

# SISÄILMA- JA KOSTEUSTEKNISEN KUNTOTUTKIMUKSEN TOIMINTATAPAOHJE

Vahanen Oy

Simo Kinnunen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014

Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Kinnunen, Simo	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 20.05.2014
	Sivumäärä 82	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkajulkaisulupa myönnetty ( x )
Työn nimi Sisäilma- ja kosteusteknisen kuntotutkimuksen toimintatapaohje		
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Korpinen, Jussi		
Toimeksiantaja(t) Vahanan Oy / Kollanen, Tuomo; Laine, Katariina		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä on käsitelty sisäilman haittatekijöitä ja rakennekohtaisesti tärkeimpiä sisäilma- ja kosteusteknisessä kuntotutkimuksessa havainnottavia asioita. Lisäksi työssä on vertailtu Vahanan Oy:n kuntotutkimusraporttien perusteella käytettyjä tutkimusmenetelmiä sekä raportointia. Opinnäytetyö antaa perustan yleisimpien sisäilmaongelmien osatekijöiden ymmärtämiseen sekä kokonaiskuvan muodostamiseen.</p> <p>Opinnäytetyön tilaajana toimi Vahanan Oy. Yritys tarjoaa muun muassa sisäilma- ja kosteusteknisiä asiantuntijapalveluita, kuten kuntotutkimuksia ja korjaussuunnittelua.</p> <p>Työn aihe syntyi opiskelijan kiinnostuksesta sisäilmaongelmia kohtaan sekä tilaajan tarpeesta yrityksen sisäisiä toimintatapoja yhdistävälle sisäilma- ja kosteusteknisen kuntotutkimuksen toimintatapaohjeelle. Toimintatapaohjeen tarkoituksena on yhtenäistää tutkimusmenetelmiä ja raportointia kaikissa yrityksen asiantuntijapalveluita tuottavissa alueyksiköissä. Tämän avulla pystytään korostamaan Vahasen sisäilma- ja kosteusteknisten kuntotutkimusten erityispiirteitä eriyttämällä se muista tutkimuspalveluista enemmän omaksi tuotteeksi, jolle tavoitellaan kansallista tunnettavuutta. Lisäksi tavoitteena on kuntotutkimuksen kokonaiskuvan muodostaminen onnistuneen projektin takaamiseksi.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Sisäilmaongelma, kuntotutkimus, kosteustekninen kuntotutkimus, kosteusvaurio		
Muut tiedot Opinnäytetyöstä osa on toteutettu tilaajan toiveesta luottamuksellisesti.		



Author(s) Kinnunen, Simo	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 20.05.2014
	Pages 82	Language Finnish
		Permission for web publication ( x )
Title Process procedure for indoor air and moisture technology condition survey		
Degree Programme Civil engineering		
Tutor(s) Korpinen, Jussi		
Assigned by Vahanen Oy / Kollanen, Tuomo; Laine, Katariina		
Abstract <p>The aim of this thesis was to process indoor air adverse factors and main structure-specific perceptible subjects in indoor air and moisture technology condition survey. Vahanen Oy's reporting and used survey procedures from condition survey reports are also compared in the thesis. This thesis gives a base for understanding the components and helps to create an overall picture of usual indoor air problems.</p> <p>The subscriber of this thesis is Vahanen Oy. The company offers among other things indoor air and moisture technology specialist services including condition surveys and renovation planning.</p> <p>The subject of this thesis came up from the writer's interest towards to indoor air problems and from the assigning company's need for a process procedure for indoor air and moisture technology condition survey. The target of process procedure is to standardize survey procedures and reporting in all of Vahanen Oy's agencies offering specialist services. With this standardization Vahanen Oy is able to emphasize the special features of condition survey on indoor air and moisture technology by individualizing it as being their own product aiming at national recognition. An additional target of this thesis was to enable successful projects by forming an overall picture off condition surveys.</p>		
Keywords Indoor air problem, condition survey, moisture technology condition survey, water damage		
Miscellaneous Part of the bachelor's thesis has been made in confidence by wish of subscriber.		

# SISÄLTÖ

<b>KESKEISET KÄSITTEET .....</b>	<b>4</b>
<b>1 TYÖN TOTEUTUS.....</b>	<b>6</b>
1.1 Lähtökohdat.....	6
1.2 Vahananen Oy.....	7
1.3 Tavoite .....	7
1.4 Lähteet.....	7
1.5 Rajaukset .....	8
<b>2 SISÄILMAN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....</b>	<b>9</b>
2.1 Yleistä .....	9
2.2 Rakenteiden ja ilmanvaihdon toimimattomuus.....	9
2.3 Sisäilman mikrobiologiset ja kemialliset epäpuhtaudet.....	10
2.3.1 Ammoniakki.....	10
2.3.2 Formaldehydit .....	11
2.3.3 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC).....	12
2.3.4 Hiilidioksidi .....	14
2.3.5 Lyijy .....	14
2.3.6 Mikrobit.....	15
2.3.7 PAH-yhdisteet .....	17
2.3.8 PCB-yhdisteet .....	18
2.3.9 Styreeni .....	19
2.4 Sisäilman fysikaaliset ominaisuudet, hiukkaset ja kuidut .....	19
2.4.1 Asbesti .....	19
2.4.2 Lämpötila ja kosteuspitoisuus .....	20
2.4.3 Melu .....	21
2.4.4 Mineraalikuidut .....	22
2.4.5 Radon .....	23
2.4.6 Sisäilman hiukkasmaiset epäpuhtaudet.....	24
<b>3 SISÄILMA- JA KOSTEUSTEKNISEN KUNTOTUTKIMUSPROJEKTIN ALOITUS.....</b>	<b>26</b>
3.1 Lähtötietojen selvittäminen ja katselmuskäynti kohteessa.....	26
3.2 Käyttäjä- ja oirekyselyt .....	26

3.3 Tutkimussuunnitelman laatiminen .....	27
4 POHDINTA.....	28
LÄHDELUETTELO .....	29

## TAULUKOT

Taulukko 1. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kiehumispisteet.....	13
Taulukko 2. Ulko- ja sisäilmassa yleisesti esiintyviä sienisukuja ja ryhmiä.....	17
Taulukko 3. Melutasojen ohjearvot.....	22

## KESKEISET KÄSITTEET

### **Haihtuvat orgaaniset yhdisteet**

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC-yhdisteet (Volatile Organic Compounds) ovat huoneenlämpötilassa kaasumaisessa olomuodossa esiintyviä kemiallisia yhdisteitä. Yksittäisten VOC-yhdisteiden muodostamaa kokonaismäärää kuvataan lyhenteellä TVOC (Total Volatile Organic Compounds).

### **Haitta-aine**

Haitta-aineilla tarkoitetaan materiaalissa olevia tai siitä poistuvia orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä, jotka tiettyinä pitoisuuksina aiheuttavat terveys- tai ympäristöriskin.

### **Kapillaarivirtaus**

Huokosalipaineen erojen aiheuttama nesteen kulkeutuminen huokoisessa aineessa.

### **Kosteusvaurio**

Kosteuden aiheuttama materiaalin tai rakenteen kosteudensietokyvyn ylittyminen ja vaurioituminen.

### **Mikrobiologiset epäpuhtaudet**

Mikrobit ovat pieneliöitä, joita ei voi havaita paljain silmin. Mikrobeiksi luetaan bakteerit, virukset, homeet, hiivat, alkueläimet, heismadot ja sukkulamadot.

Mikrobiologisia epäpuhtauksia ovat mikrobien lisäksi itiöt, rihmaston osaset sekä mikrobien kasvun tuottamat aineenvaihduntayhdisteet.

### **Mikrobivaurio**

Mikrobien haitallinen esiintyminen rakennuksessa ja rakenteissa. Kosteusvaurion tai pitkäaikaisen kosteusrasituksen aiheuttama vauriotila.

**Sisäilma- ja kosteustekninen kuntotutkimus**

Rakennuksen rakennusosien kunnan tutkiminen, vaurioiden syyn ja laajuuden sekä korjaustarpeen määrittäminen. Tarvittaessa käytetään rakennetta rikkovia menetelmiä. Tavoitteena on hankkia tarvittavat tiedot johtopäätösten ja toimenpide-ehdotusten tekemiseksi sekä onnistuneen korjaussuunnittelun mahdollistamiseksi.

**Suhteellinen kosteus**

Ilmassa tai materiaalin huokosissa olevan kosteuden määrä suhteessa kyllästymiskosteuspitoisuuteen tietyssä lämpötilassa.

**Tiivistyskorjaus**

Korjausmenetelmä, jonka ensisijaisena tavoitteena on estää hallitsemattomat ilmavirtaukset rakenteista ja niiden mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien pääsy huonetilaan. Tiivistyskorjauksissa tehdään toimenpiteitä pääasiassa vaipparakenteiden (alapohja-, ulkoseinä- ja yläpohjarakenteet) sisäkuoren riittävän ilmatiiveyden varmistamiseksi.

**Terveyshaitta**

Terveydelle haitalliselle tekijälle tai olosuhteelle altistuminen siten, että se aiheuttaa sairautta, sairauden oireita tai niiden ilmeneminen on mahdollista. Terveyshaitan olemassaolon määrittelee terveysviranomainen.

**Vesihöyryn diffuusio**

Ilmiö, jossa kaasumolekyylit pyrkivät tasoittamaan höyrypitoisuus- tai höyryn osapaine-eroja siirtymällä väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan pitoisuuteen.



# 1 TYÖN TOTEUTUS

## 1.1 Lähtökohdat

Sisäilma- ja kosteusteknisen kuntotutkimuksen tarve voi syntyä käyttäjän oireilun seurauksena, kun oireilun syyksi epäillään rakennuksen rakenteellisia tai teknillisiä puutteita. Sisäilma- ja kosteusteknisiä kuntotutkimuksia tehdään myös peruskorjauksessa tarvittavien lähtötietojen selvittämiseksi. Kuntotutkimuksen tavoitteena on selvittää rakennuksen todellinen kunto ja mahdollisten rakenteita vaurioittavien turmeltumisilmiöiden esiintyminen, vaurioaste, laajuus, eteneminen, vaikutukset ja syyt sekä esittää johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset.

Erilaiset sisäilmaongelmat ovat nykyisin melko yleisiä. Sisäilman laatu vaikuttaa ihmisen terveyteen, viihtyvyyteen ja tuottavuuteen. Oireilu on melko yksilöllistä ja toiset reagoivat herkemmin ja voimakkaammin sisäilman epäpuhtauksiin kuin toiset. Sisäilmaongelmien syyt voivat johtua monista eri tekijöistä tai niiden yhteisvaikutuksesta, kuten kosteus- ja mikrobivaurioista, kemiallisista päästöistä, ilmanvaihdon puutteellisuudesta, erilaisista pölyistä tai tilojen ja laitteiden virheellisestä käytöstä ja huollosta. Sisäilmaongelmien yksiselitteisen syyn selvittäminen onkin usein lähes mahdotonta.

Yrityksen käyttämät yhtenäiset toimintamallit luovat perustan luotettavalle ja laadukkaalle kuntotutkimukselle. Kuntotutkimuksissa tehtävät mittaukset ja otettavat näytteet edustavat aina tietynlaajuista otantaa, joiden perusteella tehdään johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset sisäilmaongelmien poistamiseksi. Siksi onkin ensiarvoisen tärkeää hahmottaa ongelmat usean osa-alueen muodostamana kokonaisuutena. Riittämättömien tutkimusten ja yksittäisten mittaustulosten perusteella kokonaiskuvaa tarkastelematta tehdyt korjaustoimenpiteet voivat pahimmillaan aiheuttaa rakenteellisia vaurioita, pahentaa oireita ja aiheuttaa taloudellisia menetyksiä. Ehjän kokonaisuuden ja laadukkaan tutkimuksen pohjalta pystytään suunnittelemaan ja toteuttamaan kaikki tarvittavat korjaukset kerralla onnistuneesti ja siten antamaan käyttäjille turvallinen ja terveellinen sisäympäristö.

## 1.2 Vahanen Oy

Opinnäytetyön tilaajana toiminut Vahanen Oy on entinen Insinööritoimisto Mikko Vahanen Oy, joka perustettiin jo vuonna 1955. Nykyisin Vahanen Oy on usean sadan työntekijän monialayritys ja on Vahanen -konsernin suurin yksittäinen yritys.

Yrityksen tuottamia palveluita ovat rakenne-, arkkitehti- ja talotekniikkasuunnittelu, taloyhtiö-, ympäristö- ja erikoisasiantuntijapalvelut, kansainväliset palvelut sekä kiinteistöjohtaminen. Lisäksi yritys on vahvasti mukana tutkimus- ja kehitystyössä.

Vahanen Oy:n pääkonttori sijaitsee Espoossa. Sisäilma- ja kosteusteknisiä asiantuntijapalveluita tarjoavat Espoon lisäksi Hämeenlinnan, Jyväskylän, Lappeenrannan, Tampereen sekä Turun aluetoimistot.

## 1.3 Tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli yhtenäistää tutkimusmenetelmiä ja raportointia kaikissa Vahanen Oy:n sisäilma- ja kosteusteknisiä asiantuntijapalveluita tuottavissa alueyksiköissä. Toimintatapaohjeen tavoitteena on toiminnan, asiantuntijoiden ja eri alueyksiköiden välisen yhteistyön kehittäminen, hyvien käytäntöjen leviäminen sekä toiminnan laadun parantaminen.

## 1.4 Lähteet

Opinnäytetyön lähteinä on käytetty alan kirjallisuutta, Vahanen Oy:n tekemiä kuntotutkimusraportteja sekä Vahanen Oy:n sisäilma-asiantuntijoiden kanssa käytyjä keskusteluja. Lisäksi lähteenä on käytetty opinnäytetyön kirjoittajan kokemuksen ja koulutuksen kautta saatuja tietoja.

## **1.5 Rajaukset**

Opinnäytetyön toimintatapaohje on tarkoitettu laajan sisäilma- ja kosteusteknisen kuntotutkimuksen toimintatapa- ja raportointiohjeeksi. Ohjetta voidaan soveltaa käytettäväksi myös suppeamman kuntotutkimuksen ohjeena. Työ on toteutettu yleisellä tasolla ilman niin sanottua case -kohdetta. Opinnäytetyön tutkimusosuus sekä toimintatapaohje on toteutettu tilaajan pyynnöstä luottamuksellisena.

## 2 SISÄILMAN LAATUUN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

### 2.1 Yleistä

Sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat fysikaaliset tekijät, kemialliset tekijät, hiukkaset, kuidut, ilmanvaihtojärjestelmä, säteily sekä rakennuksen rakenteet. Koettuun sisäilman laatuun vaikuttavat myös psykologiset tekijät ja valaistus, joita ei käsitellä tässä työssä.

Sisäilmaongelmat johtuvat usein monen häirtatekijän yhteisvaikutuksesta. Ongelmat voivat johtua muun muassa kosteusvaurioituneiden rakenteiden mikrobivaurioista, materiaalipäästöistä, puutteellisesta ilmanvaihdosta tai hengitysilmassa olevista kuiduista ja pölystä. Sisäilman häirtatekijöiden aiheuttama oireilu voi olla hyvinkin yksilöllistä ja siksi oireilua on vaikea kohdentaa johonkin tiettyyn häirtatekijään tai pitoisuuteen. Oireilua syntyy, kun ihmiselle häirtalliset kaasumaiset tai pienhiukkaset kulkeutuvat sisäilman mukana hengitysteihin. Oireilun liittyminen sisäilmanlaatuun on todennäköistä, mikäli oireet lievittyvät tai häviävät, kun rakennuksesta ollaan poissa ja alkavat taas, kun rakennukseen palataan. (Asumisterveysohje 2003, 75.)

### 2.2 Rakenteiden ja ilmanvaihdon toimimattomuus

Rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toimivuus sekä ulkovaipan sisäkuoren ilmanpitävyys ovat rakennuksen sisäilmanlaatuun olennaisesti vaikuttavia tekijöitä. Kosteustekninen toimimattomuus lisää rakenteille kohdistuvaa kosteusrasitusta ja altistaa kosteutta kestäättömät ja helposti vaurioituvat materiaalit alttiiksi kosteusvaurioille. Kosteusvaurioituneista rakenteista voi esimerkiksi kulkeutua ilmavirtojen mukana ulkovaipan sisäkuoren epätiiviyiskohtien kautta sisäilmaan mikrobiologisia epäpuhtauksia tai rakenteiden pinnoilta voi emittoitua sisäilmaan kemiallisia epäpuhtauksia.

Rakenteiden toimimattomuus voi johtua suunnittelu- tai toteutusvirheistä, ikääntyneistä materiaaleista, käytön, huollon ja kunnossapidon puutteista tai rakennuksen tai tilan käyttötarkoituksen muutoksista. Rakennuksen iän ja tehtyjen korjaus- ja kunnossapitotoimenpiteiden perusteella voidaan arvioida kunkin aikakauden tyypillisiä ongelmakohtia ja pohtia sisäilmaongelmiin johtaneita syitä. (Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus 1997, 67.)

Ilmanvaihdon tarkoituksena on tuoda huoneisiin puhdasta ilmaa ja poistaa sieltä kaasumaisia ja hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Hyvän ilmanvaihtojärjestelmän tulee olla riittävän tehokas, meluton sekä helposti huollettavissa ja säädettävissä. Hyvä ilmanvaihtojärjestelmä ei aiheuta myöskään terveyshaittoja. Toimimattomalla ilmanvaihdolla on sisäilmanlaatuun heikentävä vaikutus, sillä se ei poista riittävän tehokkaasti sisäilmassa olevia epäpuhtauksia. Toimimaton ilmanvaihtojärjestelmä voi kuljettaa tuloilman mukana joko ulkoilmasta tai ilmanvaihtojärjestelmästä peräisin olevia sisäilman laatua heikentäviä epäpuhtauksia sisäilmaan.

Sisäilmaan liittyviä tutkimuksia tulee tehdä tiloihin, joissa oireilun syy ei ole todennettavissa yksiselitteisesti aistinvaraisesti tai rakenneavauksista tehtävien havaintojen tai kosteusmittausten perusteella. Näytteenotolla voidaan havaita ja nimetä mahdollisesti oireilun aiheuttava sisäilmahaittatekijä, mutta ei kuitenkaan sen lähdettä. Tulee ymmärtää, että rakennusta on käsiteltävä kokonaisuutena ja sisäilman laatua heikentävä epäpuhtaustekijä pystyy kulkeutumaan esimerkiksi ulkovaipan sisäkuoren epätiiviyiskohtien, läpivientien ja ilmanvaihdon kautta suhteellisen pitkiäkin matkoja muista rakennuksen osista.

## **2.3 Sisäilman mikrobiologiset ja kemialliset epäpuhtaudet**

### **2.3.1 Ammoniakki**

Ammoniakki on huoneenlämmössä sisäilmaa kevyempi kaasu, jonka tunnusomaisena piirteenä on pistävä haju. Sisäilmassa esiintyvän ammoniakin lähteitä ovat proteiineja sisältävät rakennusmateriaalit, kuten tasoitteet, liimat, maalit ja lakat. Muita

sisäilman ammoniakkin lähteitä ovat puhdistus- ja pesuaineet, tupakointi sekä ihmisten ja eläinten tuottamat eritteet. Ammoniakki voi päätyä sisäilmaan myös kuivuneiden vesilukkojen, lattiakaivojen tai rikkoutuneiden viemäriputkien kautta, etenkin koneellisen ilmanvaihdon aiheuttaman liian alipaineen tehostaessa ammoniakkin sisäilmaan tunkeutumista. (Sisäilman epäpuhtaudet 2010.)

Ammoniakin esiintyminen sisäilmassa voi viitata kosteusvaurioihin rakenteissa, sillä proteiineja sisältävät rakennusmateriaalit emittoivat ammoniakkia kosteuden vaikutuksesta. Yleensä kosteusvaurioiden aiheuttamissa tapauksissa syntyy myös muita kemiallisia yhdisteitä, kuten amiineja, aldehydejä sekä VOC-yhdisteitä. (Asumisterveysohje 2003, 63.)

Ammoniakin aiheuttamia oireita ovat mm. silmien ja hengitysteiden ärtynisyys. Yleensä sisäilmassa esiintyvät pitoisuudet ovat niin pieniä, että ne eivät aiheuta terveyshaittoja (Sisäilman epäpuhtaudet 2010). Sen sijaan ammoniakki aistitaan epämiellyttävänä, pistävänä, mädän tyyppisenä hajuna, riippuen lämpötilan ja kosteuden vaihteluista (Asumisterveysopas 2005, 119).

Ammoniakkia voidaan mitata keräämällä ilmanäyte pumpulla laimeaan rikkihappoliuokseen tai rikkihapolla käsiteltyyn aktiivihiihtä tai silikageeliä sisältävään adsorbenttiputkeen. Näyte analysoidaan ioniselektiivisellä tai spektrofotometrisellä menetelmällä. Ammoniakille ei ole annettu terveysperusteista ohjearvoa, mutta sisäilman tavanomaisena ammoniakkipitoisuutena voidaan pitää 10 – 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Yli 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ammoniakkipitoisuutta sisäilmassa voidaan pitää epätavanomaisena. (Asumisterveysopas 2005, 119.)

### 2.3.2 Formaldehydit

Formaldehydi on aldehydeistä yksinkertaisin ja ärsyttävin, huoneenlämmössä kaasuna esiintyvä ja voimakashajuinen, kemiallinen yhdiste. Sisäilman formaldehydit ovat yleensä peräisin lastulevyistä, joihin on käytetty ureaformaldehydihartsia liima-aineena. Ureaformaldehydi hajoaa lämpötilan ja kosteuden seurauksena ureaksi ja formaldehydiksi. Formaldehydiä sisältävät myös tietyt paneelit, parketit ja laminaatit,

happokovetteiset lakat, maalit, pinnoitteet, kokolattiamatot sekä itsesiliävät tekstiilit. (Asumisterveysopas 2005, 121.)

Tiloissa, joissa havaitaan formaldehydejä, voi olla muitakin aldehydejä, jotka aiheuttavat oireilua. Formaldehydi aiheuttaa kuitenkin jo noin 100 kertaa pienemmässä pitoisuudessa ärsytysoireita kuin muut aldehydit (Asumisterveysopas 2005, 121). Oireet ja herkkyys formaldehydille vaihtelee kuitenkin henkilöstä riippuen melko suuresti. Yleisimpiä formaldehydin aiheuttamia oireita ovat ylähengitysteiden limakalvojen ärsytys sekä silmien sidekalvojen ärtynisyys, aiheuttaen muun muassa yskää, silmien kirvelyä, nenän tukkoisuutta, päänsärkyä, pahoinvointia ja väsymystä (Kemialliset epäpuhtaudet 2008).

Formaldehydejä voidaan määrittää pitkän ajan keskiarvopitoisuuden avulla passiivikeräimellä tai keräämällä näyte pumpulla dinitrofenyylihydratsiinilla päällystettyyn silikageelipatruunaan ja määrittämällä formaldehydit ja muut aldehydit nestekromatografilla asetoniriiliuutteesta. Passiivinäytteessä ilmaa kerätään vuorokauden ajan. Pumpulla kerättyyn näytteeseen imetään ilmaa 0,5 l/min siten, että näytteen kooksi saadaan 100 litraa. Sisäilman formaldehydipitoisuus saa olla enintään 100 µg/m<sup>3</sup>. (Asumisterveysopas 2005, 121.)

### 2.3.3 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

VOC-yhdisteet (Volatile Organic Compounds) eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat huoneenlämpötilassa kaasumaisessa olomuodossa esiintyviä kemiallisia yhdisteitä. Yksittäisten VOC-yhdisteiden muodostama kokonaismäärä kuvataan lyhenteellä TVOC (Total Volatile Organic Compounds). Sisäilmasta pystytään havaitsemaan yhteensä 50–300 orgaanista yhdistettä. Pääasiassa terveyshaittoja arvioitaessa tutkitaan nimenomaan VOC-alueen orgaanisia yhdisteitä TVOC-tulosten mittaepätarkkuuden takia. (Asumisterveysopas 2005, 124.)

Sisäilmasta havaittavat orgaaniset yhdisteet voidaan jaotella ryhmiin niiden kiehumispisteen mukaan (ks. taulukko 1). Kiehumispiste vaikuttaa yhdisteen haihtuvuuteen. Yhdiste haihtuu materiaalista sitä nopeammin, mitä matalampi kiehumispiste on. (Asumisterveysopas 2005, 124.)

**Taulukko 1.** Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kiehumispisteet (Kemialliset tutkimukset 2008).

Nimi	Lyhenne	Kiehumispiste (°C)
Erittäin haihtuvat orgaaniset yhdisteet	VVOC	> 0 ... 50–100
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet	VOC	50–100 ... 240–260
Puolihaihtuvat orgaaniset yhdisteet	SVOC	240–260 ... 380–400
Hiukkasiin sitoutuneet orgaaniset yhdisteet	POM	> 380

VOC-yhdisteiden lähteitä sisäilmassa ovat tavallisesti rakennus- ja sisustusmateriaalit, kuten liimat, lakat, liuotteet, maalit ja puun uuteaineet sekä ihmisen toiminta sisätiloissa. Ihmisen aiheuttamia lähteitä ovat muun muassa pesu- ja puhdistusaineiden sekä kosmetiikkatuotteiden käyttö, tupakointi ja ruoan valmistus. Ulkoilman pääasiallinen VOC-lähde on liikenteen pakokaasupäästöt, jotka voivat osaltaan vaikuttaa sisäilmanlaatuun heikentävästi. Ilmanvaihdon tehokkuudella on kääntäen verrannollinen vaikutus sisäilman VOC-pitoisuuteen (Orgaaniset yhdisteet 2011). Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuutta sisäilmassa voidaankin alentaa ilmanvaihdon tehostamisella. (Asumisterveysopas 2005, 124).

Kosteuden aiheuttamissa vaurioissa kemiallisesta vaurioprosessista peräisin olevat sekundääriemissiöt kasvavat ajan funktiona senkin jälkeen, kun materiaalin ominaisemissiöt ovat jo pääosin poistuneet materiaalista. Sekundääriemissioiden taso pysyy korkeana vuosia, sillä kemiallinen vaurioprosessi jatkuu, vaikka kosteusrasitus poistuisi rakenteesta. Normaalitapauksissa rakennusmateriaaleista haihtuvat terveydelle haitalliset kemiallisten yhdisteiden emissiot ovat suurimmillaan materiaalien elinkaaren alkuvaiheessa ja emissiot pienenevät yleisesti ajan myötä. VOC-pitoisuuteen vaikuttaa myös tilojen pintojen adsorptio eli materiaalin kyky imeä kemiallisia yhdisteitä ja epäpuhtauksia, minkä jälkeen materiaali alkaa emittoida näitä yhdisteitä. Tätä ilmiötä kutsutaan kontaminaatioksi. (Merikallio, Niemi & Komonen 2007, 36–38; Keinänen 2013, 14–15.)

Korkeisiin VOC-pitoisuuksiin viittaavia oireita ovat mm. silmien limakalvojen ärsytys, iho-oireet, nenän tukkoisuus, hengenahdistus, pahoinvointi, päänsärky sekä



hajutuntemukset. (Orgaaniset yhdisteet 2011.)

VOC-pitoisuutta voidaan mitata sisäilmasta keräämällä Tenax -adsorbenttiin ilmanäyte pumpulla 100 ml/min siten, että näytteen kooksi saadaan noin 4 - 15 litraa. Näyte desorboidaan termodesorptiolla ja analysoidaan kaasukromatografisesti käyttäen massaelektiivistä ilmaisinta. Rakenteen pintaemissioita voidaan mitata suoraan ehjän päällysteen päältä FLEC-laitteistolla (Field and Laboratory Emission Cell) ISO 16 000-10 standardin mukaisesti. Koko tutkittavan rakenteen emissioita voidaan mitata otetusta näytepalasta niin sanotulla bulk -materiaalinäytteellä, joka kuvaa kaikkien näytepalan eri pintojen kokonaisemissioita. Asuntojen viitteellisenä TVOC-pitoisuuden ohjearvona sisäilmassa pidetään  $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Jos ohjearvo ylittyy, suositellaan lisäselvityksiä yksittäisten aineiden tutkimiseksi. Tavanomaisena pitoisuutena voidaan pitää  $200\text{--}300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Keinänen 2013, 25–26; Asumisterveysopas 2005, 124.)

#### 2.3.4 Hiilidioksidi

Hiilidioksidipitoisuuden määrä sisäilmassa korreloi yleensä ihmisistä peräisin olevien epäpuhtauksien määrää. Tyypillisesti hiilidioksidipitoisuus nousee korkeaksi asuinhuoneiston makuuhuoneessa yön, päiväkotien lepotiloissa päiväunien sekä koulun luokahuoneissa oppituntien aikana. Korkea hiilidioksidipitoisuus koetaan yleisesti ilman tunkkaisuutena ja se aiheuttaa muun muassa väsymystä ja päänsärkyä. (Asumisterveysopas 2005, 122.)

Hiilidioksidia mitataan jatkuvatoimisilla mittalaitteilla riittävän pitkällä aikavälillä, esimerkiksi kuukauden ajan. Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden ylittäessä  $2700 \text{ mg}/\text{m}^3$  (1500 ppm), sisäilma ei ole terveysuojelulain mukaisella tasolla. Normaalioloissa hiilidioksidipitoisuuden tulisi jäädä alla  $2160 \text{ mg}/\text{m}^3$  (1200 ppm). Luonnossa hiilidioksidipitoisuus on noin 400 ppm. (Asumisterveysopas 2005, 122.)

#### 2.3.5 Lyijy

Lyijy on myrkyllinen raskasmetalli, jota on käytetty kaksikomponenttisten

polysulfidimassojen kovetteissa, joita puolestaan on käytetty muun muassa betonielementtisaumoissa. 1970-luvun puolivälin jälkeen lyijyn käyttö väheni mangaanipohjaisten kovetteiden kehittämisen myötä ja sen käyttö kiellettiin Suomessa 1989. Korjaustoimenpiteitä tehtäessä ennen vuotta 1989 rakennettuihin kohteisiin, tulee saumamassoista ottaa materiaalinäytteitä ja tutkia näytteet laboratoriotutkimuksin lyijyn ja PCB:n varalta. Lyijyä sisältävät saumamassat ja muut rakennusjätteet luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi. Saumauskorjauksissa lyijypitoisuuden raja-arvona on suositeltavaa käyttää 1500 mg/kg. (PCB rakennuksissa 2004.)

Lyijyn on luokiteltu mahdollisesti ihmiselle syöpää aiheuttavaksi aineeksi. Lyijy aiheuttaa pääasiassa haittaa jouduttuaan ruoansulatukseen, mutta voi olla haitallista jo ihokosketuksen kautta tai päädyttyään hengitysteihin. (PCB rakennuksissa 2004.)

### 2.3.6 Mikrobit

Mikrobeja, eli homeita, hiivoja, bakteereja ja muita mikroskooppisen pieniä eliöitä, on lähes kaikkialla, sillä ne ovat osa normaalia elinympäristöä. Rakennuksessa havaitaan sisäilmassa tavanomaisesti esiintyviä sekä ulkoilmasta kulkeutuneita mikrobeja. Myös ihmisen oma toiminta voi kohottaa mikrobipitoisuuksia hetkellisesti, esimerkiksi siivouksen, elintarvikkeiden tai polttopuiden käsittelyn seurauksena. Osa mikrobeista voi tarttua rakenteiden pinnoille, minkä vuoksi lähes poikkeuksetta pinnoilta havaitaankin ainakin pieniä määriä mikrobeja. Ihmiselle ja rakenteelle haitalliset mikrobit tarvitsevat kasvaakseen sopivan lämpötilan, ravinteet ja kosteuden yhteisvaikutuksen. Useimpien mikrobien kasvlämpötila on 10...40 °C ja ihanteellinen kasvlämpötila 20...30 °C. Mikrobien kasvulle riittävä alusta ravinteiden puolesta on esimerkiksi betonin tai teräksen pinnalla oleva pöly, joten voidaan sanoa, että mikrobit pystyvät kasvamaan lähes millä kasvualustalla tahansa. (Asumisterveysopas 2005, 132.)

Terveyshaittaa aiheuttavat kasvustot syntyvät, kun home- ja hiivasieniä sekä bakteereja kasvaa rakennuksen kostuneilla pinnoilla, josta mikrobit, niiden itiöt ja aineenvaihduntatuotteet kulkeutuvat sisäilmaan (Asumisterveysopas 2005, 132).

Mikrobikasvu alkaa materiaalia ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden ylittäessä 70 % RH. Kostuneen rakenteen väliaikainen kuivuminen ei tuhoa mikrobikasvustoa, vaan se voi jatkaa kasvuaan rakenteen kosteuden kohotessa uudelleen. Myös kuollut mikrobikasvusto voi aiheuttaa terveyshaittoja. (Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus 1997, 65.)

Tyypillisiä sisäilman mikrobien aiheuttamia oireita ovat muun muassa silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytysoireet sekä erilaiset yleisoireet, kuten kuumeilu, päänsärky ja väsymys. Lisäksi sisäilman mikrobien on havaittu lisäävän riskiä sairastua poskiontelo- ja keuhkoputkentulehdukseen sekä joihinkin pitkäaikaissairauksiin, kuten astmaan. (Asumisterveysohje 2003, 75.)

Sisäilmanäytteet kerätään 6-vaiheimpaktorilla (Andersen-keräin), jossa ilmaa imetään pumpulla 28,3 l/min kuudelle mikrobien kasvatusalustalle kolmeen keräimeen rinnakkain 12 minuutin ajan. Sieni-itiöt kerätään 2 % mallasuuteagar- (MEA) ja dikloran-glyseroli-18-agar (DG18) -kasvatusalustoille, bakteerit kerätään tryptoni - hiivauute -glukoosiagar (THG) -kasvatusalustoille. Maljoja kasvatetaan 7 vuorokautta, jonka jälkeen pesäkkeitten määrät lasketaan. Bakteerimaljoja kasvatetaan laskennan jälkeen vielä 7 vuorokautta sädesienien havaitsemiseksi. Asumisterveysoppaan (2005) mukaan talviaikaan otettujen asuntojen ja toimistojen ilmanäytteiden tuloksia voidaan pitää tavanomaisina, mikäli sieni-itiöiden kokonaispitoisuus on molemmilla kasvatusalustoilla  $<100 \text{ pmy} / \text{m}^3$  (pesäkkeen muodostavaa yksikköä/kuutio) ja aktinomykeetti-itiöiden pitoisuus  $<10 \text{ pmy} / \text{m}^3$ . Sieni-itiöpitoisuuden ylittäessä talviaikaan  $100 - 500 \text{ pmy} / \text{m}^3$ , voidaan tulosta pitää epätavanomaisena. Kosteusvaurioindikaattorimikrobien tavallisena pitoisuutena sisäilmassa pidetään  $<10 \text{ pmy} / \text{m}^3$ . Mikäli näytteessä esiintyy kolmea tai useampaa kosteusvaurioindikaattorimikrobilajia, viittaa tulos pitoisuuksista riippumatta epätavanomaiseen mikrobilähteeseen. (Asumisterveysopas 2005, 155.)

Näytteissä yleisimmin esiintyviä sienisukuja ovat *Penicillium*, *Aspergillus* ja *Cladosporium* (ks. taulukko 2). *Penicillium* on yleisin sisäilmassa esiintyvä sienisuku ja näytteen tulosta voidaankin pitää tavanomaisesta poikkeavana, mikäli jokin muu sienisuku esiintyy valtalajina. *Cladosporium* on yleisin ulkoilmassa esiintyvä sienisuku,

minkä vuoksi *Cladosporiumin* esiintyminen sisäilmassa on melko tavanomaista, etenkin keväisin ja sykyisin. Talvella näytteistä havaittava korkea *Cladosporium*-pitoisuus sen sijaan voi viitata rakenteiden mikrobivaurioihin. Myös tiettyjen *Aspergillus*-lajien ja -hiivojen esiintyminen on tavanomaista. Näytteitä tulkittaessa tulee arvioida huolellisesti kaikkia mahdollisia mikrobilähteitä sekä näytteenottotilanteen aikaista toimintaa. Esimerkiksi rakenteiden mikrobivaurioihin viittaavien *Aspergillus fumigatuksen*, *Fusariumin* ja aktinomykeettien (pääasiassa *Streptomycesin*) esiintyminen näytteissä ei välttämättä johdu rakennuksen kosteusvaurioista, vaan ne ovat voineet kulkeutua sisäilmaan maatalousympäristöstä, kuten navetoista tai talleista. (Asumisterveysohje 2003, 81–82.)

**Taulukko 2.** Ulko- ja sisäilmassa yleisesti esiintyviä sienisukuja ja ryhmiä (Asumisterveysohje 2003, 82).

Ulkoilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä	Sisäilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä	Kosteusvaurioon viittaavia mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä
<i>Cladosporium</i> basidiomykeetit <i>Penicillium</i> <i>Aspergillus</i> <i>Alternaria</i> hiivat steriilit**	<i>Penicillium</i> <i>Aspergillus</i> <i>Cladosporium</i> hiivat	<i>Stachybotrys</i> * <i>Trichoderma</i> * <i>Aspergillus versicolor</i> * <i>Aspergillus fumigatus</i> * <i>Chaetomium</i> * <i>Phialophora</i> <i>Fusarium</i> * aktinomykeetit* pääosin Streptomyces
* mahdollisesti toksiineja tuottavia mikrobeja		
** pesäkkeitä, jotka eivät käytettävillä kasvualustoilla muodosta itiöitä		

### 2.3.7 PAH-yhdisteet

PAH-yhdisteet (polysykliset aromaattiset hiilivedyt) muodostuvat kahdesta tai useammasta fuusioituneesta bentseenirenkaasta. PAH-yhdisteitä syntyy orgaanisen aineksen epätäydellisen palamisen seurauksena. PAH-yhdisteitä sisältävät muun muassa kivihiilipiki eli kreosootti, kivihiiliterva, terva, bitumi, asfaltti, eräät öljyt, noki, tupakka ja pakokaasut. Rakennuksissa PAH-yhdisteitä esiintyy pääasiassa kosteuden ja vedeneristeinä käytetyissä öljypohjaisissa bitumeissa, kivihiilipiessä ja näiden seoksissa sekä pilaantuneissa maa-aineksissa. Väriltään tumman kivihiilipien

tunnistaa voimakkaasta ja pistävästä hajusta, joka muistuttaa kyllästetyn puun tai ratapölkyn hajua. Kivihiilipohjaiset eristeet sisältävät huomattavasti enemmän PAH-yhdisteitä kuin bitumieristeet. (PAH-yhdisteet ja niiden esiintyminen 2010.)

Työympäristössä PAH-yhdisteille altistutaan yleensä hengitysilman kautta tai ihokontaktista. Rakennuksista PAH-yhdisteitä vapautuu pääasiassa vesieristeiden korjaus- ja purkutöissä. PAH-yhdisteiden karsinogeenit ovat syöpää aiheuttavia ainesosia ja mutageenit johtavat perimän muutoksiin. Tunnettuja karsinogeenia ovat esimerkiksi bentso(a)pyreeni ja dibentso(a,h)antraseeni. (PAH-yhdisteet ja niiden esiintyminen 2010.)

PAH-yhdisteitä voidaan tutkia materiaalinäytteistä tai sivelynäytteistä. Yli 200 mg/kg sisältävät materiaalit määritellään vaaralliseksi jätteeksi. Tavoitetaso sisäilmassa naftaleenille on 0,002 mg/m<sup>3</sup> ja bentso(a)pyreenille 0,01 µg/m<sup>3</sup>. (Priha, Anttila, Ahonen, Elovaara, Mäkelä, Vainiotalo, Zitting & Santonen 2010, 2.)

### 2.3.8 PCB-yhdisteet

PCB-yhdisteet (polyklooratut bifenyylit) ovat pysyvyydeltään ja kertyvyydeltään pahimpia ympäristömyrkyjä, joiden käyttö kiellettiin Suomessa vuonna 1990. Nämä orgaaniset klooriyhdisteet voivat aiheuttaa pitkäaikaista tuhoa vesistöille ja sen eliöille. PCB-yhdisteitä on käytetty kondensaattoreissa, muuntajissa, liimoissa, lakoissa ja eräissä maaleissa. Rakennuksissa pääasiallinen käyttökohde ovat olleet elastiset polysulfidipohjaiset saumamassat. Tehtäessä esimerkiksi rakennuksen vierustojen maansiirtotöitä tai elementtisaumoihin, ikkunoihin tai ulko-oviin kohdistuvia korjaustoimenpiteitä, tulee PCB-pitoisuus aina selvittää rakennuksissa, joissa PCB:n käyttö on ollut mahdollista. Käytöstä poistetut PCB-yhdisteitä sisältävät saumamassat, maamassat ja muut rakennusjätteet tulee käsitellä asianmukaisesti ongelmajätelaitoksella. Saumausjäte on käsiteltävä PCB-jätteenä, mikäli näytteen PCB-pitoisuus ylittää 50 mg/kg. PCB-pitoisuutta voidaan tutkia materiaalinäyttein. (PCB rakennuksissa 2004.)

PCB-yhdisteet on luokiteltu todennäköisesti ihmiselle syöpää aiheuttavaksi

yhdisteeksi, jolle voi altistua hengitysteitse, ravinnon tai ihon kautta. (PCB rakennuksissa 2004.)

### 2.3.9 Styreeni

Styreeni, eli vinyylibentseeni, on aromaattinen hiilivety. Styreeni on helposti haihtuva ja palava neste, jolla on sille tyypillinen pistävä haju. Styreenin aiheuttamia ongelmia havaitaan kohteissa, joissa polyesterihartsipohjaisia rakennusmateriaaleja on käytetty virheellisesti, esimerkiksi laminoinnissa. Sisäilmaongelmia aiheutuu, kun polyesterihartsin eri komponentit eivät ole reagoineet keskenään täydellisesti (Orgaaniset yhdisteet 2014; Kemialliset epäpuhtaudet 2008.)

Styreeni on melko uusi sisäilmaongelmien aiheuttaja. Styreenin aiheuttamia oireita ovat silmien sidekalvojen ja hengitysteiden ärsytysoireet, päänsärky ja huonovointisuus. Lisäksi styreenin tiedetään aiheuttavan hermoston toiminnanhäiriöitä. Styreenin epäillään aiheuttavan myös syöpää, mutta vaikutuksia ei ole vielä tutkittu riittävällä varmuudella. (Kemialliset epäpuhtaudet 2008.)

Styreeniä voidaan tutkia keräämällä ilmaa pumpun avulla aktiivihiliputkeen tai keräämällä näyte Tenax -adsorbenttiin. Huoneilman styreenipitoisuus saa olla enintään  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Asumisterveysohje 2003, 65.)

## 2.4 Sisäilman fysikaaliset ominaisuudet, hiukkaset ja kuidut

### 2.4.1 Asbesti

Asbestilla tarkoitetaan kuitumaisia silikaattimineraaleja, joihin kuuluu yli 300 eri mineraalia. Kuidut ovat läpimitaltaan  $0,03\text{-}3\mu\text{m}$  (Hiukkaset ja kuidut 2014). Asbestia on käytetty rakennusmateriaaleissa sen keveyden, hyvän palo-, lämmön- ja sähköneristävyuden sekä akustisten ominaisuuksien takia. Asbestia esiintyy muun muassa putkien ja varaajien lämmöneristysmassoissa, seinä- ja lattialevytyksissä, vesi- ja viemäriputkissa, vinyyliasbestilaatoissa, joustovinyylimatoissa, IV-kanavissa,

tasoitteissa ja kiinnityslaasteissa. (Asumisterveysopas 2005, 119–120.)

Kaikkiin julkisiin rakennuksiin on tehty lain mukaan asbestikartoitus ennen vuotta 1994. Korjaus- tai purkutöissä saattaa kuitenkin syntyä epäilyksiä asbestia sisältävistä materiaaleista, jolloin siitä otetaan näyte, joka lähetetään laboratoriotutkimuksiin asbestikartoitusta varten. Korjaus- ja purkutöissä on kiinnitettävä erityistä huomiota hengityssuojaukseen sekä tilojen osastamiseen. Nykyisin asbestitöitä saavat tehdä vain luvanvaraiset yritykset. (Oksa, Korhonen & Koistinen 2013, 23–31.)

Asbestimateriaalit eivät ole ehjänä ja normaalikäytössä terveydelle vaarallisia, mutta rikkoutuessaan asbestia sisältävistä materiaaleista voi päästä kuituja sisäilmaan. Hengitysteihin kulkeutuneiden asbestikuitujen aiheuttamia terveyshaittoja ovat asbestoosi, keuhkopussin paksuuntumat ja erilaiset syövät. (Oksa, Korhonen & Koistinen 2013, 13.)

Asbestin kokonaispitoisuutta sisäilmasta mitataan keräämällä ilmasta noin 1000 litran näyte selluloosaesterisuodattimelle keräysnopeudella 10 l/min. Näyte preparoidaan ja kuidut lasketaan optisella vaihesiirtomikroskoopilla. Jos ilman kuitupitoisuus on yli 0,01 kuitua/cm<sup>3</sup>, kerätään uusi vastaavanlainen näyte polykarbonaattisuodattimelle asbestikuitujen olemassaolon varmistamiseksi. Näytteen kuidut lasketaan pyyhkäisyelektronimikroskoopilla ja kuidut tunnistetaan energiadiispersiivisellä spektrometrillä. Asbestikuitujen leviämistä voidaan tutkia myös pintojen pölynäytteillä. Asbestipitoisuuden sisäilmassa tulee olla alle 0,01 kuitua/cm<sup>3</sup>. Huonepölyssä ei saa esiintyä lainkaan asbestikuituja. (Asumisterveysopas 2005, 120.)

#### 2.4.2 Lämpötila ja kosteuspuiteisuus

Lämpötila vaikuttaa viihtyvyyteen. Vedontunne ja liian viileä huoneilma voivat aiheuttaa terveyshaittoja, liian lämmin huoneilma puolestaan voi aiheuttaa esimerkiksi väsymyksen tunnetta. Sisätilan korkea lämpötila voi myös kiihdyttää kaasumaisten epäpuhtauksien emittoitumista materiaaleista. (Asumisterveysopas 2003, 9-10.)

Huonetilan lämpötilan hyvän tason ohjeellinen arvo on +21 °C. Lämpötilaa mitataan pallo-, kuutio- tai ellipsilämpötilamittarilla. Pintalämpötiloja mitataan infrapuna- tai kosketuslämpömittarilla. Vetoa tutkitaan ensin merkkisavulla ja tarvittaessa mitataan ilmanvaihdon yleismittarilla. Lämpötilan ja vedonmittaukset tulisi tehdä kylmänä vuoden aikana, mutta ei kuitenkaan poikkeuksellisen kylmänä tai tuulisena aikana. Vedonmittauksen aikana tuulennopeus tulisi olla >5 m/s. (Asumisterveysohje 2003, 14–16.)

Sisäilman korkea kosteuspitoisuus lisää rakenteisiin kohdistuvaa kosteusrasitusta ja lisää siksi mikrobikasvun riskiä. Sisäilman kosteuspitoisuus vaikuttaa myös ihmisen hengitykseen, hikoiluun ja pölypunkkien esiintymiseen. Sisäilman suhteellisen kosteuden tulisi olla noin 20–60 % RH. Näistä arvoista poikkeamista ei voida kuitenkaan pitää terveyshaittana. (Asumisterveysohje 2003, 16.)

Sisäilman suhteellista kosteuspitoisuutta mitataan jatkuvatoimisella mittalaitetiedonkerääjäyhdistelmällä. Mittausjakson pituus on noin kaksi viikkoa. Mitattaessa sisäilman suhteellista kosteuspitoisuutta, tulisi mittaus suorittaa samanaikaisesti myös ulkoilmasta.

#### 2.4.3 Melu

Melun vaikutus ihmisiin on melko subjektiivinen kokemus ja siksi melun aiheuttamien terveyshaittojen ja melun ominaisuuksien väliset yhteydet ovat tilastollisia. Melun aiheuttamia haittoja ovat muun muassa kuulovauriot, tinnitus sekä unen laadun ja keskittymiskyvyn heikkeneminen. (Asumisterveysohje 2003, 31–32).

Melutasoille on annettu ohjearvot taulukossa 3, joilla tarkoitetaan sitä melun tasoa, jolle sisätilassa oleva henkilö saisi enintään altistua. Melua mitataan integroivalla vähintään tarkkuusluokan 2 melumittarilla paikasta, joka kuvaa asukkaisiin kohdistuvaa tyypillistä melualtistusta. (Asumisterveysohje 2003, 33–40; Melun mittaaminen 2011.)



**Taulukko 3.** Melutasojen ohjearvot (Asumisterveysohje 2003, 35).

PÄIVÄ- JA YÖAJAN MELUTASOJEN OHJEARVOT ASUNNOISSA JA MUISSA OLESKELUTILOISSA		
Huoneisto ja huonetila	$L_{Aeq,07-22\text{ h}}$	$L_{Aeq,22-07\text{ h}}$
Asuinhuoneisto		
- asuinhuoneet, paitsi keittiö	35 dB	30 dB <sup>(2)</sup>
- asunnon muut tilat <sup>(1)</sup> ja keittiö	40 dB	40 dB
Hoito- ja sosiaalihuollon laitokset, majoitustilat		
- potilashuoneet, majoitushuoneet	35 dB	30 dB
- päiväkodit, lapsien ja henkilökunnan oleskeluun tarkoitetut huoneet	35 dB	30 dB <sup>(3)</sup>
Kokoontumis- ja opetushuoneistot		
- luokahuoneet, luentosalit, kirkot ja muut huonetilat, joissa edellytetään yleisön saavan hyvin puheesta selvän ilman äänenvahvistus- laitteiden käyttöä.	35 dB <sup>(4)</sup>	-
- muut kokoontumistilat <sup>(4)</sup>	40 dB <sup>(4,6)</sup>	-
Työhuoneistot (yleisön kannalta)		
- yleisön vastaanottotilat ja toimistohuoneet	45 dB <sup>(4,7)</sup>	-

#### 2.4.4 Mineraalikuidut

Epäorgaanisia mineraalikuituja ovat lasikuidut ja mineraalivillakuidut.

Mineraalivillakuituihin lukeutuvat vuorivilla, lasivilla ja kuonavilla. Mineraalikuidut esiintyvät sisäilmassa leijuvina tai pinnoille laskeutuvina. Kooltaan kuidut ovat alle 3µm:stä noin 8µm:iin. Mineraalikuituja esiintyy rakennuksissa eristeissä, suodattimissa, akustiikkalevyissä ja ilmanvaihtokanavan äänenvaimentimissa. (Mineraalivillakuitupäästöt 2008.)

Yli 3µm karkeat kuidut laskeutuvat nopeasti tasopinnoille, mutta ne voivat nousta tilapäisesti ilmaan ihmisen toiminnan seurauksena. Pinnoille laskeutuneet kuidut tarttuvat myös helposti ihoon aiheuttaen ihon ärsytysoireita. Muita sisäilmassa esiintyvien mineraalikuitujen aiheuttamia oireita ovat limakalvojen ja silmien ärtynisyys. (Mineraalivillakuitupäästöt 2008; Hiukkaset ja kuidut 2014.)

Mineraalikuituja voidaan mitata keräämällä näyte ilmasta suodatinkeräimellä tai ottamalla näyte tasopinnalta pyyhintänäytteellä tai geeliteipillä. Sisäilmayhdistyksen mukaan mineraalikuidut voivat olla syynä ärsytysoireille, mikäli epäorgaanisten kuitujen pitoisuus sisäilmassa ylittää  $100 \text{ kuitua/m}^3$ . Tasopinnoilta kerättyjen näytteiden pitoisuuksien tulisi Sisäilmayhdistyksen mukaan olla usein siivotuissa tiloissa alle  $0,2 \text{ kpl/cm}^3$  ja harvoin siivotuissa tiloissa  $3 \text{ kpl/cm}^3$  kuitujen aiheuttamien ärsytysoireiden välttämiseksi.

#### 2.4.5 Radon

Radon on radiumin hajoamistuotteena syntyvä radioaktiivinen jalokaasu. Radonin hajoamisesta puolestaan syntyy kiinteitä hajoamistuotteita, joista lähinnä Polonium-218 ja Polonium-214 lähettävät radonin tavoin alfasäteilyä. Hajoamistuotteet kulkeutuvat hengitysilman mukana keuhkoihin lisäten keuhkosyövän riskiä. (Asumisterveysohje 2003, 75.)

Radonin pääasiallisena lähteenä toimii rakennuksen alla oleva maaperä sekä soratäyttö, joista radon pääsee kulkeutumaan ilmavirtojen mukana perustusten epätiiviyiskohtien kautta sisäilmaan. Talousveden, eritoten poravesikaivosta pumpatun käyttöveden, käyttö lisää sisäilman radonpitoisuutta. Poravesikaivosta pumpatun veden radonpitoisuus on keskimäärin kymmenkertainen muihin kaivovesiin verrattuna. Myös tietyistä rakennusmateriaaleista erittyy radonia sisäilmaan. Kerrostalojen ylimmissä kerroksissa yleensä kaikki sisäilman radon on peräisin rakennusmateriaaleista. (Asumisterveysohje 2003, 74–76.)

Radonmittaus voidaan tehdä yhtäjaksoisella integroivalla mittauksella tai jatkuvatoimisella lyhytaikaisesti integroivalla mittauksella. Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen (944/92) mukaan huoneilman radonpitoisuuden vuosikeskiarvo ei saisi ylittää  $400 \text{ Bq/m}^3$ . Uusi asunto tulee suunnitella ja rakentaa siten, ettei arvo ylitä  $200 \text{ Bq/m}^3$ . (Asumisterveysopas 2005, 76–78.)

#### 2.4.6 Sisäilman hiukkasmaiset epäpuhtaudet

Sisäilman hiukkaset jaotellaan kokonsa perusteella hengitettäviin hiukkasiin (<10 $\mu$ m) ja pienhiukkasiin (<2,5 $\mu$ m). Sisäilmassa esiintyy orgaanisia (homeitiöt, bakteerit, virukset, punkit, eläin- ja siitepöly) sekä epäorgaanisia hiukkasia (mm. mineraalivillakuidut ja asbesti). Hiukkaset voivat esiintyä huoneilmassa leijuvina tai lattioille ja pinnoille laskeutuvina hiukkasina. Pinnoille laskeutuneet kuidut voivat nousta tilapäisesti ilmaan ihmisen toiminnan takia ja sitä kautta pölyn sisältämät orgaaniset ja epäorgaaniset hiukkaset voivat joutua ylähengitysteihin sekä käsien kautta silmiin. (Hiukkasmaiset epäpuhtaudet 2008; Asumisterveysopas 2005, 126.)

Sisäilman pienhiukkaset ovat pääosin peräisin ulkoilmasta sekä ihmisen omasta toiminnasta. Etenkin taajama-alueilla liikenteen aiheuttamat päästöt vaikuttavat sisäilman hiukkaspitoisuuteen merkittävästi ulkoilman tunkeutuessa sisätiloihin esimerkiksi epätiiviykskohdista tai ilmastointikanavista. Pientaloalueilla talokohtaiset lämmitysjärjestelmät ja tulipesät voivat paikallisesti vaikuttaa merkittävästi sisäilman hiukkasmaisten epäpuhtauksien esiintymiseen palamisreaktionsa takia, savupiippujen päästökorkeuden ollessa suhteellisen alhainen. (Hiukkaset ja kuidut 2014; Hiukkasmaiset epäpuhtaudet 2008.)

Hiukkasten aiheuttamat oireet riippuvat altistumisajasta. Hengitysteihin joutuneet karkeat hiukkaset pysähtyvät nenään, nieluun ja kurkunpään alueille, joista hiukkaset poistuvat muutamassa tunnissa. Pienhiukkaset pääsevät kulkeutumaan henkitorveen, keuhkoputkeen ja keuhkorakkuloihin, joista hiukkaset poistuvat hitaasti, jopa vasta vuosien kuluessa. Astmaatikoit, allergikoit sekä keuhkosairauksista kärsivät ihmiset ovat herkempiä oireilulle. Sisäilman hiukkasten, etenkin laskeutuneen pölyn ja kuitujen, aiheuttamat oireet ilmenevät hengitysteiden limakalvojen, silmien sekä mahdollisesti myös ihon ärtynisyytenä. (Asumisterveysopas 2005, 126.)

Hiukkasten pitoisuutta sisäilmassa voidaan määrittää suodatinkeräimellä kerätystä näytteestä mikrovaakalla punnitsemalla, keräämällä näyte pinnoille laskeutuneesta pölystä esimerkiksi imuroimalla näyte suodattimeen tai passiivisella menetelmällä keräämällä pinnoille laskeutuvia hiukkasia esimerkiksi vaseliinilla päällystetyille

lasilevyille. Pölyn koostumuksen tutkimiseen voidaan käyttää pyyhintä- ja geeliteippinäytteitä. Sisäilman hiukkasten kokonaisleijuma saa olla 24 tunnin keskiarvoltaan enintään  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , hengitettävien hiukkasten puolestaan  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . (Asumisterveysopas 2005, 126–127.)

## **3 SISÄILMA- JA KOSTEUSTEKNISEN KUNTOTUTKIMUSPROJEKTIN ALOITUS**

### **3.1 Lähtötietojen selvittäminen ja katselmuskäynti kohteessa**

Lähtötietoja ovat kaikki ne tiedot, jotka ovat kosteus- ja homevaurion syyn ja laajuuden arvioinnin sekä selvittämisen kannalta oleellisia. Näitä lähtötietoja ovat muun muassa kohteen rakennekuvat, LVISA-suunnitelmat, aiemmat kuntotutkimukset, korjaushistoria, käyttöhistoria, tehdyt muutokset sekä työmaapöytäkirjat. Rakennekuvista kartoitetaan mahdollisia riskirakenteita. Rakennustyön ja korjaustöiden työmaapöytäkirjoista voi löytyä yllättäviäkin syitä kosteus- ja homevaurioihin, muun muassa rakennusaikaisten muutostöiden muodossa, joita ei ole useinkaan päivitetty rakennepiirustuksiin. Mikäli työmaapöytäkirjaa ei ole käytettävissä, tietoja voidaan kerätä rakentajien ja suunnittelijoiden haastatteluilla. (Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus 1997, 13.)

Katselmuskäynnillä tarkastellaan yleensä vain rakennuksen oireillut tilat, piirustusten ja aikaisempien tutkimusten perusteella havaitut riskirakenteet sekä ilmanvaihtojärjestelmien tekninen taso ja kunto. Oireiltujen tilojen lisäksi olisi hyvä tarkastella myös muita, etenkin oireiltujen tilojen viereisiä, tiloja. Tutkimukset eivät kuitenkaan ole vielä tässä vaiheessa tarkkoja. Tiloja, rakenteita ja laitteita tutkitaan ainetta rikkomattomin menetelmin ja apuna voidaan käyttää esimerkiksi pintakosteusmittaria. (Asikainen & Peltola 2011, 15.)

### **3.2 Käyttäjä- ja oirekyselyt**

Käyttäjä- ja oirekysely voi olla hyödyllinen suorittaa, mikäli kyselyä ei ole aikaisemmin tehty eikä kohdetta ole tutkittu aikaisemmin tai edellisestä kuntotutkimuksesta ja käyttäjäkyselystä on kulunut suhteellisen pitkä aika. Kysely auttaa muodostamaan kokonaiskuvaa rakennuksen ongelmista ja tilasta. Kyselyn avulla tutkimukset pystytään kohdistamaan ongelmakohteisiin heti projektin alusta. Käyttäjä- ja

oirekysely voidaan suorittaa pienissä kohteissa suullisesti, mutta yleensä, etenkin suuremmissa kohteissa, kyselyn pohjana käytetään tarkoitukseen suunniteltuja lomakkeita ja kyselyyn vastataan anonyymisti. (Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus 1997, 13.)

Kyselyssä kerätään tietoja käyttäjiltä, asukkailta, isännöitsijältä sekä huoltohenkilökunnalta. Selvitettäviä asioita ovat mm. käyttäjien oireilu, joka mahdollisesti viittaa sisäilmaongelmaan, tehdyt korjaus- ja huoltotoimenpiteet, tapahtuneet vesivahingot sekä käyttötottumukset. (Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus 1997, 13.)

### **3.3 Tutkimussuunnitelman laatiminen**

Tutkimussuunnitelma sisältää kaikki ne tarvittavat toimenpiteet, joiden avulla sisäilmaongelman ja kosteusvaurion syy, sijainti ja laajuus saadaan selvitettyä sekä voidaan tehdä tarvittavat ja oikeat johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset. Käytännössä tämä tarkoittaa kaikkien tutkimusten ja rakenneavausten listausta sekä mahdollisesti niiden sijoittamista pohjapiirroksen. Rakenneavausten tarkat paikat ja laajuudet täsmentyvät vielä tutkimusten aikana. Tutkimussuunnitelman laajuus riippuu lähtötietojen, katselmuskäynnin ja riskiarvion perusteella päätellyistä vaurioiden syistä ja laajuudesta sekä taloudellisista tekijöistä. Ympäristöministeriön Ympäristöoppaassa 28 *Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus (1997)* on esitetty rakennuksen sisäilma- ja kosteusteknisen kuntotutkimuksen tutkimussuunnitelman laatimisen pääperiaatteet.

## 4 POHDINTA

Sisäilma- ja kosteusteknisen kuntotutkimuksen toimintatapa- ja raportointiohje yhtenäistää Vahanen Oy:n tutkimusmenetelmiä, -käytäntöjä sekä raportointia. Yhtenäiset toimintatavat helpottavat eri aluetoimistojen välistä yhteistyötä ja mahdollistavat palvelun kehittämisen entistä paremmaksi. Lisäksi yhtenäiset käytännöt sekä yhtenäinen raportin ulkoasu antavat asiakkaalle luotettavan sekä asiantuntevan kuvan yrityksestä ja sen toimintatavoista.

Vahanen Oy:n toimintatavoissa ja raportoinnissa havaittavia eroja tutkittiin vertailemalla yrityksen eri aluetoimistojen tuottamia laajoja sisäilma- ja kosteusteknisiä kuntotutkimusraportteja keskenään. Vertailun pohjalta pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman toimiva ohje pohtimalla, mistä syistä havaitut erot johtuivat ja mihin suuntaan toimintaa haluttiin lähteä kehittämään.

Tutkimuksissa käytettävistä toimintatavoista oli melko hankala tehdä luotettavasti havaintoja pelkän raportoinnin perusteella. Aikataulun ja resurssien puitteissa toimintatapoja olisi ollut havainnollistavaa käydä vertailemassa käynnissä olevista tutkimuksista, mutta jo pelkkien raporttien pohjalta tehdyn vertailun perusteella voitiin havaita, että yhtenäiselle toimintatapa- ja raportointiohjeelle on yrityksessä tarvetta. Opinnäytetyön päätavoitteena oli laadukkaan toimintatapaohjeen muodostaminen, eikä pelkkä toimintatapojen vertaileminen. Voidaankin todeta, että opinnäytetyössä saavutettiin sille asetetut tavoitteet.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyön lopputuloksena syntynyt toimintatapaohje saatiin toteutettua onnistuneesti ja kaikkia osapuolia hyödyttäväksi kokonaisuudeksi.

## LÄHDELUETTELO

- Asikainen, V. & Peltola, S. 2011. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Helsinki: Opetushallitus
- Asumisterveysohje. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriö. Helsinki: Edita Publishing
- Asumisterveysopas. 2005. Sosiaali- ja terveysministeriö. Pori: Ympäristö- ja Terveyslehti.
- Hiukkasmaiset epäpuhtaudet. 2008. Sisäilmayhdistyksen verkkosivut. Viitattu 11.12.2013.  
<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/sisailmasto/hiukkasmaiset-epapuhtaudet/>
- Keinänen, H. 2013. Hyvät tutkimustavat betonirakenteisten lattioiden muovipäällysteiden korjaustarpeen arviointiin. Opinnäytetyö. Itä-Suomen Yliopisto, Koulutus- ja kehittämispalvelu Aducate, Rakennusterveys. Viitattu 16.04.2013.
- Kemialliset epäpuhtaudet. 2008. Sisäilmayhdistyksen verkkosivut. Viitattu 11.12.2013.  
<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/sisailmasto/kemialliset-epapuhtaudet/>
- Kemialliset tutkimukset. 2008. Sisäilmayhdistyksen verkkosivut. Viitattu 05.01.2014.  
<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/ongelmien-tutkiminen/muut-sisailmatutkimukset/kemialliset-tutkimukset/>
- Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. 1997. Ympäristöministeriö. Helsinki: Rakennustieto.
- Lausunto Dnro 6195/11.02.00/2011 VOC-mittaustulosten tulkinnasta asuntojen terveyshaitta-asioissa. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontaviraston lausunto. Viitattu 30.08.2011.  
[http://www.valvira.fi/files/tiedostot/v/o/VOC\\_lausunto\\_ESAVI.pdf](http://www.valvira.fi/files/tiedostot/v/o/VOC_lausunto_ESAVI.pdf)
- Melun mittaaminen. 2011. Työterveyslaitoksen verkkosivut. Viitattu 20.04.2014  
[http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun\\_mittaaminen/sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/melu/melun_mittaaminen/sivut/default.aspx)
- Merikallio, T., Niemi, S. & Komonen, J. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Lahti: Betonikeskus / Suomen Betonitieto.
- Mineraalivillakuitupäästöt. 2008. Sisäilmayhdistyksen verkkosivut. Viitattu 15.04.2014.  
<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kunnossapito-ja-korjaaminen/lvi-tekniikka/mineraalivillakuitupäästöt/>



Oksa, Korhonen, Koistinen. N.d. Asbesti rakennustyössä tietopaketti. Työterveyslaitos. Viitattu 19.12.2013.

[http://www.ttl.fi/fi/toimialat/rakennus/turvapakki/vaaralliset\\_aineet/eristeaineet/asbestituotteet/Documents/asbesti\\_rakennustyossa.pdf](http://www.ttl.fi/fi/toimialat/rakennus/turvapakki/vaaralliset_aineet/eristeaineet/asbestituotteet/Documents/asbesti_rakennustyossa.pdf)

PAH-yhdisteet ja niiden esiintyminen. 2010. Työterveyslaitoksen verkkosivut. Viitattu 05.12.2013.

[http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista\\_kemikaalitietoa/PAH-yhdisteet\\_ja\\_niiden\\_esiintyminen/Sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/kemikaaliturvallisuus/ainekohtaista_kemikaalitietoa/PAH-yhdisteet_ja_niiden_esiintyminen/Sivut/default.aspx)

PCB rakennuksissa. 2004. Ympäristöministeriö. Viitattu 12.02.2014.

<http://www.ym.fi/download/noname/%7B29659319-D0F9-4B77-8718-195FC0A6B680%7D/37629>

Perustus ja alapohja. 2008. Sisäilmayhdistyksen verkkosivut. Viitattu 08.05.2014.

<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kosteusvauriot/kosteusvaurioituminen/perustus-ja-alapohja/>

Priha, E., Anttila, P., Ahonen, I., Elovaara, E., Mäkelä, M., Vainiotalo, S., Zitting, A. & Santonen, T. 2010. PAH-yhdisteiden tavoitetasoperustelumuistio. Työterveyslaitos. [http://www.ttl.fi/fi/tyoturvallisuus\\_ja\\_riskien\\_hallinta/riskien\\_hallinta/Documents/PAH\\_tavoitetasot.pdf](http://www.ttl.fi/fi/tyoturvallisuus_ja_riskien_hallinta/riskien_hallinta/Documents/PAH_tavoitetasot.pdf)

RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.

Sisäilman epäpuhtaudet. 2010. Työterveyslaitoksen verkkosivut. Viitattu 19.12.2013.

[http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma\\_ja\\_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman\\_epapuhtaudet/ammoniakki/Sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuhtaudet/ammoniakki/Sivut/default.aspx)

Terveyden suojelu. 2014. Hiukkaset ja kuidut. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. Viitattu 02.03.2014.

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

Terveyden suojelu. 2014. Orgaaniset yhdisteet. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto. Viitattu 02.03.2014.

[http://www.valvira.fi/ohjaus\\_ja\\_valvonta/terveydensuojelu/asumisterveys/kemikaalit/orgaorgaor\\_yhdisteet](http://www.valvira.fi/ohjaus_ja_valvonta/terveydensuojelu/asumisterveys/kemikaalit/orgaorgaor_yhdisteet)

Vesikatto ja yläpohja. 2008. Sisäilmayhdistyksen verkkosivut. Viitattu 27.01.2014.

<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kosteusvauriot/kosteusvaurioituminen/vesikatto-ja-ylapohja/>

Välipohja- ja väliseinärakenteet. 2008. Sisäilmayhdistyksen verkkosivut. Viitattu 26.01.2014.

<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/kosteusvauriot/kosteusvaurioituminen/valipohja-ja-valiseinarakenteet/>