessa tulee mittalaitteiden olla tarkkoja, koska paine-erot ovat yleensä suhteellisen pieniä. Tyypillisesti ne ovat asuin- tai liikerakennuksissa välillä 0...50 Pa. /1/



Kuva 1: Sähköinen mikromanometri

Painesuhteita voidaan mitata joko mekaanisella tai sähköisellä mikromanometrillä, josta yksi esimerkki on esitetty kuvassa 1, tai merkkisavuilla. Paine-eroja mitattaessa selvitetään paine-erot eri tilojen sekä ulkoilman välillä. /1/

Ulkoilman ja sisäilman paine-eroa sähköisellä mikromanometrillä mitattaessa viedään toinen letku ulkoilmaan toisen mittayhteen ollessa sisäilmassa. Ulkoilman painetta mittaava letku voidaan viedä ulkoilmaan esimerkiksi ikkunassa sijaitsevan raitisilmanventtiilin kautta tai muusta raosta, jonka saa tiiviiksi mittaletkun ympäriltä.

Eri huoneiden tai tilojen painesuhteita mitattaessa menetelmä on samanlainen, mikromanometrin mittayhteet viedään eri tiloihin esimerkiksi oven alta tai muusta raosta, josta letku mahtuu läpi.

Painesuhteita pystytään myös tutkimaan merkkisavuilla, joiden suunnasta voidaan päätellä ilmavirran liikkeen suunta. Merkkisavuilla pystytään siis tutkimaan paine-erojen suunta, mutta sen voimakkuutta ei merkkisavuilla pysty tutkimaan muuten kuin silmämääräisesti arvioiden.

Tarkemmat ohjeet painesuhteiden mittauksesta löytyvät standardista SFS 5512.

#### 4.2.4 Ilman virtauksen mittaus

Ilman virtauksen mittauksella tarkoitetaan tässä yhteydessä ilmanvaihtojärjestelmässä kulkevan ilmavirran mittausta. Ilmavirran suuruudesta käytetään yksikkönä yleensä litraa/sekunti (l/s) tai kuutiota/tunti ( $m^3/h$ ).

Kun ilmvirtamittauksia suoritetaan, tulee ulkoilman olosuhteet sekä käyttöolosuhteet vastata normaalia tilannetta rakennuksessa. Poikkeuksellisissa olosuhteissa tehtyjä mittauksia tulee välttää ja ne tulee tarvittaessa uusiksi normaaleissa olosuhteissa. Ilman virtausta voidaan mitata joko pääte-elimistä tai ilmanvaihtokanavistosta. /1/

Ilman virtausta ilmanvaihtokanavistosta voidaan mitata poraamalla reikä ilmanvaihtokanavaan ja työntää reiästä mittalaitteen pitot-putki, joka mittaa ilman virtausnopeutta. Mittauksen jälkeen reikä tukitaan muovitulpalla.



Kuva 2: Ilmamäärämittari TSI  
Veloci Calc Plus

Kun kanavan poikkipinta-ala tunnetaan, voidaan virtausnopeuden perusteella laskea kanavassa kulkeva ilmamäärä kaavalla:

$$V = (\pi D^2) / 4 * v$$

V= tilavuusvirta (l/s)

D= kanavakoko (dm)

v= nopeus kanavassa (dm/s)

Suuremmassa kanavassa mittaus tulee suorittaa eri osissa kanavan poikkileikkausta.

Näiden mittaustulosten keskiarvoa käytetään ilmamäärää laskettaessa. Kanaviston ilman virtausnopeutta tulee mitata suoran kanavan osuudelta, sillä haarojen, mutkien ja säätöpeltien tms. jälkeen virtaus on epätasaista. /1/

Joissain ilmanvaihdon säätöpelissä on mittayhteet jo valmiina, joista voidaan mitata paine-eroa ja säätää tarvittaessa peltiä haluttuun suuntaan.

Kun ilmamääriä mitataan pääte-elimistä, käytetään joko läpivirtausmittaria tai paine-eromenetelmää. Läpivirtausmittarissa on läpivirtaustorvi yhdistettynä kuimalanka-anometriin. Läpivirtausmittarilla mitattaessa asetetaan torvi tiiviisti mitattavan pääte-elimien päälle ja mittari näyttää lukeman suoraan näytölle. Läpivirtaustorvi ei saa kuristaa ilmavirtaa liikaa ja se soveltuu yleensä paremmin poistoilmavirtojen mittaukseen. /1/

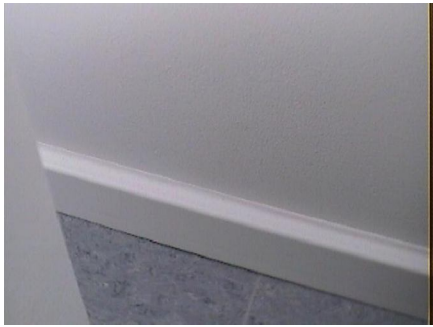
Paine-eromenetelmää käytettäessä on huomattava, että eri pääte-elimille on erilaiset kalibrointikäyrästöt. Eri valmistajat toimittavat pääte-elimensä mukana yleensä myös säätökäyrästöt. Paine-eromenetelmässä mitataan paine-ero päätelaitteesta joko siinä olevasta mittayhteestä tai mittasondilla, joka asetetaan venttiiliin. Paine-erojen perusteella saadaan käyrästöstä pääte-elimien ilmamäärä kun verrataan sitä pääte-elimien säätöön. Pääte-elimia säädetään joko kiertämällä niitä auki/kiinni tai avaamalla/sulkemalla pääte-elimessä olevia reikiä.

#### **4.2.5 Vaipan ilmapuotojen mittaus**

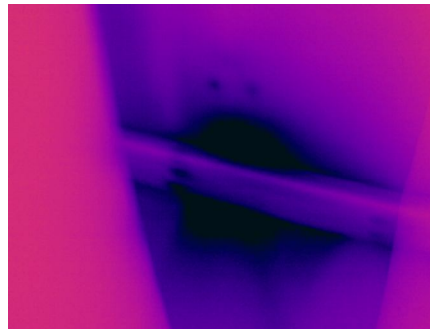
Rakennuksen vaipan tiiveyttä voidaan mitata painekokeella, jossa rakennuksen sisälle asetetaan tunnin ajaksi 50 Pa paine-ero ulkoilmaan nähden, jonka ylläpitämiseksi tarvittava ilmamäärä mitataan. Tämä ilmamäärä jaetaan rakennuksen tilavuudella, josta saadaan rakennuksen ilmapuotoluku eli n50 luku. Paine-ero rakennukseen saadaan aikaiseksi asettamalla puhallin tiiviisti esimerkiksi oviaukkoon. Mittausta tehtäessä tulee tuloilmanvaihto olla kytkettynä pois päältä ja kaikki poistoilmaventtiilit olla tiivistettynä esimerkiksi teipillä. /15/

Vaipan ilmapuotoja pystytään mittaamaan myös merkkisavujen tai lämpökameran avulla. Lämpökamerakuvauksella ilmapuodot näkyvät selvästi kylminä alueina varsinkin alipaineisessa rakennuksessa.





Kuva 3 Lattian ja ulkoseinän liittymäkohta.



Kuva 4 Lämpökameralla nähdään ilmapuotoa

#### 4.2.6 Melun mittaus

Melua mitattaessa on tyypillistä, että muista kun mitattavista melulähteistä tuleva melu on suuruusluokaltaan samansuuruista tai suurempaa kuin itse mitattavan melulähteen äänitaso. Näistä muista melulähteistä käytetään yleisnimitystä taustamelu. Taustamelulle on tyypillistä, että se vaihtelee paljon ja melumittauksissa sen häiriötekijöiltä ei yleensä voida välttyä. Mittausoppaissa ja –standardeissa on yleisesti määritelty, että taustamelu olisi oltava 6...10 dB tutkittavaa melua hiljaisempaa. Mikäli mitattava melu on äänitasoltaan hiljaista, voi taustamelun saaminen 6...10 dB alhaisemmalle tasolle vaatia erityisjärjestelyjä. Tyypillisiä taustamelun lähteitä, joita voi joutua eliminoimaan, ovat ilmanvaihto, jääkaapit ja pakastimet. /1/

Häiriöäänien aiheuttaman mittausvirheen minimoimiseksi on mittajaan syytä seurata tilannetta koko mittausjakson ajan. Jos häiriöitä ilmenee, kirjataan niiden tapahtum aika ylös ja verrataan mittauksien valmistuttua mittaustuloksiin. Jos kyseessä on lyhytaikainen mittaus, kannattaa se uusien mahdollisuuksien mukaan jos häiriötekijöitä on ollut. /1/

Ennen mittauksien aloittamista tulee selvittää esimerkiksi lyhytaikaisin koemittauksin mikä on tutkittavan melun suurin ja pienin mahdollinen melutaso, meluntuottoaika tai melutapahtumien määrä vuorokauden eri aikoina. Mittauspaikat valitaan paikoista, joissa ihmiset yleensä oleskelevat. Toimistoissa esimerkiksi työpisteiden kohdalta ja makuuhuoneissa nukkuvan ihmisen päälle kohdalta. /1/

Melumittauksien tulosten terveyshaitan määrittämisessä olennaista on suurimman ja pienimmän meluntuottotason vertaaminen ohjearvoihin. Mikäli suurinkin melutaso

alittaa ohjearvon, voidaan olettaa, että melusta ei ilman muuta painavaa syytä, aiheudu terveyshaittaa. Mikäli taas pieninkin meluntuotto ylittää ohjearvon, voidaan useimmissa tapauksissa katsoa jonkinasteisen terveyshaitan olevan olemassa. /1/

Äänitasoa voidaan mitata siis joko lyhytaikaisesti tai todella pitkinäkin mittausjaksoin. Nykyisten äänitasomittarien muistikapasiteetti mahdollistaa todella pitkätkin mittausjaksot. Mittauksessa voidaan käyttää monikanavamittareita tai dataloggeria, johon on yhdistetty useampia mikrofoneja. Lisätietoa melun mittauksesta ja tulosten analysoinnista löytää Asumisterveysoppaasta /1/

#### **4.2.7 Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) mittaus**

VOC-pitoisuuksia voidaan mitata joko pitkä- tai lyhytaikaisesti. Pitkäaikainen näytteenkeruu suoritetaan passiivikeräimellä ja sen keruu-aika on muutamia viikkoja. /1/

Lyhytaikaisessa näytteenotossa 4-15 näyte kerätään Tenax-hartsiputkeen pumpulla nopeudella 40-200 ml minuutissa, jonka jälkeen näyte desorboidaan termodesorptiolla ja analysoidaan kaasukromatografialla käyttäen massaelektiivistä detektoria ja/tai liekki-ionisaatiodetektoria tai näyte analysoidaan kaasukromatografialla ja massaspektrometrillä. Näytteestä voidaan tunnistaa myös yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksia TVOC-pitoisuuden lisäksi. Yksittäisen aineen toteamisraja on analyysissä noin  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  näytteen ilmamäärästä riippuen. Näyte voidaan kerätä myös passiivisesti Tenax-hartsiputkeen, jolloin sen keräysaika on 1-3 viikkoa. Aktiivisella keräyksellä kerätyn näytteen kvantitatiivinen analyysi on kuitenkin tarkempi kuin passiivisella keräysmenetelmällä kerätyn näytteen analyysi. /1/

Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä voidaan kerätä myös muilla tavoin, kuten pumpulla hiiliputkeen tai muita adsorptiomateriaaleja käyttäen. Eri keräysmenetelmillä saatuja tuloksia ei voida kuitenkaan pitää suoraan verrannollisina toisiinsa. /1/

Korkeita VOC-pitoisuuksia voidaan lukea myös suoraan luettavilla VOC-mittareilla, mutta koska niiden havaitsemisraja on korkea, ei niillä pystytä havaitsemaan kuin suurimpia pitoisuuksia. Nämä mittarit soveltuvat silti todentamaan jo vahvan epäilyn suurista VOC-pitoisuuksista. /1/

#### 4.2.8 Sisäilman hiukkasten mittaus

Sisäilman hiukkaspitoisuuksien tutkiminen voi olla tarpeellista tilanteissa, joissa on syytä epäillä, että asuntoon kulkeutuu ulkoa suuria määriä hiukkasia, tai jos asunnossa on merkittäviä hiukkasten sisälähteitä. Jos samanaikaisesti mitataan hiukkaspitoisuudet sekä ulko-, että sisäilmasta, voidaan näitä tuloksia vertaamalla päätellä johtuuko sisäilman suuri hiukkaspitoisuus sisä- vai ulkolähteistä. /1/

Sisäilman hiukkasten määrittäminen tapahtuu joko niiden massan määrittelemisenä tai lukumäärän ilmatilavuutta kohti. Jos on tarpeen selvittää hiukkasten kemiallista koostumusta, tulee käyttää suodatinkeräystä. /1/

Kokonaisleijumaa voidaan tarkastella hiukkaslaskurilla, joka laskee läpivirtaavan ilman sisältämät erikokoiset hiukkaset tai keräämällä näytteet selluloosa-asettaattisuodattimille ja vertaamalla niiden painoa ennen ja jälkeen keräyksen. Tulosten luotettavuus paranee kerättyjen ilmavirtojen kasvaessa. Luotettavan tuloksen saaminen vaatii usean kuutiometrin ilmavirtoja. /1/

Pienempiä hengitettäviä hiukkasia mitattaessa käytetään näytteen keräämiseen sykklonia tai impaktoria esierottimena. Tavallisesti keräys kestää ainakin 18 - 24 tuntia ja ilmavirta keräyksessä on 4 - 20 litraa minuutissa. Samoin kuin kokonaisleijumaa mitattaessa, punnitaan suodattimet ennen ja jälkeen keräyksen. /1/

Kun selvitetään pinnoille laskeutuvan pölyn määrää, tulee kyseeseen näytteen kerääminen tietyn kokoiselta alueelta imuroimalla. Myös imuroimalla kerätty näyte punnitaan ennen ja jälkeen keräyksen. Imuroimalla kerätystä näytteestä on mahdollista erottaa mm. mineraalivillojen osuus tai epäorgaanisen ja orgaanisen pölyn osuus. /1/

Sisäilmassa 24 tunnin keskiarvona 20 °C lämpötilassa mitattuna saa kokonaishiukkaspitoisuus olla enintään 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hengitettävien hiukkasten ollessa kyseessä on arvo 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Terveydelle haitallisimmille pienhiukkasille ohjearvoa ei toistaiseksi vielä ole. /1/

#### 4.2.9 Hiilidioksidin mittaus

Hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden mittaus on melko vaivatonta. Se voidaan mitata suoraan osoittavilla ilmaisinputkilla, jotka värjäytyvät niiden läpi ilmaa imettäessä.

Niiden tarkkuus on  $\pm 25\%$ . /1/

Hiilidioksidipitoisuuden tarkempaan seurantamittaukseen käytetään kaasuanalysointilaitetta. Jos mittauksien on tarkoitus selvittää ilmanvaihdon riittävyyttä, tehdään se 100 ppm tarkkuudella. /6/

Ennen mittauksien suorittamista on olosuhteiden oltava tasapainossa. Tämä hoidetaan niin, että tilassa oleskelevat ihmiset ovat tilassa riittävän pitkään, eikä ikkunatuuletusta käytetä. Normaalilla 0,5/h ilmanvaihtuvuudella olosuhteiden tasapainottuminen kestää noin neljä tuntia. Vastaavasti pienemmällä ilmanvaihtuvuudella tasapainottuminen kestää kauemmin ja suuremmalla vähemmän aikaa. Suuremmissa tiloissa, joissa ihmisten vaihtuvuus on suurta, on tarkkojen mittauksien suorittaminen vaikeampaa juuri olosuhteiden suuren vaihtuvuuden takia. /6/

#### 4.2.10 Hiilimonoksidin mittaus

Hiilimonoksidin määrän mittauksessa voidaan käyttää kaasuanalysointilaitetta tai suoraan osoittavaa ilmaisinputkea. Ilmaisinputkilla mitataan hiilimonoksidin hetkellinen määrä  $\pm 25\%$  tarkkuudella. Jos halutaan mitata hiilimonoksidipitoisuuksia pidemmällä aikavälillä, käytetään mittauksessa jatkuvasti toimivaa mittalaitetta. Nämä mittalaitteet tulee kalibroida säännöllisesti tarkkuuden säilyttämiseksi. /1/, /6/

#### 4.2.11 Formaldehydin mittaus

Formaldehydin määrää voidaan mitata kahdella eri tavalla: ns. passiivikeräimellä tai nestokromatografilla asetoninitriittiutuksesta. Mitattaessa tulee ottaa huomioon, että syksyllä ulkoilman kosteuden ollessa korkeimmillaan, voi mittaustulos olla moninkertainen verrattuna talviaikaan mitattuun tulokseen nähden. /1/, /4/

Passiivikeräimellä määritetään formaldehydin pitkän ajan keskiarvopitoisuus.

Tutkittaessa passiivikeräimellä, asetetaan keräin huoneistoon vuorokauden ajaksi ja

tutkitaan tämän jälkeen laboratoriossa. Passiivikeräin sijoitetaan niin, että vältetään mahdolliset häiriöt näytteenotossa. Keräin tulee olla sijoitettuna niin, etteivät esimerkiksi lamppujen ja patterien aiheuttamat suorat konvektiovirtaukset vaikuta siihen. /1/, /4/

Nestokromatografilla tutkittaessa kerätään näyte pumpulilla dinitrofenyylihydratsiinilla päällystettyyn silikageelipatruunaan. Näytettä kerätään 100 litraa, nopeudella 0,5 litraa minuutissa. Menetelmällä voidaan mitata myös muita aldehydejä formaldehydin lisäksi. Toteamisraja vaihtelee välillä 5-20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  100 litran näytteellä eri aldehydien mukaan. /1/

#### **4.2.12 Ammoniakin mittaus**

Ammoniakin määrää mitattaessa kerätään näyte kaasunkeräyspullon läpi laimeaan rikkihappoliuokseen. Näyte voidaan myös kerätä rikkihapolla käsiteltyä aktiivihiihtä tai silikageeliä sisältävään adsorbenttiputkeen. Normaalisti näytteenottoaika on 8 tuntia. Saatu näyte analysoidaan laboratoriossa ioniselektiivisellä tai spektrofotometrisellä menetelmällä. Havaitsemisraja ammoniakilla on 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . /1/, /6/

#### **4.2.13 Styreenin mittaus**

Styreenipitoisuuksia mitattaessa kerätään 100 - 200 litraa näytettä pumpun avulla aktiivihiihiputkeen. Näytteenotto kestää noin 24 tuntia ja keräysnopeus on 100 - 200 millilitraa minuutissa. Kerätty näyte uutetaan rikkihiileen ja analysoidaan kaasukromatografilla. 200 litran näytteestä toteamisraja on 0,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ilmaisimena käytetään liekki-ionisaatiodetektoria. /1/

Styreenipitoisuudet voidaan myös määrittää haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) määrittämisen yhteydessä käyttämällä Tenax-adsorbenttiä ja termodesorptiotekniikkaa. /1/

Myös suoraan osoittavia mittalaitteita on olemassa, mutta terveydensuojeluviranomaisen toimenpiteitä edellyttävä päätös tulee perustua aikaisemmin mainittuihin tutkimusmenetelmiin. /1/

#### 4.2.14 Radonin mittaus

Radonin määrää mitattaessa on käytettävä ns. integroivaa eli yhtäjaksoista mittausta. Mittauksen on kestettävä yhtäjaksoisesti vähintään 2 kuukautta. Tarkkaa vuosikeskiarvoa määritettäessä on käytettävä vuoden kestävästä yhtäjaksoista mittausta. Riittävän tarkka mittaus saadaan aikaan kahdella keräimellä, jotka sijoitetaan niin, että toinen on alimmassa kerroksessa huoneessa, jossa oleskellaan paljon ja toinen mahdollisessa ylemmässä kerroksessa. Mittareiden tuloksista lasketaan oleskeluajalla painotettuna keskiarvona radonpitoisuuden vuosikeskiarvo. Radonin kartoitusmittauksessa tai pienen asunnon ollessa kyseessä voidaan mittauksia suorittaa myös vain yhdellä keräimellä. /1/, /6/

Kahden kuukauden mittausta suoritettaessa on mittaukset tehtävä välillä 1.11 - 30.4, sillä ilman radonpitoisuus saattaa talviaikaan olla moninkertainen kesään verrattuna. Varsinkin harjualueilla pitoisuudet voivat talvella olla jopa kymmenkertaisia kesäaikaan verrattuna. Jos välillä 1.11 - 30.4 tehty mittaus ylittää yli 20 % ohjearvon, ylittää se myös sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen vuosikeskiarvon ohjearvon. Harjualueilla talviaikaan suoritettu mittaus on hyvä kuitenkin varmistaa kesäaikaan tehtävällä mittauksella, jotta voidaan olla varmoja vuosikeskiarvon enimmäismäärän ylittymisestä. Tarkimpaan tulokseen päästään käyttämällä koko vuoden kestävästä mittausta. /1/, /6/

Radonmittausta voidaan suorittaa myös jatkuvatoimisella mittarilla, mutta sen käyttöön liittyy niin paljon epävarmuustekijöitä kuten sääolot ja ilmanvaihdon toiminta, että sen tuloksista ei kannata tarkempia johtopäätöksiä vetää. Jatkuvatoimista mittaria voidaan käyttää kuitenkin apuna kartoituksissa ja sillä saadaan alustava arvio radonpitoisuuksista. Mittarilla voidaan myös arvioida radonkorjausten onnistumista, mutta nämä mittaukset on kuitenkin aina varmistettava myös integroivaa mittausta käyttäen. /1/, /6/

#### 4.2.15 Kuitujen mittaus

Määriteltäessä kokonaiskuitupitoisuutta sisäilmasta, kerätään näyte selluloosaesterisuodattimelle (huokoskoko 8,0 mikrometriä). Näytteen suositeltava koko on noin 1000 litraa ja keräysnopeus 10 litraa minuutissa. Kerätty näyte preparoidaan ja

näytteessä olevat kuidut lasketaan optisella vaihesiirtomikroskoopilla käyttämällä 500-kertaista suurennusta standardin SFS 3868 mukaan. Menetelmää käyttämällä voidaan selvittää kaikkien, tietyn kokoluokan vaatimukset täyttävien kuitujen pitoisuudet. /1/

Jos sisäilman kuitupitoisuus on yli 0,01 kuitua/cm<sup>3</sup>, tulee asbestikuitujen olemassaolo varmistaa tutkimalla vastaavanlaista 500 - 1000 litran näytettä polykarbonaattisuodattimelle kerättynä. Tätä näytettä tutkitaan laskemalla kuitujen määrä pyyhkäisyelektronimikroskoopilla käyttäen 3000-kertaista suurennusta. Kuidut tunnistetaan energiadiispersiivisellä spektrometrillä. Noin 500 litran näytteestä elektronimikroskooppia käytettäessä toteamisraja on 0,01 kuitua/cm<sup>3</sup>. /1/

Epäselvissä tapauksissa asbestisisältö määritetään suoraan mikroskopinnilla joko valomikroskoopilla tai elektronimikroskoopilla. Elektronimikroskoopilla voidaan myös tutkia sisätiloissa suoraan pinnoilta otetuista pölynäytteistä asbestikuitujen määrää. /1/

Mikroskoopilla asbestikuituja tutkittaessa laskettavien kuitujen enimmäispaksuus on 3 mikrometriä ja vähimmäispituus 5 mikrometriä sekä pituuden suhde paksuuteen vähintään 3. /1/

#### **4.2.16 Rakennekosteusmittaukset**

Rakennekosteusmittauksia voidaan tehdä rakenteen pinnalta pintakosteusindikaattorilla tai rakenteen sisältä porareikämittauksena. Rakennekosteusmittauksia tehdään kun halutaan selvittää rakenteen kostetilaa esimerkiksi kosteusvaurioepäilyjen takia tai kun tutkitaan valetun betonirakenteen kuivumista. Rakennekosteusmittauksia tehtäessä tulee mittauksia suorittaa myös paikasta, jossa tiedetään rakenteen olevan kuiva, jotta tuloksia voidaan verrata keskenään.

### **Pintakosteusmittaukset**

Pintakosteusindikaattorin toiminta perustuu sähkönjohtavuuteen, joka on kosteammassa rakenteessa korkeampi kuin kuivemmassa. Pintakosteusindikaattoria käytetään yleensä kartoitusluontoisesti, jonka jälkeen tehdään tarkempia rakennekosteusmittauksia paikoista, joissa on aiheutta epäillä korkeita kosteuspitoisuuksia.

Pintakosteusindikaattorien mittalukemat ovat laskennallista vertailuarvoa, ei suoraa kosteusprosenttia tai -määrää. Pintakosteusindikaattorien mittaussyvyys vaihtelee eri mittalaitteiden välillä. Useimmat laitteet toimivat mitta-alueella 20...40mm.

Pintakosteusindikaattorilla kosteutta mitattaessa tulee huomioida mitattava materiaali. Eri materiaaleille on mittalaitteissa erilaiset asteikot. Kosteutta esimerkiksi kylpyhuoneen lattialaatoituksesta mitattaessa tulee ottaa huomioon, että kosteus voi sijaita laatoituksen alla kiinnityslaastissa. Jos rakenteessa on toimiva vedeneristys, ei tästä aiheudu kuitenkaan kosteusvaurion riskiä.

Pintakosteusindikaattori reagoi myös teräkseen sen hyvän sähkönjohtavuuden johdosta. Tämä on huomioitava mittaustuloksia tarkastellessa. Esimerkiksi pinnassa olevat betoniteräkset tai vaikkapa valurautainen lattiakaivo aiheuttavat mittalaitteessa lukemien nousua. Aivan rakenteiden kulmista, esimerkiksi lattian ja seinän liittymäkohdasta ei kosteusmittauksia voida luotettavasti suorittaa, sillä tällöin mittalaitteen mitta-alueella on paljon enemmän mitattavaa ainetta kun tasaisella pinnalla johtuen mitta-anturin muodostamasta pyöreästä mitta-alueesta.

Pintakosteusindikaattorin mittaustulokset ovat yleensä vain suuntaa-antavia ja rakenteiden todellisen kosteustilan saamiseksi selville on suoritettava rakenteista tarkempia mittauksia. Pintakosteusindikaattorin mittaukset ovat helppo tapa etsiä mahdollisia ongelmakohtia, joihin mahdolliset tarkemmat mittaukset suoritetaan.

### **Porareikämittaukset**

Porareikämittauksilla saadaan selville esimerkiksi betonin suhteellinen kosteus. Porareikämittauksia tehtäessä tulee mittareikiä porata mieluummin liikaa kuin liian vähän. Mittareikiä kannattaa betonia mitattaessa porata eri syvyyksiin, jolloin voidaan materiaalin kuivumista tai kostumista seurata eri syvyyksiltä.



Porattavan reiän koon määrittelee mitta-anturin käyttämän holkin koko. Poraamisen jälkeen tulee reikä puhdistaa pölystä ja liasta. Reikään työnnetään mitta-anturin holkki, joka tiivistetään reiän ympärille joustavalla massalla. Myös holkin pää tiivistetään.

Mittareian tulee antaa tasaantua poraamisen jälkeen ennen mittauksien suorittamista. RT-kortin RT 14–10675 mukaan tulee mittaukset suorittaa aikaisintaan 3...7 vuorokauden kuluttua poraamisesta. Lyhyempi tasaantumisaika johtaa mittauksen tarkkuuden laskemiseen. Yleensä lyhyempi tasausaika antaa suurempia suhteellisen kosteuden arvoja. Myös reikään asetettava mitta-anturi tarvitsee oman tasaantumisaikansa. Joissain mittareissa mittalaite ilmoittaa kun anturi on tasaantunut tarpeeksi ja mittaustulos on luotettava. Mitta-anturi on myös tiivistettävä holkin tai putken päähän. /16/

Kuten kaikissa tarkkuutta vaativissa mittauksissa, tulee myös porareikämittauksia tehtäessä varmistua laitteiden toiminnasta ja ajantasaisesta kalibroinnista.

#### **4.2.17 Mikrobimittaukset**

Mikrobimittauksia tehtäessä valitaan tapauskohtaisesti sopivin näytteenottotapa ja näytemäärä. Erilaisia näytteenottotapoja ovat materiaalinäytteet, ilmanäytteet tai pintanäytteet. Näytteet otetaan tapauskohtaisesti paikoista, joissa epäilyjä mahdollisille mikrobikasvustoille on. Kaikissa mikrobinäytteenotoissa on näytteenottajan huolehdittava tarvittavista henkilökohtaisista suojaamista.

#### **Pintanäytteet**

Pintanäytteenotossa tulee käyttää suojakäsineitä ja tarvittaessa hengityssuojainta. Näyte otetaan tasopinnoilta 10 cm x 10 cm suuruiselta alueelta. Valmis oikean kokoinen mittakehys helpottaa näytteenottoa. Mittakehys tulee steriloida ja kuivata ennen jokaista näytteenottoa. /1/

Tutkittavaa pintaa sivellään steriilillä vanupuikolla. Sively tehdään kolme kertaa tasaisesti puikkoa pyörittäen. Sivelyn jälkeen katkaistaan vanupuikosta pois se pää, mistä on pidetty kiinni ja loppuosa pudotetaan koeputkeen, johon on valmiiksi laitettu laimennusliuos. Koeputkeen merkataan näytteen tunnus ja se suljetaan huolellisesti ja toimitetaan saman päivän aikana kylmälaukussa laboratorioon.

Näyteluetteloon kirjataan vähintään näytteen tunnus, paikka josta se on otettu, näytealueen pinta-ala, rakennuksen nimi, näytteenottaja ja silmämääräiset huomiot näytteenotto paikasta sekä pintakosteus. Myös valokuva näytteenotto paikasta selkeyttää tulosten käsittelyä jälkikäteen. /1/

Pintanäytteitä otettaessa vaurioituneesta kohdasta, on otettava myös vertailunäyte vastaavasta rakennetyypistä vaurioitumattomasta kohdasta. Vertailunäyte tulee ottaa riittävän kaukaa vaurioituneesta alueesta, josta pintanäyte on otettu. Vertailunäytteen näytteenotto paikka tulee kuitenkin olla samassa huoneistossa ja käyttötarkoitukseltaan samanlaisesta tilasta. Vertailunäyte otetaan ennen vaurioituneen kohdan näytettä kontaminaation estämiseksi.

### **Materiaalinäytteet**

Materiaalinäytteitä otetaan yleensä eristeistä, tapetin tai kipsilevyn pinnalta tai muista helposti irtoavista materiaaleista. Näytemäärä valitaan vaurion tai epäilyn laajuuden mukaan. Usein 2-5 näytettä on sopiva määrä. Kaikista eri materiaaleista, joissa vaurion epäillään olevan, otetaan vähintään yksi näyte. /1/

Materiaalinäytettä suositellaan otettavaksi 10 cm x 10 cm alueelta, tai materiaalin ollessa huokoista, kuten eriste, otetaan näytettä noin 3 - 10g. Materiaalinäyte otetaan materiaalin pintakerroksesta, koska useimmat mikrobit kasvavat materiaalien pinnoilla. Näytteenotossa on huomioitava, että näyte ei saa lämmetä yli 30 - 40 °C, joten poran käyttö ei tule monessa tapauksessa kysymykseen. /1/

Materiaalinäytteet laitetaan suljettavaan pussiin, johon kirjoitetaan näytteen tunnus. Näytteidenotto välineet tulee steriloida ennen jokaista näytteenottoa. Otetut materiaalinäytteet tulee toimittaa laboratorioon vuorokauden kuluessa. /1/

Näyteluetteloon kirjataan vähintään näytteen tunnus, paikka josta se on otettu, näytealueen pinta-ala, rakennuksen nimi, näytteenottaja ja silmämääräiset huomiot näytteenotto paikasta sekä pintakosteus. Myös valokuva näytteenotto paikasta selkeyttää tulosten käsittelyä jälkikäteen. /1/

## **Ilmanäytteet**

Suosittelavin tapa ilmanäytteiden ottamiseen on keräämällä ilmanäytteet impaktorilla. Tämä ohje soveltuu käytettäväksi kun ilmanäytteet kerätään Andersen 6-vaiheimpaktorilla.

Keräimen tilavuusvirta säädetään 28,3l/min ja käytetään 9 cm halkaisijaltaan olevia 25 ml agar-maljoja. Impaktorin osat puhdistetaan 70% etanolilla ja kuivataan aina ennen näytteenottoa. /1/

Suosittelava näytteenottoaika on 10 minuuttia. Näyte otetaan tarkasteltavan huoneen keskeltä noin 1 - 1,5 metrin korkeudelta. Näytteenoton aikana tulee yleensä pysytellä pois keräimen välittömästä läheisyydestä. Jokaisesta näytteenottopaikasta otetaan näytteet niin sieni- kuin bakteerien kasvualustoille. Näytteenoton jälkeen merkitään maljoihin niitä vastaava impaktorin vaihe. Saman näytteenottopaikan maljat kannattaa niiden käsittelyn helpottamiseksi teipata yhteen. /1/

Näytteenoton jälkeen toimitetaan maljat laboratorioon analysoitavaksi. Näytteen laadusta riippuu aika, jonka kuluessa näyte on toimitettava laboratorioon.

Näyteluetteloon kirjataan vähintään seuraavat asiat: näytteen numero, näytteenottaja, päivämäärä, kellonaika, näytteenottopaikka, vallitseva säätila ja mahdolliset merkittävät lisätiedot. /1/

## **Näytteiden analysointi**

Mikrobinäytteet tulee analysoida tai toimittaa analysoitavaksi laboratorioon, jonka laadunvarmistusjärjestelmä takaa näytteiden onnistuneen analysoinnin. Näytteitä analysoidaan esimerkiksi Työterveyslaitoksen laboratoriossa.

Näytteitä voidaan tutkia joko mikroskooppisilla tai kasvatuksellisilla laskentamenetelmillä. Mikroskooppisella laskentamenetelmällä voidaan tutkia kasvukyvyttömiä ja kasvukykyisten pesäkkeiden määrää, mutta mikrobilajien tunnistaminen on mikroskooppisesti vaikeaa. Kun mikrobinäytteitä tutkitaan kasvatukseen menetelmällä, on kasvusaika yleensä 7 - 14 vuorokautta riippuen näytteenottotavasta ja käytettävästä kasvatukseen menetelmästä.

Eri kasvatomenetelmät ja se, mitä tietoa näytteestä halutaan saada, vaikuttaa oikean kasvualustan valintaan. Esimerkiksi kosteusvauriotapauksissa suositeltava kasvualusta sienille on mallasuuteagar ja bakteereille tryptoni-hiivauute-glukoosiagar.

Yksityiskohtaisemmin tietoa mikrobinäytteiden analysoinnista löytyy Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeesta. /1/, /5/

Mikrobinäytteiden analysoinnin tulokset ilmoitetaan yksiköllä cfu (colony forming unit = pesäkkeen muodostava yksikkö = pmy). Sitä voidaan verrata joko näytteenottoaikan pinta-alaan (yksikkö esimerkiksi  $\text{cfu}/\text{cm}^2$ ), ilmanäytteen tilavuuteen ( $\text{cfu}/\text{m}^3$ ), tai materiaalinäytteen massaan ( $\text{cfu}/\text{g}$ ).

## 5 Case-tutkimus

Tämän työn liitteenä olevan case-tutkimuksen tarkoitus oli soveltaa työssä esiteltyjä tutkimusmenetelmiä.

Tutkimuksen kohteena oli 1½ kerroksinen omakotitalo Hämeenkyrössä, joka oli rakennettu osittain 40 luvulla ja laajennettu 1978.

Tutkimuksen tarve lähti asukkaiden oireilusta, joka viittaasi sisäilmaongelmaan. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää asunnon käyttäjien aistiman epämiellyttävän hajun alkuperä ja sen mahdollisesti aiheuttama terveyshaitta.

Riskirakenteiden kartoituksessa ongelmalliseksi rakenteeksi paljastui talon alapohja, joka oli rakennusfysikaalisesti erittäin riskialtis rakenne. Alapohjan eristetilan mikrobinäytteistä löydettiin heikko viite vauriosta. Todennäköisyys mikrobikasvuston muodostumiseen kyseisessä rakenteessa on kuitenkin suuri ja rakenne suositellaan korjattavan asianmukaiseksi.

## 6 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tekeminen on auttanut itseäni ymmärtämään, miten erilaisia ja monimutkaisia mekanismeja voivat erilaiset sisäilmaongelmat olla. Mikään ei ole välttämättä yksiselitteistä ja rakennukset ovat rakenteinensa ja järjestelminensä kokonaisuuksia, joissa eri asiat vaikuttavat toisiinsa.

Sisäilmaongelmien yhteydessä esiintyy usein ongelmien vähättelyä ja jopa oireilevan ihmisen syylistämistä turhaksi valittajaksi. Ongelmat on kuitenkin syytä ottaa vakavasti, sillä ne vaikuttavat ihmisten terveyteen. Huonosta sisäilmasta koitunutta terveyshaittaa voi joutua kärsimään jopa koko loppuelämän.

Sisäilmaongelmia selvitettäessä on tärkeää löytää itse ongelmat lisäksi myös sen aiheuttaja, jotta se voidaan poistaa niin, ettei ongelma synny ajan myötä uudestaan. Tämän vuoksi ongelmatapaukset tulee selvittää kerralla perinpohjaisesti, eikä tyytyä pelkästään ongelman laukaisijan löytämiseen ja eliminoimiseen.

## Lähteet

### Painetut lähteet

- /1/ Sosiaali ja terveysministeriö 2008. Asumisterveysopas.
- /2/ Sosiaali ja terveysministeriö 2003. Asumisterveysohje.
- /4/ Virta, Jari 2003. Terveellinen sisäilmasto.
- /6/ Ruotsalainen, Palonen, Jokiranta, Seppänen 1997. Sisäilmaston kuntotutkimus. Suomen LVI-yhdistysten Liitto ry, julkaisu 4.
- /8/ Seuri, Palomäki 2000. Haasteellinen sisäilma
- /9/ Pirinen, Juhani 2006. Pientalon mikrobivauriot lähtökohtana asukkaiden kokemat terveyshaitat. /9/
- /10/ Leivo, Virpi 1998. Opas kosteusongelmiin. /10/
- /11/ Rantanen, J., Laaksonen, J. & Auvinen, A. 1998. Radonin terveysvaikutukset, Kemiallisten aineiden arviointineuvosto (KATA). Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriön monisteita 36. /11/
- /12/ Ympäristöministeriön tiedote 2003. Puunsuoja-aineena käytettävälle kreosotille rajoituksia - vain ammatti- ja teollinen käyttö sallittu 1.7.2003 lukien
- /13/ Metiäinen Pertti 2000. Oirekyselyt asuntojen PVC-muovimatoilla päällystettyjen betonilattioiden sisäilmahaittojen ratkaisijana.
- /15/ Hekkanen, Hienonen, Ilmarinen, Kilpeläinen, Klemettilä, Mäkikyrö, Riippa, Seppälä, Tulla 2006. VTT Tiedotteita 2354, Pientalon ekomittarit.
- /16/ RT 14-10675 Betonin suhteellisen kosteuden mittausta. Rakennustieto Oy.
- /17/ Sisäilmayhdistys 2008. Sisäilmaluokitus 2008.

### Sähköiset lähteet

- /3/ Hengitysliitto Heli ry - Muut sisäilmaongelmat [www-sivu]  
<http://hengitysliitto.fi/Home/MuutSisailmaongelmat/>
- /5/ Sisäilmayhdistys ry - Terveelliset tilat [www-sivu]  
[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/)
- /7/ Säteilyturvakeskus - Radon [www-sivu]  
[http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateily\\_ymparistossa/radon/](http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateily_ymparistossa/radon/)
- /14/ Työterveyslaitos - Työympäristö, sisäilma ja sisäympäristö [www-sivu]  
[http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma\\_ja\\_sisaymparisto/sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sivut/default.aspx)

# Sisäilmatutkimusraportti

**Toni Lammi**

**Tampereen ammattikorkeakoulu**

**13.5.2010**





**SISÄLLYSLUETTELO:**

SISÄLLYSLUETTELO: .....	2
YLEISTIEDOT .....	3
Yleistä.....	3
Kiinteistön yleistiedot .....	3
Lähtötiedot.....	3
Tutkimuksen tarkoitus .....	3
Havaitut terveysoireet .....	3
Tutkimus- ja korjaushistoria.....	4
Tutkijat .....	4
TUTKIMUSTULOKSET .....	5
Riskirakenteiden kartoitus .....	5
Pintakosteusmittaukset .....	6
Materiaalinäytteet.....	7
Materiaalinäytteiden analyysi.....	7
Ilmanvaihto .....	8
Ilmavuodot .....	8
TOIMENPIDE-EHDOTUS .....	9

## YLEISTIEDOT

### Yleistä

Tämä tutkimus on tehty osana insinööriyötä *Sisäilmaongelmien tutkimusmenetelmät*. Tutkimusraportti julkaistaan työn liitteenä. Tutkittavan rakennuksen omistajan toivomuksesta kohteen tarkkoja tunnistetietoja ei tässä yhteydessä julkaista.

### Kiinteistön yleistiedot

Tutkimuksen kohde on 1½ kerroksinen omakotitalo Hämeenkyrössä. Kohde on rakennettu osittain 40 luvulla ja laajennettu 1978. Rakennuksen peruskorjaus on parhaillaan käynnissä. Asuinpinta-alaa rakennuksessa on noin 110m<sup>2</sup>. Rakennuksessa on tuulettuva ryömintätilallinen alapohja sekä osittain maanalainen kellari. Maaperä alueella on tyypillisesti moreeniharjua. Rakennuksen ympärillä on maaperä savipitoista. Ilmavaihto on painovoimainen tehostettuna liesituulettimella ja yläkerran wc:n kanavapuhaltimella sekä yläkerran makuuhuoneiden korvausilmaventtiileillä.

### Lähtötiedot

Käytettävissä tutkimuksessa oli seuraavat lähtötiedot:

- Rakennepiirustuksia vuosilta 1978 ja 2003
- Terveystarkastajan asunnontarkastuspöytäkirja 2003
- Asunnon haltijoiden suullisesti antamat tiedot

### Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksen tarve on lähtenyt asukkaiden oireilusta, joka viittaa sisäilmaongelmaan. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää asunnon käyttäjien aistiman epämiellyttävän hajun alkuperä ja sen mahdollisesti aiheuttama terveyshaitta.

### Havaitut terveysoireet

Rakennuksessa asuvassa perheessä on koettu seuraavia terveysoireita:

Nuoremmalla lapsella on ollut kurkkukipua viimeisten kuukausien ajan lähinnä iltaisin ja aamuisin. Vanhemmalla lapsella on ollut hengitystieoireita, lähinnä yöskää talvesta lähtien, oireet pahentuneet merkittävästi loppukesästä 2009. Vanhemmista toisilla ollut krooninen poskiontelon tulehdus, joka loppunut yläkerran remontoinnin jälkeen 2003. Toisella vanhemmista on esiintynyt jatkuvaa nenän tukkoisuutta.

## Tutkimus- ja korjaushistoria

Rakennuksen alkuperäinen rakennusvuosi on 1940, laajennusosa on tehty 1978 ja rakennusta on peruskorjattu 2000-luvulla. Peruskorjaus jatkuu edelleen.

Yläkerrassa on vuonna 2007 etelän puoleisen piipun huonosta pellityksestä johtuen ollut vesivuoto, joka on korjattu. Vuonna 2009 vuotaneen pohjoisen puoleisen piipun vesivuoto on kuivattu tuulettamalla ja rakenteita avaamalla.

Rakennuksessa on suoritettu asunnon tarkastus Hämeenkyrön kunnan terveystarkastajan toimesta vuonna 2003. Tarkastuksessa mitattiin pesuhuoneen seinän ja lattian kosteutta pintakosteusmittarilla sekä tehtiin sisäilman mikrobimittaukset yläkerran makuuhuoneesta ja alakerran ruokailuhuoneesta.

Pintakosteusmittauksissa pinnoissa ei havaittu normaalista poikkeavaa kosteutta. Tarkastuspöytäkirjassa todetaan myös, että raja-arvot ylittäviä sieni-itiöpitoisuuksia tai aktinomykeettipitoisuuksia ei havaittu.

Toinen vanhemmista oli sairastanut kroonista poskiontelontulehdusta, joka loppui vuonna 2003 kun yläkerran nykyisen vierashuoneen kohdalta purettiin vaurioituneet purueristeet, joissa oli asukkaiden mukaan aistittavissa selvää homeen hajua.

## Tutkijat

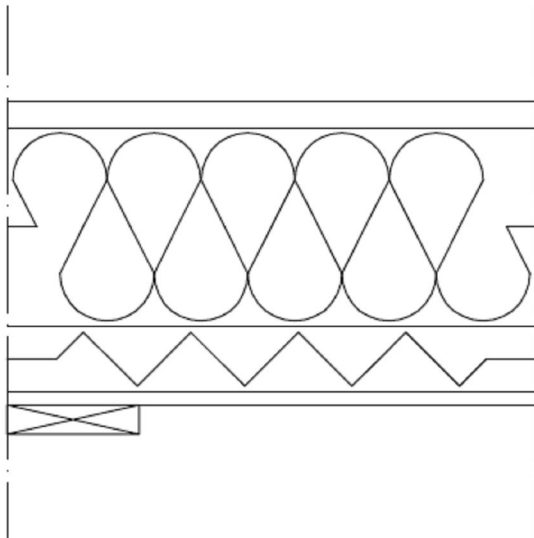
Kenttätöyt tehtiin 19.3.2010 tekijöinä Hengitysliitto Heli ry:n korjausneuvoja Jussi Karjalainen sekä rakennusinsinööriopiskelija Toni Lammi Tampereen ammattikorkeakoulusta. Paikalla olivat tarkastuksen aikana myös kiinteistön omistajat.

Tämän raportin on kirjoittanut Toni Lammi.

## TUTKIMUSTULOKSET

### Riskirakenteiden kartoitus

Kohteessa tarkastettiin mahdolliset riskirakenteet, joiden perusteella kohdistettiin paikat, joista materiaalinäytteet otettiin. Tarkastuksessa selkeäksi riskirakenteeksi paljastui ryömintätalallinen alapohja, jonka rakenne oli seuraavanlainen:



Rakenne ylhäältä alas:

Lattiapäällyste  
Lasivilla  
EPS  
Kovalevy  
Muovi  
Laudoitus

Tässä rakenteessa on erittäin suuri vaara kosteuden tiivistymisestä rakenteen tiiviiseen alareunaan. Alakerran lattian pintarakenteiden alla ei havaittu varsinaista ilmansulkua, joten ilmavuodot alapohjan eristetilasta sisäilmaan ovat mahdollisia.



Kuva 1: Alapohja ryömintätalasta kuvattuna

Silmämääräisesti arvioiden ryömintätilan tuulettuvuusvaatimus (tuuletusaukkojen pinta-ala 4 promillea ryömintätilan pinta-alasta, RakMK C2) täyttyy. Ryömintätilassa oleva maa-aines on hienoa kapillaarista hiekkaa.



**Kuva 2: Kellarin seinät olivat kosteat**

Kellarin betonirakenteita ei ollut tiettävästi ulkopuolelta mitenkään kosteussuojattu ja kosteuden pääseminen kellarin rakenteisiin oli todennäköistä. Kellarissa ei ollut orgaanisista aineista tehtyjä rakenteita. Kellarissa säilytettiin juureksia puisissa varastohyllyissä. Kellarissa oli ilmanvaihtoputki, joka oli johdettu suoraan ulkoilmaan, mutta oli tarkastushetkellä peitetty polystyreenieristeen kappaleella. Kellarin kosteus- ja lämpötilaolosuhteet mahdollistavat tiettyjen mikrobikasvustojen muodostumisen riskin kellarin

pintarakenteille. Kellariin johtavan luukun sekä muiden mahdollisten epätiiveyskohtien kautta on mikrobien ja niiden aineenvaihduntatuotteiden kulkeutuminen myös sisäilmaan mahdollista.

Kellarissa ei aistittu homeenomaista tai maakellarimaista hajua, lievää tunkkaisuuteen viittaavaa hajua oli havaittavissa.

## **Pintakosteusmittaukset**

Rakennuksesta mitattiin pintakosteuksia pintakosteusindikaattoria GANN Hydromette RTU 600 + pinta-anturia B50 käyttäen. Pintakosteuksia tarkasteltiin kellarista sekä alakerran pesuhuoneesta.

Kellarin maanvastaisista seinistä ja lattiasta havaittiin yleisesti kosteita ja märkiä arvoja. Lisäksi betonirakenteista oli havaittavissa kalkkihärmää.

Alakerran pesuhuoneesta pintakosteuksia tarkasteltiin erityisesti suihkunurkkauksesta sekä lattiakaivon ympäristöstä. Muualta pesuhuoneesta rakenteita tarkasteltiin otantaluonteisesti. Kohonneita pintakosteuslukemia ei havaittu. Muutamia haljenneita seinälaattoja oli ajan kuluessa paikattu silikonilla. Märkätilan iän perusteella rakenteet alkavat kuitenkin olla teknisen käyttöikänsä päässä ja niitä suositellaan uusittavaksi.

## Materiaalinäytteet

Materiaalinäytteitä mikrobiviljelyä varten otettiin 5 kappaletta:

1. Ruokailutilan lattia kaapin kohdalta
2. Olohuoneen lattian ulkonurkka
3. Keittiön lattia ikkunan kohdalta
4. Olohuoneen ulkoseinän ilmasulkupaperi ulkonurkan kohdalta
5. Yläkerran varastotila hormin vierestä



**Kuva 3: Näytteenottoaikan 2 reiät paikattu tilapäisesti teipillä, seinällä näytteenottoaikka 4.**

Materiaalinäytteitä varten porattiin lattiapinnoitteeseen reikä, josta kerättiin näytteet näytteenottopusseihin. Näytteiden 1-3 materiaali oli lasivillaa, joukossa joitain polystyreenimuovieristeen kappaleita, näyte 4 rakennuspaperia alakerran seinästä ja näyte 5 kutterilastua välipohjasta. Eristetilan näytteet otettiin noin eristetilan puolivälistä.

### Materiaalinäytteiden analyysi

Materiaalinäytteiden mikrobianalyysit suoritettiin Työterveyslaitoksen laboratoriossa Kuopiossa.

Materiaalinäytteiden perusteella löytyi yhdestä alapohjan ja yhdestä välipohjan näytteestä heikko viite vauriosta. Muissa näytteissä ei havaittu viitteitä vaurioista.

Analyyseraporttia ei tässä yhteydessä julkaista.

## Ilmanvaihto

Rakennuksessa oli painovoimainen ilmanvaihto, jota oli tehostettu liesikuvulla ja yläkerran pesuhuoneen kanavapuhaltimella sekä rakennuksen päissä sijaitsevien makuuhuoneiden korvausilmaventtiileillä.

Aistinvaraisesti arvioiden ilmanvaihto vaikutti tarkastushetkellä riittämättömältä. Varsinkin yläkerrassa ilma tuntui tunkkaiselta. Korvausilmaventtiilien ilmavirtojen suunta testattiin merkkisavulla ja todettiin toisen toimivan korvausilmareittinä ja toisen poistoilmavirran reittinä. Tämä johtuu todennäköisesti tuulenpaineen vaikutuksesta ja siitä, ettei yläkerran kylpyhuoneen kanavapuhaltimen teho riitä koko yläkerran ilmavaihdon hoitamiseen.

Rakennuksessa suoritettiin asukkaan toimesta 23.3 hiilidioksidipitoisuuksien mittaus. Mittaus suoritettiin klo 9 aamulla TSI Q-Trak 8551 sisäilmamittarilla. Korkeimmat hiilidioksidipitoisuudet mitattiin makuuhuoneesta (1060 ppm), joka alittaa sisäilmaluokituksen S3 asettaman enimmäisarvon 1200 ppm. Mittauspöytäkirja on rakennuksen omistajan hallussa.

Vaikka hiilidioksidin määrä mittausajankohtana ja vallitsevissa olosuhteissa alittaa sisäilmaluokituksen S3 – tyydyttävän sisäilmaston enimmäisarjan, on ilmanvaihdon tehostaminen suositeltavaa.

## Ilmavuodot

Muiden tutkimusten yhteydessä myös rakenteiden mahdollisia ilmavuotoja tutkittiin suuntaa-antavasti otantatutkimuksena lämpökameralla Fluke TIRx. Alapohjan ilmavuodot ovat tässä yhteydessä merkittävimmässä asemassa, koska alapohjarakenne on todettu riskirakenteeksi, jossa mikrobikasvuston muodostuminen on mahdollista.

Alakerrasta merkittävimmät ilmavuodot löytyivät kuistin vierestä alapohjan ja ulkoseinärakenteen liittymän kohdalta. Lattialta mitattiin alimmillaan noin +7°C:n lämpötiloja ulkoilman ollessa +2°C. Ilmavuotoja ei tutkittu merkkisavuilla vaan ainoastaan lämpökameran antamia pintalämpötiloja tulkitsemalla. Rakennuksen painesuhteita ei myöskään mitattu.

Myös kellarin oven pintalämpötilat osoittivat mahdollista ilmavuotoa olevan kellarista ensimmäisen kerroksen asuintilaan.

Muualta alakerrasta tai yläkerrasta poikkeavia pintalämpötiloja ei otantatutkimuksena havaittu.

## TOIMENPIDE-EHDOTUS

Koska alapohjan lattiarakenteet olivat muutenkin suunnitteilla remontoida, tulee alapohjan rakenne samassa yhteydessä korjata asianmukaiseksi. Tässä yhteydessä kun rakenteet ovat auki, nähdään niiden todellinen kunto paremmin. Puukannattajien kunto ja kantavuus tulee myös varmistaa ennen lattian pintarakenteiden asentamista. Mahdollisesti vaurioituneet eristeet tulee hävittää ja desifiointikäsittelyn tarve määrittää rakenteiden ollessa auki.

Alapohjarakennetta korjattaessa kiinnitetään rakenteiden ilmatiiveyteen erityistä huomiota ilmavuotojen estämiseksi sisäilmaan.

Ryömintätilan korkeutta lisätään mahdollisuuksien mukaan 80 cm:iin kaivamalla täyttömateriaalia pois talon alta. Kapillaarisen aineksen päälle asennetaan suodatinkangas, jonka päälle lämmöneristeeksi 200-300 millimetriä puhdasta kevytsoraa.