

Opinnäytetyö (YAMK)

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

2016

Petri Hakala

UUDEN OMAKOTITALON SISÄILMA NYT JA TULEVAISUUDESSA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Petri Hakala

UUDEN OMAKOTITALON SISÄILMA NYT JA TULEVAISUUDESSA

Hengitämme päivittäin tuhansia litroja sisäilmaa, joten sen laadulla on merkittävä vaikutus terveyteemme. Yksi nykyaikaisten energiatehokkaiden rakennusten haasteista kohdistuu sisäilman laadun ylläpitämiseen. Tutkimustietoa tarvitaan epäpuhtauksien ja niiden pitoisuuksien kehittymisestä pitkällä aikavälillä. Turun ammattikorkeakoulun projektissa seurataan kahden lähes identtisen, energiatehokkaan omakotitalon olosuhteita viiden ensimmäisen käyttövuoden aikana. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda kirjallisuuskatsauksen, riskikartoituksen ja lähtötasomittausten avulla toimintaohje sisäilman viisivuotisseurantaan.

Sisäilmassa on aina epäpuhtauksia, kuten hiukkasia, mikrobeja ja kaasuja, jotka ovat peräisin sekä sisätiloista että ulkoilmasta. Hyvässä sisäilmassa ei ole haitallisiksi todettuja epäpuhtauksia tai epäpuhtauksien pitoisuudet alittavat niille asetetut viitearvot. Sisäilman haitallisimmat epäpuhtaudet Suomessa ovat pienhiukkaset, radon ja bioaerosolit. Näitä voidaan hallita tehokkaimmin ilmanvaihdolla, tuloilman suodattamisella ja suosimalla vähäpäästöisiä materiaaleja.

Lähtötasomittaukset suoritettiin vuoden ikäisistä, asuttamattomista kohteista. Tulosten perusteella samankaltaisten rakennusten sisäilmassa oli eroja jo elinkaaren alkuvaiheessa. Merkittävimpänä havaintona oli muutamien kosteusvaurioon viittaavien mikrobilajien tunnistaminen etenkin toisen kohteen sisäilmasta. Pienimpien mitattujen hiukkasten määrä kasvoi illalla, mikä selittyy lähialueiden puunpoltolla sillä pienimmät hiukkaset läpäisevät kohteissa olevat suodattimet. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet olivat pääosin matalia vuoden kestäneen huuhtoutumisjakson ansiosta.

Tulosten perusteella on tärkeää seurata säännöllisesti kohteiden sisäilman mikrobipopulaation kehittymistä. Hiukkasmittauksissa tulee huomioida erilaisten sisä- ja ulkoympäristön olosuhteiden ja toimintojen vaikutus pitoisuuksiin. Epäpuhtauksien pitoisuuksia on kuitenkin tarkasteltava rakennuksista saatavan muun mittaustiedon rinnalla. Sisäilman sisältämiin epäpuhtauksiin vaikuttavat rakenteiden eri kerrosten olosuhteet, painesuhteet sisä- ja ulkoilman välillä, rakennuksen tiiviys ja ilmanvaihtuvuus.

ASIASANAT:

Sisäilma, omakotitalo, mikrobi, hiukkanen, VOC

MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Master of Engineering | Environmental Technology

2016 | 105 pages

Instructors: Juha Leimu & Erkki Tuomaala

Petri Hakala

INDOOR AIR QUALITY IN A NEW DETACHED HOUSE

We spend a lot of our time at homes, schools and offices – thus, the quality of indoor air is important to our health. The goal to construct more energy-efficient buildings creates a great challenge to the achievement of a healthy indoor environment. Therefore, the quality of indoor air should be investigated comprehensively already at the beginning of the building life-cycle. The conditions of two new and almost identical detached houses with a wooden structure are monitored in a project by Turku University of Applied Sciences. The aim of this thesis was to generate a framework for an indoor air 5-year follow-up with the help of literature review, risk management and starting level measurements.

Indoor air contains always pollutants such as dust, microbes and gases which are from indoor or outdoor sources. Indoor air is considered good when the concentration of pollutants is below the target levels. In Finland the most adverse health effects are related to fine particles, radon and dampness/mould. Ventilation, air filtration and the use of low emitting materials are the major tools to control exposure to air pollutants.

At the time of the measurements the houses were ca. one year old and not inhabited. Although the houses are similar, some differences between the selected exposures were already observed. Particularly, indoor microbiological flora indicated possible moisture associated mycoflora especially in the other of the studied houses. In both houses there was a significant growth of the finest measured particles in the evening, possibly explained by wood combustion in the neighborhood. The concentrations of volatile organic compounds were relatively low, likely due to long rinsing time and no housing activities.

Based on the results, regular, annual monitoring of indoor microbial flora is needed. Indoor air particle concentration should be measured in diverse indoor and outdoor circumstances. Furthermore, the monitoring of physical factors such as temperature, humidity, ventilation, pressure difference and air tightness should be linked contiguously to indoor air measurements to ensure good living conditions.

KEYWORDS:

Indoor air, detached house, microbe, particle, VOC

SISÄLTÖ

KESKEISET TERMIT JA LYHENTEET	8
1 ALUKSI	10
2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE	11
3 JOHDATUS SISÄILMAAN	13
3.1 Mitä on sisäilma?	13
3.2 Sisäilma osana rakennuksen elinkaarta	14
3.3 Sisäilma tutkimuskohteena	15
3.4 Sisäilmaan liittyvät terveyshaitat	17
4 LAINSÄÄDÄNTÖ JA OHJEISTUKSET	19
4.1 Sisäilmastoluokitus 2008	20
4.2 Energiatehokkuuden lisäämisen vaikutus sisäilman laatuun	22
5 EPÄPUHTAUKSIEN HALLINTA	23
5.1 Sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus	25
5.2 Ilmanvaihto	25
5.3 Rakennusmateriaalit	31
5.3.1 Materiaalien luokkakohtaiset vaatimukset	32
5.3.2 Materiaalien päästöt todellisissa olosuhteissa	34
5.3.3 Materiaalivalinnat sisäilman laadun näkökulmasta	35
6 SISÄILMAN EPÄPUHTAUDET	38
6.1 Epäpuhtauksien jaottelu	38
6.2 Kaasumaiset yhdisteet	40
6.2.1 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	40
6.2.2 Formaldehydi ja muut aldehydit	44
6.2.3 Ammoniakki ja amiinit	46
6.2.4 Otsoni ja typpidioksidi	47
6.2.5 Radon	48
6.2.6 Hiilidioksidi (CO ₂)	49
6.3 Hiukkaset ja huonepöly	50
6.4 Kosteusvauriot	54

6.4.1 Materiaalien päästöt kosteusvaurioissa	54
6.4.2 Mikrobiologista alkuperää olevat epäpuhtaudet	55
7 EPÄPUHTAUKSIEN PITOISUUKSISSA TAPAHTUVAT MUUTOKSET	60
7.1 Epäpuhtauksien päästöprofiilit	60
7.2 Vuorokauden ja vuodenajan vaikutus pitoisuuksiin	62
7.3 Materiaalipäästöjen pitkän aikavälin muutokset	62
7.4 Kosteusongelmiin liittyvät pitoisuusmuutokset	63
8 TUTKIMUSKOHTTEEN ESITTELY	64
9 SISÄILMAN LAATUUN LIITTYVÄ RISKIARVIOINTI	66
9.1 Rakenteet	66
9.2 Materiaalivalinnat	67
9.3 Ilmanvaihdon riittävyys	68
9.4 Ilman suodatus	69
9.5 Rakennusten sijainti	70
9.6 Rakentaminen	71
9.7 Ongelmatilanteiden ennakoitavuus	71
9.8 Asuminen	71
10 SISÄILMAN MITTAAMINEN	73
10.1 Rakennuksen käyttötilanteet	73
10.2 Sisäilmamittausten määrittäminen	74
10.2.1 Mittausten luokitus	74
10.2.2 Mittausten suorittaminen	76
10.2.3 Tulosten analysointiin liittyvä epävarmuus	77
11 TULOKSET - ILMANLAADUN LÄHTÖTASO	78
11.1 Mittaustulokset	78
11.1.1 Hiukkaset	79
11.1.2 Mikrobit	84
11.1.3 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)	88
11.2 Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset	92
11.3 Fysikaaliset olosuhteet (monitorointijärjestelmä)	95
12 TOIMINTAOHJE SISÄILMAN LAADUN 5-VUOTISSEURANTAAN	97

13 LOPUKSI	101
-------------------	------------

LÄHTEET	102
----------------	------------

LIITTEET

Liite 1. Tutkimuskohteiden julkisivut, pohjaratkaisu ja rakennetyypit.

Liite 2. VOC-yhdisteiden viitearvoja ja lähteitä.

Liite 3. Mittauspisteiden identifiointi.

Liite 4. Mikrobinäytteiden testausseleste.

Liite 5. VOC-näytteiden analyysivastaus.

KUVAT

Kuva 1. Opinnäytetyö osana Turun ammattikorkeakoulun projektia.	12
Kuva 2. Periaatteellinen kuvaus sisäilman muodostumisesta.	13
Kuva 3. Rakentamisen laatupyramidi.	15
Kuva 4. Sisäilmatutkimukseen liittyvät ongelmat ja haasteet.	16
Kuva 5. Sisäilmastoluokituksen (2008) rakenne.	21
Kuva 6. Sisäilman laadun perustan muodostavat ja epäpuhtauksien määrään vaikuttavat tekijät rakennuksen elinkaaren aikana.	23
Kuva 7. Ilmanvaihdon tarve suhteessa epäpuhtauden pitoisuuteen (EN 15251:2007 mukailten).	27
Kuva 8. Materiaaleista vapautuvien yhdisteiden muodostuminen materiaalin valmistuksen ja käytön aikana (Uhde & Salthammer 2007 mukailten).	34
Kuva 9. Sisäilman epäpuhtaudet (ideoitu lähteestä Wolkoff 2001).	39
Kuva 10. Epäpuhtauspitoisuuksien periaatteellisia käyttäytymisprofiileja (ideoitu lähteestä ISO 16 000-5:2007).	61
Kuva 11. Mittaustuloksen epävarmuuteen ja tulosten vertailukelpoisuuteen vaikuttavia tekijöitä.	77
Kuva 12. Pienhiukkaset, kohde 1.	81
Kuva 13. Pienhiukkaset, kohde 2.	81
Kuva 14. Hengitettävät hiukkaset, kohde 1.	82
Kuva 15. Hengitettävät hiukkaset, kohde 2.	82
Kuva 16. Kohde 2, kodinhoituhuone, MA-2 -elatusalusta.	87
Kuva 17. Kohde 2, kodinhoituhuone, THG-elatusalusta.	88
Kuva 18. Sisäilmaseuranta Turun ammattikorkeakoulun projektissa.	97

TAULUKOT

Taulukko 1. Ihmisistä ja materiaaleista syntyvään epäpuhtauskuormaan perustuvan ilmanvaihdon mitoitus käytettäessä M1-luokan materiaaleja (EN 15251 2007; Sisäilmastoluokitus 2008).	29
--	----

Taulukko 2. Vähäpäästöisten materiaalien vaatimukset (EN 15251:2007; Sisäilmastoluokitus 2008).	33
Taulukko 3. Merkittävimmät sisäilman epäpuhtauksien lähteet (Asumisterveysopas 2009).	39
Taulukko 4. Orgaanisten yhdisteiden jaottelu niiden kiehumispisteen perusteella (Asumisterveysopas 2009).	41
Taulukko 5. Sisäilmassa olevien hiukkasten jaottelu sekä eri kokoluokkien yhteys ihmisen hengityselimistöön ja sisäilmatutkimukseen (Salonen ym. 2011).	51
Taulukko 6. Esimerkkejä sisätiloissa havaittavien mikrobisukujen, -lajien ja ryhmien merkityksestä sisäilman laadulle (Asumisterveysopas 2009; Salonen ym. 2011).	58
Taulukko 7. Rakennusten perustiedot sisäilman laadun kannalta (Leppäranta 2015).	65
Taulukko 8. Tutkimuskohteiden minimi-ilmamäärät eri sisäilmastoluokissa.	69
Taulukko 9. Rakennuksen käyttötilanteet sisäilman laadun tutkimuksessa.	74
Taulukko 10. Hiukkasmittausten tulokset.	80
Taulukko 11. Mikrobimääritysten tulokset ja haitalliset mikrobilajit.	84
Taulukko 12. Yhteenveto VOC-määrittämisistä.	89
Taulukko 13. Sisäilman laadun seurannan välittömät indikaattorit.	98
Taulukko 14. Sisäilman laadun seurannan välilliset indikaattorit.	99

KAAVAT

Kaava 1. Ilmamäärän tarve.	27
Kaava 2. Epäpuhtauden kertyminen sisäilmaan.	27

KESKEISET TERMIT JA LYHENTEET

6-vaiheimpaktori	Andersen-keräin, jolla imetään ilmaa kuudelle elatusmaljalle ja joka erottelee ilman mikrobit kuuteen eri kokoluokkaan.
Allergeeni	Allergisen reaktion aiheuttavat hengitysilmassa olevat valkuaisaineet, jonka lähde voi olla esim. eläinhilse, homesienten itiöt, hyönteiset ja erilaiset orgaaniset pölyt.
As built	Rakennuksen käyttötilanne, jossa se on käyttövalmiina, mutta ei vielä normaalikäytössä eikä sisustettuna.
At rest	Rakennuksen käyttötilanne, jossa se on normaalikäytössä, mutta asukkaat eivät ole mitaushetkellä tiloissa.
Aktinomykeetti	Sädesieni, jolla on muista bakteereista poiketen kyky muodostaa sienten tapaan itiöitä ja rihmastoa.
Bioaerosoli	Elävä tai eloperäisestä aineesta lähtöisin oleva hiukkanen kuten siitepölyt, mikrobien itiöt, bakteerit, virukset tai eläinhilse.
CFU	Colony Forming Unit; mikrobipesäkkeen muodostava yksikkö (myös pmy tai kpl).
Emissio	Materiaalista huoneilmaan vapautuva kemiallinen päästö.
Endotoksiini	Gram-negatiivisten bakteerien solukalvon haitallisia rakennosia kuten lipopolysakkarideja.
Glukaanit	Homesienten pintarakenteessa olevia aineita.
Homesienet	Mikrosieniin kuuluvia sieniä, jotka vaikuttavat sisäilmaan tuottamalla 1–10 µm kokoisia sieni-itiöitä.
Ilmanvuotoluku	Rakennuksen tiivyyttä kuvaava luku, joka ilmoittaa rakennuksen vaipan läpi kulkeutuvan tilavuusvirran suhteessa asunnon tilavuuteen 50 Pascalin alipaineessa mitattuna.
Indikaattorimikrobi	Homesieni tai bakteeri, jolla on havaittu olevan yhteys rakennuksessa olevaan kosteusongelmaan.
I/O-suhde	Indoor/Outdoor –suhde; mitattavan epäpuhtauden pitoisuuden sisä- ja ulkoilman välinen suhde.
Kosteusvaurio	Rakennetta todennäköisesti vaurioitava ylimääräinen kosteus, joka voi olla peräisin rakennusvaiheesta, kosteuden siirtymisestä tai vuodosta. Voi johtaa mikrobivaurioon.
M1, M2, M3	Rakennusmateriaalien päästöluokitus, jossa M1 kuvaa vähäpäästöisintä luokkaa.
mVOC	Microbial Volatile Organic Compound; mikrobien aineenvaihdunnan tuotteena syntyvät VOC-yhdisteet.

Mykotoksiini	Homemyrky; haitallisten homesienten tuottamia terveydelle haitallisia myrkyjä.
Operational	Rakennuksen normaali käyttötilanne.
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; polysykliset aromaattiset hiilivedyt; karsinogeeninen palamisreaktioiden sivutuote.
PBDE	Polybrominated diphenyl ether; polybromatut difenyylietterit, joita käytetään palonestoaineina kuluttajatuotteissa.
Paine-ero/-suhde	Ilmanpaineen erotus rakennusvaipan ylitse. Ilman virtaus-suunta on ylipaineisesta tilasta kohti alipaineista tilaa.
PID	Photo Ionization Detector; fotoionisaatiidetektor.
PM ₁₀	Hengitettävät hiukkaset; aerodynaamiselta halkaisijaltaan ≤10 µm olevien hiukkasten massapitoisuus (Particulate Matter).
PM _{2,5}	Pienhiukkaset; aerodynaamiselta halkaisijaltaan ≤2.5 µm olevien hiukkasten massapitoisuus (Particulate Matter).
POM	Particulate Organic Matter; hiukkasiin sitoutuneet orgaaniset yhdisteet.
ppm	Parts per million; epäpuhtauden massa suhteessa ilmaseoksen massaan eli pitoisuus. 1 ppm = 1 mg/kg tai 0,0001 %.
RH	Relative Humidity; suhteellinen kosteus on ilman vesihöyryn osapaineen suhde vallitsevan lämpötilan määräämään vesihöyryn kylläiseen osapaineeseen.
Riskirakenne	Rakennerratkaisu, jonka kosteustekninen toiminta on puutteellista ja joka voi johtaa rakenteen tavanomaista nopeampaan vaurioitumiseen.
S1, S2, S3	Sisäilmastoluokitus, jossa S1 kuvaa parasta sisäilmatasoa.
SVOC	Semivolatile Organic Compound; puolihaihtuva orgaaninen yhdiste.
TVOC	Total Volatile Organic Compounds; orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus pois lukien ryhmät VVOC ja SVOC.
TXIB	2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol di-isobutyry; muovituotteissa käytetty pehmitin.
VOC	Volatile Organic Compound; yhteisnimitys haihtuville orgaanisille yhdisteille.
VVOC	Very Volatile Organic Compound; erittäin haihtuva orgaaninen yhdiste.
WHO	World Health Organization; Maailman terveysjärjestö.

1 ALUKSI

Puhdas ilma on yksi elämisen perusedellytyksistä ja ihmisellä on oikeus puhtaaseen ulko- ja sisäilmaan. Ihminen viettää suuren osan elämästään sisätiloissa, joten sisäilman laadulla on merkittävä vaikutus ihmisen hyvinvointiin ja terveyteen. Aina viime vuosiin asti yleinen huoli ilman epäpuhtauksista on keskittynyt enimmäkseen ulkoilman sisältämiin saasteisiin (WHO 2009, 13).

Sisäilmasto-käsite alkoi muodostua 1970-luvulla. Taloista ja tiloista, jotka aiheuttivat ihmisille outoja hengitysteiden ja limakalvojen yleisoireita, alettiin käyttää termiä ”sairas rakennus”. Sisäilman laatuun ja tutkimiseen alettiin kuitenkin kiinnittää erityistä huomiota vasta seuraavalla vuosikymmenellä, jolloin huono sisäilma yhdistettiin korkeisiin formaldehydi- ja mikrobipitoisuuksiin (Puhakka & Kärkkäinen 1994, 15–16). Parempaan sisäilmastoon tähtäävää työtä Suomessa tekevä Sisäilmayhdistys ry. on perustettu vuonna 1990, samaan aikaan kun rakennuksissa piilevät homeongelmat alkoivat konkretisoitua. Sisäilmatutkimuksen historia on siis verraten lyhyt ottaen huomioon, että monet yhä asuttamamme rakennuksista ovat valmistuneet jo 1960-luvulla tai aikaisemmin.

Syynä 1970-luvulla valmistuneiden rakennusten sisäilmaongelmiin pidetään energiakriisin synnyttämää tarvetta rakentaa tiiviimpiä ja eristävämpiä taloja. Riittämätön ilmanvaihto ja rakenteiden kosteustekniset virheet johtivat kuitenkin pahoihin sisäilmaongelmiin (Puhakka & Kärkkäinen 1994, 15). Nykyään rakentamisen tavoitteet ja haasteet ovat hyvin samankaltaiset kuin 40 vuotta sitten; lait ja määräykset ovat johtaneet uusien, energiatehokkaampien rakennusten kehittämiseen ilmaston lämpenemisen ehkäisemiseksi. Energiatehokkuuden lisäksi nykyaikaisten rakennusten tulee tarjota käyttäjilleen terveellinen sisäilma.

2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE

Kuluvalla vuosituhanella Suomessa on rakennettu vuosittain 8000–16000 omakotitaloa. Erialaisten talopakettien suosio on ollut viime vuosina kasvussa ja niiden osuus taloaloituksista oli vuonna 2013 jo lähes 80 %. Kiristyneet energiamääräykset ovat merkittävässä osassa kyseiselle kehitykselle (Pientaloteollisuus PTT ry 2013).

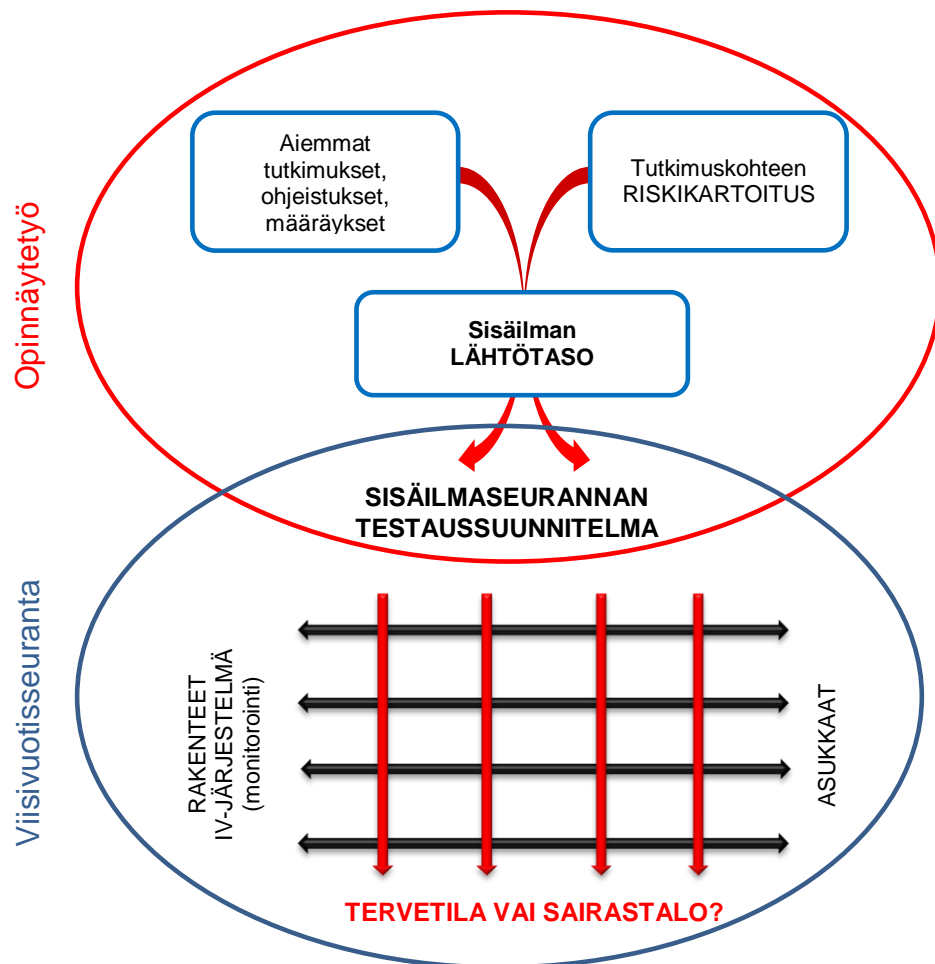
Energiatohokkaiden nk. tulevaisuuden rakennusten tutkimukset ovat keskittyneet pääasiassa energian kulutukseen ja lämpöviihtyvyyteen. Niin tutkimuksessa kuin käytännön rakentamisessa tulisi huomioida paremmin sisäilman laatuun vaikuttavat epäpuhtaudet. (Bernstein ym. 2008.) Pitkäkestoiset tutkimukset ovat välttämättömiä selvittäessä rakenteiden todellista toimintaa ja eri tekijöiden vaikutusta sisäilman laatuun (Derbez ym. 2014; Langer ym. 2015). Uudet tutkimukset ovat tärkeitä kartoitettaessa nykyaikaisten rakennusten tulevaisuuden ongelmia ja rakentamiseen sekä ylläpitoon sovellettavia käytäntöjä.

Opinnäytetyö kuuluu osana Turun ammattikorkeakoulun projektia, jossa seurataan kahden lähes samanlaisen puurunkoisen omakotitalon olosuhteita ja energian kulutusta todellisissa olosuhteissa viiden vuoden ajan. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää merkittävimmät nykyaikaisen omakotitalon sisäilman laatua heikentävät epäpuhtaudet, niiden tyypilliset pitoisuudet ja testatarve seuranta-tutkimuksessa. Työn päätavoitteena on laatia testaus-suunnitelma sisäilman viisivuotisseurantaan.

Opinnäytetyö osana ”Living lab” -projektia

Tässä opinnäytetyössä kuvataan kirjallisuuskatsauksen, riskikartoituksen ja lähtötasomääritysten perusteella tutkimuskohteiden viisivuotisseurannan testaus-suunnitelma. Yksi viisivuotisseurannan tärkeimmistä tavoitteista on selvittää sisäilman epäpuhtauspitoisuuksien kausittainen vaihtelu ja ajallinen kehitys tutkimuskohteen kaltaisissa rakennuksissa. Tässä opinnäytetyössä määriteltävän sisäilmaseurannan tarkoitus on toimia muun mittaustiedon ja asukkaiden koke-

musten rinnalla arvioitaessa rakennusten toimintaa, kuntoa ja niiden tarjoamaa asumisviihtyvyyttä (kuva 1).

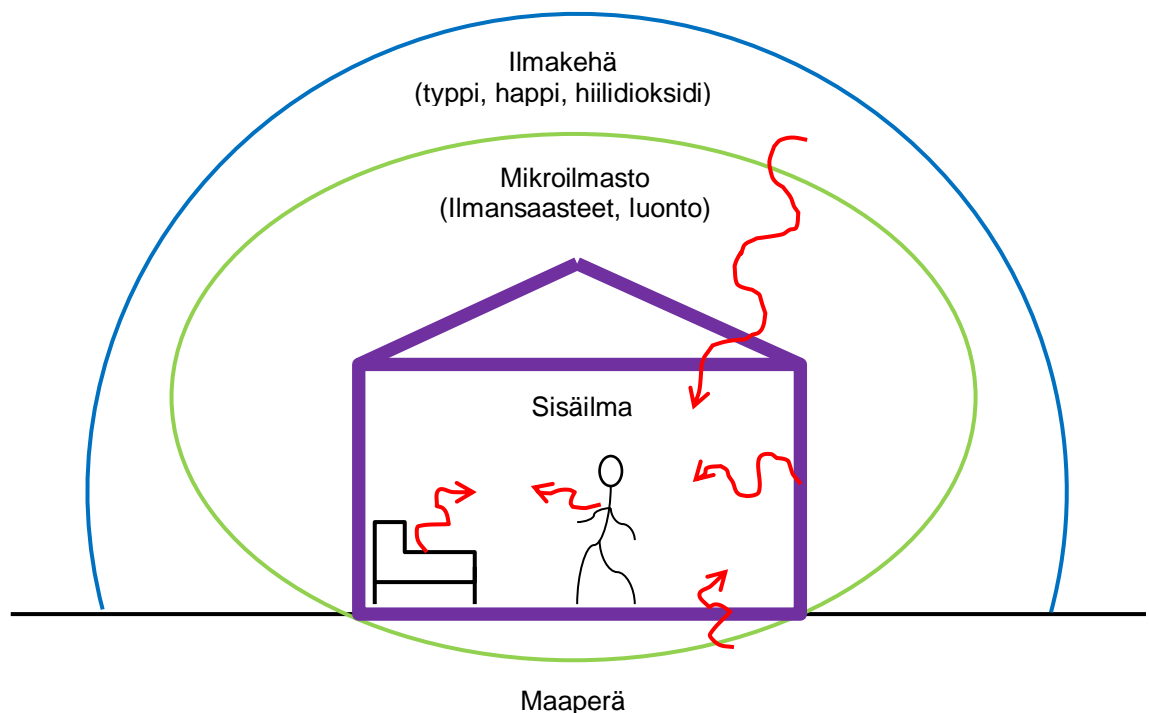


Kuva 1. Opinnäytetyö osana Turun ammattikorkeakoulun projektia.

3 JOHDATUS SISÄILMAAN

3.1 Mitä on sisäilma?

Sisäilmasto on kokonaisuus, jonka muodostavat rakennuksen fysikaaliset tekijät ja sisäilma. Fysikaalisiin tekijöihin lukeutuvat ilman lämpötila sekä suhteellinen kosteus, ilmanvaihto, valaistus ja ääniolosuhteet. Sisäilmalla tarkoitetaan ilmaa, joka hengitettäessä kulkeutuu keuhkoihin. Sisäilma koostuu puhtaan ilman lisäksi hiukkasmaisista, mikrobiologisista ja kaasumaisista epäpuhtauksista. Rakennuksen sisäilma määritellään hyväksi, mikäli ihmiset kokevat itsensä tiloissa hyvinvoiviksi ja epäpuhtauksissa ei havaita raja-arvoja ylittäviä tai terveydelle haitallisia pitoisuuksia. Sisäilmassa on epäpuhtauksia sisä- ja ulkolähteistä. Epäpuhtauksien pitoisuudet vaihtelevat vuorokauden ja vuoden ajan mukaan esim. tilojen käytön, henkilömäärän, liikenteen vilkkauden tai luonnon aktiivisuuden mukaan. (Asumisterveysohje 2003, 9, 56 & 71.)



Kuva 2. Periaatteellinen kuvaus sisäilman muodostumisesta.

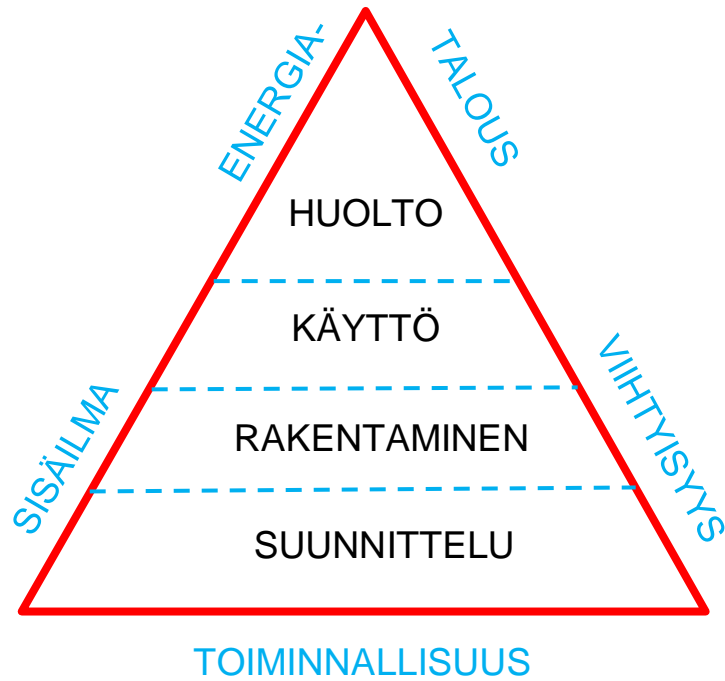
Epäpuhtauksien lähteinä toimivat ulkoilma, tilojen käyttäjät, rakennus- sekä sisustusmateriaalit, rakenteiden kosteus ja maaperä. Epäpuhtauksia voi virrata käsittelemättömän ulkoilman mukana ilmanvaihtojärjestelmästä, läpivienneistä ja mahdollisista raoista. Ulkoilman sisältämiä epäpuhtauslähteitä ovat mm. teollisuuden päästöt, liikenteen pakokaasut, muut polttoprosessit, kasvillisuuden siitepöly ja mikrobien itiöt. Sisätiloissa epäpuhtaudet syntyvät pääasiassa tilojen käyttäjistä ja heidän toiminnoistaan; aineenvaihdunta, ruoanlaitto, kemikaalit, harrastukset ja tulisijojen käyttö tuottavat sisäilmaan hetkittäisesti epäpuhtauksia ja hajuja. (Asumisterveysohje 2003, 21.) Rakennus- ja sisustusmateriaalien päästöt ovat suurimmillaan niiden käytön tai asennuksen jälkeisinä viikkoina. Virheelliset materiaalivalinnat tai materiaalien altistaminen kosteudelle voivat lisätä materiaalien päästöjä ja aiheuttaa mikrobikasvua iäkkäämmissäkin materiaaleissa. (WHO 2009, 14–18.)

Epäpuhtauksien hallintaan sovellettavat menetelmät ja niiden tehokkuus riippuvat rakennuksen sijainnista ja käyttötarkoituksesta eli epäpuhtauksia muodostavista lähteistä. Epäpuhtauksien kulkeutumista tai kerääntymistä sisäilmaan voidaan ehkäistä esim. säännöllisellä siivouksella, riittävällä ilmanvaihdolla, ulkoilman suodattamisella ja suosimalla vähäpäästöisiä materiaaleja. Sisäilman laadun kehittymiseen pitkällä aikavälillä vaikuttavat merkittävästi myös rakentamisen aikainen kosteuden hallinta, rakenteiden kosteustekninen toiminta ja rakennuksen käytönaikainen ylläpito kuten huollot. (WHO 2009, 14–18.)

3.2 Sisäilma osana rakennuksen elinkaarta

Rakentamisen tärkein vaihe on suunnittelu, jossa tulee huomioida energiatehokkuuden, toiminnallisuuden ja visuaalisten ratkaisujen lisäksi sisäilman terveellisyyden varmistaminen. Hyvin suunniteltukaan rakennus ei ole suojassa sisäilmaan liittyviltä ongelmilta, mikäli sen rakentamisessa, käytössä tai huolto-toiminnoissa tapahtuu virheitä ja laiminlyöntejä (kuva 3). Sisäilmaa tai siihen liittyvää ongelmaa tulee lähestyä moniulotteisesti. Selvitysprosessiin sisältyy rakennetekniikan, ilmanvaihdon, materiaalien ja ihmisten oireiden arviointi. On-

gelman luonteesta riippuen voidaan suorittaa myös sisäilman laadun tutkimus. (Sisäilmastoluokitus 2008.)



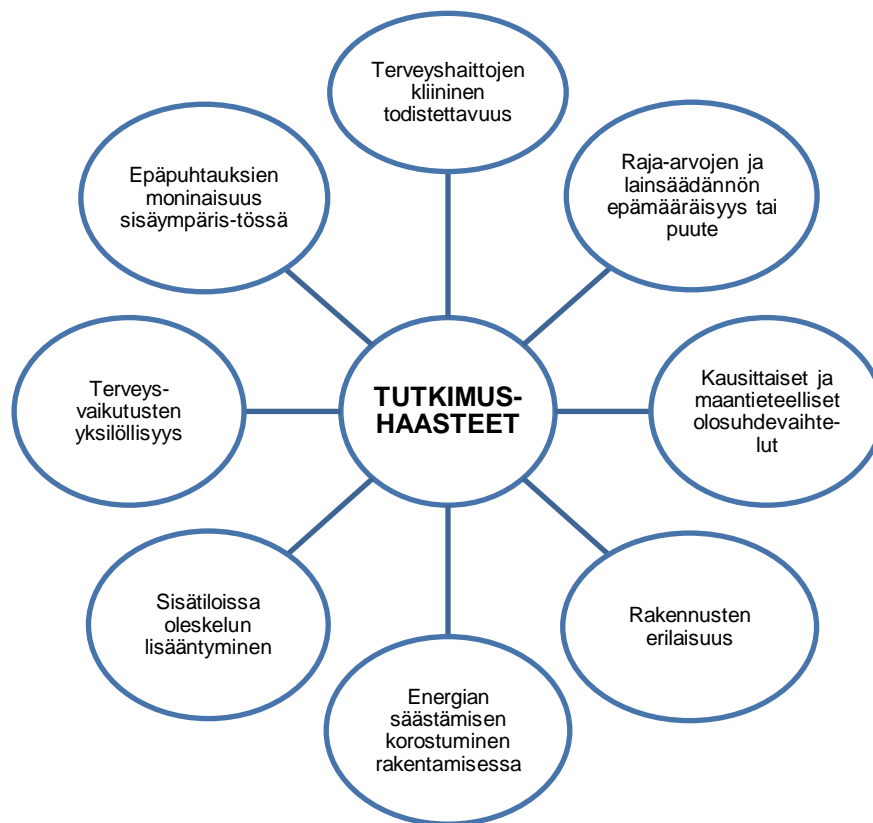
Kuva 3. Rakentamisen laatupyramidi.

3.3 Sisäilma tutkimuskohteena

Sisäilman tutkiminen ja hyvän sisäilman saavuttaminen on osoittautunut haasteelliseksi monista eri syistä (kuva 4). Yleispätevien, rakennusten energiatehokkuuden, oleskelijoiden terveyden sekä tilojen toiminnallisuuden huomioivien standardien kehittäminen ei aina tue parhaan mahdollisen sisäilman saavuttamista. Rakentaminen toteutetaan usein ko. standardien vähimmäisvaatimusten ja epäpuhtauspitoisuuksien ohjearvojen perusteella, jolloin saavutetaan tavallisesti vain tyydyttävä sisäilman laatu. (Bernstein ym. 2008.)

Rakennusten erilaisuus ja ihmisten yksilöllisyys sisäilman kokemisessa monimutkaistavat terveysvaikutusten selvittämistä; ihmisten oireiden perusteella ei

voida yksilöidä oireita aiheuttavia tekijöitä. Sisäilman terveysvaikutusten epätarkkuus on estänyt terveysperusteisten raja-arvojen määrittämisen. Terveysvaikutuksiin liitetään usein varsinaisten epäpuhtauksien lisäksi monia muitakin tekijöitä kuten sisäilmaston fysikaaliset olosuhteet kuten lämpötila, suhteellinen kosteus ja vetoisuus. Etenkin työympäristössä ihmisen hyvinvointiin vaikuttaa myös psykososiaalinen ympäristö, joka muodostuu mm. työmäärästä, työn arvostuksesta ja ihmisten välisestä vuorovaikutuksesta. (Bernstein ym. 2008.)



Kuva 4. Sisäilmatutkimukseen liittyvät ongelmat ja haasteet.

3.4 Sisäilmaan liittyvät terveyshaitat

Ymmärrys sekä ulko- että sisäilman merkityksestä ihmisen terveydelle on kasvanut 2000-luvulla merkittävästi. Tuoreimpien WHO:n tekemien arvioiden mukaan ilman epäpuhtaudet ovat suurin yksittäinen ympäristöön liittyvä terveydellinen riskitekijä. Etenkin alhaisen elintason maissa hengitettävä ilma on syynä miljoonien ihmisten ennenaikaiseen kuolemaan. Nykyisen tutkimustiedon valossa myös kehittyneissä maissa esiintyvät ilman epäpuhtauspitoisuudet voivat johtaa vakaviin sairauksiin. (WHO 2014.) Suomessa epäpuhtaan sisäilman aiheuttama päivittäinen tautikuorma on arviolta 13 300 menetettyä tervettä elinvuotta. Vaikutukset esimerkiksi työn tuottavuuteen voivat olla merkittävät lisääntyneinä poissaoloina ja heikentyneenä työtehona. (Hänninen & Asikainen 2013, 9.)

Sisäilman epäpuhtaudet aiheuttavat sekä lyhyt- että pitkäkestoisia terveysvaikutuksia. Lyhytkestoisten allergia- ja ärsytysoireiden esiintyminen on hyvin yksilöllistä. Oireet voivat ilmetä iholla, limakalvoilla, silmissä, hengitysteissä tai keskushermostossa. Allergiset reaktiot aiheuttavat mm. nuhaa ja ihottumaa. Epäpuhtauksiin liittyvien terveyshaittojen vakavuuteen vaikuttavat epäpuhtauden tyyppi ja pitoisuus, altistusaika, ilmanvaihto sekä ihmisen terveydentila. Ilmassa samanaikaisesti esiintyvillä yhdisteillä saattaa olla myös toisiaan vahvistava vaikutus. Sisäilman epäpuhtaudet voivat heikentää asumisviihtyvyyttä jo muutamana tunnin altistuksen jälkeen. (Puhakka & Kärkkäinen 1994, 20–24.)

Epäpuhdas sisäilma on vasta viime vuosina yhdistetty lyhytkestoisten yleisoireiden lisäksi vakaviin sairauksiin, kuten sydän- ja verisuonitauteihin, astmaan, keuhkohtaumatautiin sekä keuhkosityöpään. Pitkäkestoinen altistuminen sisäilman kohonneille pienhiukkas- ja mikrobipitoisuuksille sekä haitallisille yhdisteille lisää riskiä sairastua ja kuolla edellä mainittuihin sairauksiin. Suomessa sisäilman haitallisimmat epäpuhtaudet ja niille altistumisesta johtuvat yleisimmät sairaudet ovat seuraavat:

Epäpuhtaus ja sen suhteellinen osuus sairauksien aiheuttajana:

1. Pienhiukkaset (PM _{2,5})	67 %
2. Radon	16 %
3. Bioaerosolit	7 %
4. Muut	10 %

Sairaus/sairausryhmä ja sen suhteellinen osuus sisäilman epäpuhtauksien aiheuttamasta sairastuvuudesta:

1. Sydän- ja verisuonitaudit	50 %
2. Keuhkosityöpy	24 %
3. Astma	15 %
4. Muut	11 %

(Hänninen & Asikainen 2013, 15–16)

Ihmiset voivat saada hyvin erilaisia oireita saman rakennuksen sisäilmalle altistumisen seurauksena. Oireiden ilmentymiseen vaikuttavat sisäilman epäpuhtauksien ohella myös sisäilmaston fysikaaliset olosuhteet ja esimerkiksi yleisesti työhyvinvointiin rinnastettavat muuttujat. Oireiden yhteyttä tiettyyn epäpuhtautteen tai sisäilmaston ominaisuuteen onkin haasteellista osoittaa. Tästä johtuen ovat syntyneet kiistanalaiset maailmanlaajuiset termit, kuten sairusrakennusoireyhtymä (Sick Building Syndrome), home-oireyhtymä (Toxic Mold Syndrome) ja kemikaaliyliherkkyys (Multiple Chemical Sensitivity). Sisäilmastoon liittyvien oireyhtymien voidaankin katsoa olevan enemmän moni- kuin yksiselitteisiä. (Bernstein ym. 2008.)

4 LAINSÄÄDÄNTÖ JA OHJEISTUKSET

Terveydensuojelulain (763/1994) 26§:n mukaan asunnon sisäilmaston tulee olla pääpiirteittäin miellyttävää ja sisäilman on oltava puhdasta. Sisäilman sisältävät epäpuhtaudet ja asunnon fysikaaliset olosuhteet eivät saa aiheuttaa terveyshaittaa tilassa oleskeleville. Terveydensuojelulain 1 §:n nojalla terveyshaitalla tarkoitetaan esimerkiksi asuinympäristön tekijästä tai olosuhteesta aiheutuvaa sairautta tai sairauden oiretta. Terveyshaittana voidaan pitää altistumista terveydelle haitalliselle aineelle tai olosuhteelle sekä silmin havaittavaa mikrobikasvustoa rakenteissa.

Suomessa asuinrakennusten sisäilman enimmäispitoisuus- ja toimenpiderajoja on saatavilla mm. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista (2015), Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (RakMK D2:2012) ja Rakennustiedon ohjeessa Sisäilmastoluokitus 2008. Soveltuvilta osin voidaan hyödyntää myös Työterveyslaitoksen (2011) toimistotiloille laatimia viitearvoja.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus (2015) sisältää fysikaalisia, kemiallisia ja biologisia altistumistekijöitä koskevia vaatimuksia ja niiden toimenpiderajoja. Vuoden 2015 asetus kumoaa ministeriön julkaiseman Asumisterveysohjeen (2003), jota voidaan kuitenkin hyödyntää edelleen soveltuvilta osin. Suomen rakentamismääräyskokoelma sisältää rakennuksen suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä määräyksiä ja ohjeita, joilla pyritään kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveelliseen, turvalliseen ja viihtyisään sisäilmastoon. Rakennuksen sisäilman fysikaaliset olosuhteet eivät saa määräysten mukaan edistää kosteusvaurioiden muodostumista tai mikrobien kasvua. Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (2012) esitetään mm. sisäilman tärkeimpien epäpuhtauksien raja-arvoja sekä ilmanvaihtoon liittyviä vaatimuksia.

WHO (2006) on määrittänyt raja-arvot tärkeimmille ulkoilman epäpuhtauksille eli ilmansaasteille, joiksi luokitellaan hengitettävät hiukkaset (PM₁₀), otsoni, typpi-

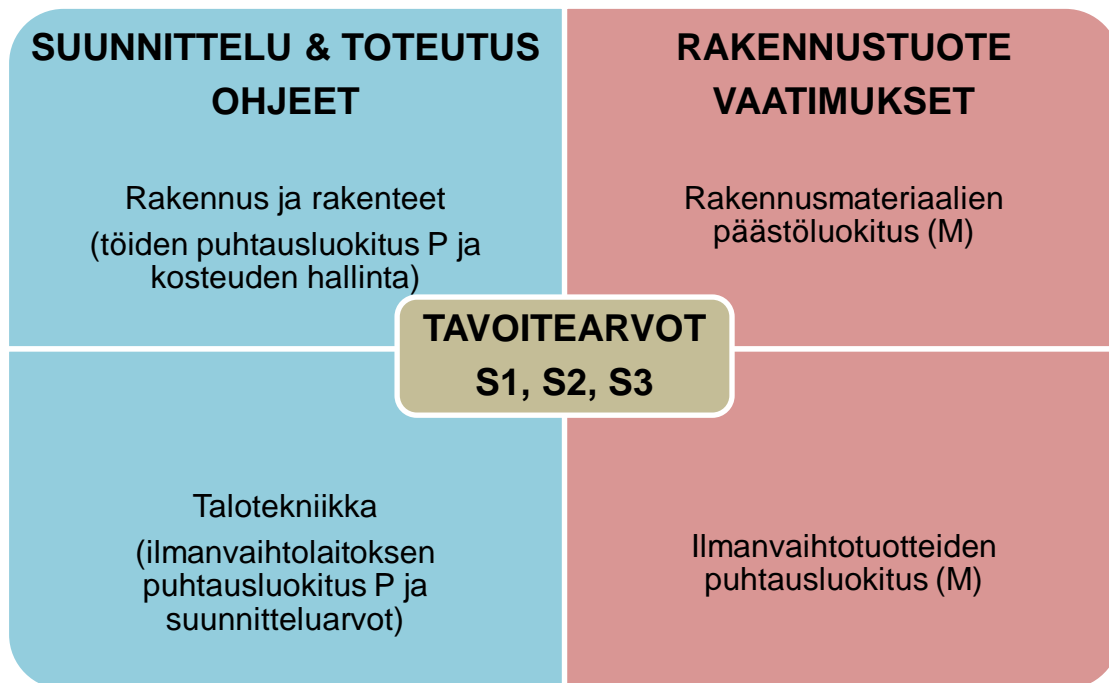
dioksidi ja rikkidioksidi. Monet asiantuntijat suosittelivat sisäilman tavoitepitoisuudeksi puolta ulkoilman vaatimusrajasta, koska sisäilmassa on lisäksi useita ulkoilmassa harvoin tai häviävän pieninä pitoisuuksina tavattavia epäpuhtauksia. Lisäksi epäpuhtauksille herkät ihmiset, kuten vanhukset ja sairaat, viettävät suuren osan ajastaan sisätiloissa. (Bernstein ym. 2008.) WHO on myös laatinut ohjekirjat koskien haitallisimpia sisäilmassa tavattavia yhdisteitä (2010) ja kosteusvaurioita (2009). WHO:n raja-arvoja ja oppaita voidaan soveltaa, kun arvioidaan yksittäisen aineen ärsyttävyyttä tai aineelle altistumisen yhteyttä syöpäriskiin.

Sisäilman laadun suunnittelemiseen tai arvioimiseen ei ole kuitenkaan tällä hetkellä kansallisia tai kansainvälisiä standardeja, jotka tukisivat optimaalisen sisäilman muodostumista. Laadun arvioinnissa hyödynnetään ohje- ja viitearvoja, jotka perustuvat mm. käytännön valvontatyössä hankittuun kokemukseen ja sisäilmatutkimukseen (Asumisterveysohje 2003, 3–4). Useat tahot ovat laatineet raja-arvojen rinnalle suosituksia epäpuhtauslähteiden eliminoimiseksi ja epäpuhtauksille altistumisen vähentämiseksi. Lainsäädännöllä on voitu vaikuttaa julkisten tilojen sisäilman laatuun esimerkiksi tupakan polton rajoituksilla. Selkeiden tavoitearvojen puuttuessa epäpuhtauksien pitoisuuksissa tulisi asettaa tavoitteeksi mahdollisimman pienen altistustason saavuttaminen. (Bernstein ym. 2008.)

4.1 Sisäilmastoluokitus 2008

Sisäilmastoluokitus täydentää muita rakentamismääräyksiä ja ohjeita sekä toimii kansainvälisen EN 15251 -standardin maakohtaisena ohjeistuksena. Se on suunnattu ensisijaisesti uudisrakentamisen apuvälineeksi tarjoten sisäilmaston tavoitearvoja ja rakentamiskäytäntöjä, jotta saavutettaisiin minimivaatimuksia parempi sisäilman taso (kuva 5). Tavoitearvojen saavuttamiseksi luokituksessa esitetään ohjeita rakennusten ja ilmanvaihtolaitosten suunnitteluun, toteuttamiseen ja ylläpitoon. Luokituksessa huomioidaan myös rakennusmateriaaleista aiheutuvat päästöt (M-luokitus) ja rakennus- sekä ilmanvaihtotöiden puhtaus (P-

luokitus). Lisäksi osana sisäilmaston laadunvarmistusta luokituksessa määritetään kattava veden- ja kosteudenhallintasuunnitelma.



Kuva 5. Sisäilmastoluokituksen (2008) rakenne.

Kolmiportainen luokitus jakaa sisäilmaston yksilölliseen (S1), hyvään (S2) ja tyydyttävään (S3) laatuun. Laatu S3 vastaa viranomaisvaatimusten mukaista vähimmäistasoa eli Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksiä ja ohjeita. Luokassa S1 pyritään minimoimaan olosuhdevaihtelut säätömahdollisuuksien ja tehokkaan ilmanvaihdon avulla, jolloin saavutetaan tavallisesti hieman parempi sisäilman laatu luokkaan S2 verrattuna.

Sisäilman laadun arvioimiseen käytettävien mittausten lukumäärää on vähennetty uusimmassa, vuonna 2008 julkaistussa ohjeessa. Jäljelle ovat jääneet terveydelle ja viihtyisyydelle tärkeät tekijät radon ja hiilidioksidi, joihin voidaan vaikuttaa tehokkaasti suunnittelulla tai rakentamisella ja jotka voidaan mitata helposti kohtuullisin kustannuksin. Suositukset formaldehydin, VOC-yhdisteiden ja hengitettävien hiukkasten (PM_{10}) osalta on korvattu teknisillä vaatimuksilla, joita ovat esimerkiksi M1-päästöluokituksen rakennusmateriaalit ja tuloilman

suodatus taajama-alueilla. Luokissa S1 ja S2 kosteuden hallintaan ja rakennus- sekä ilmanvaihtotöiden puhtauteen liittyvien vaatimusten on tarkoitus vähentää sisäilmastoon liittyviä pöly- ja mikrobiongelmia.

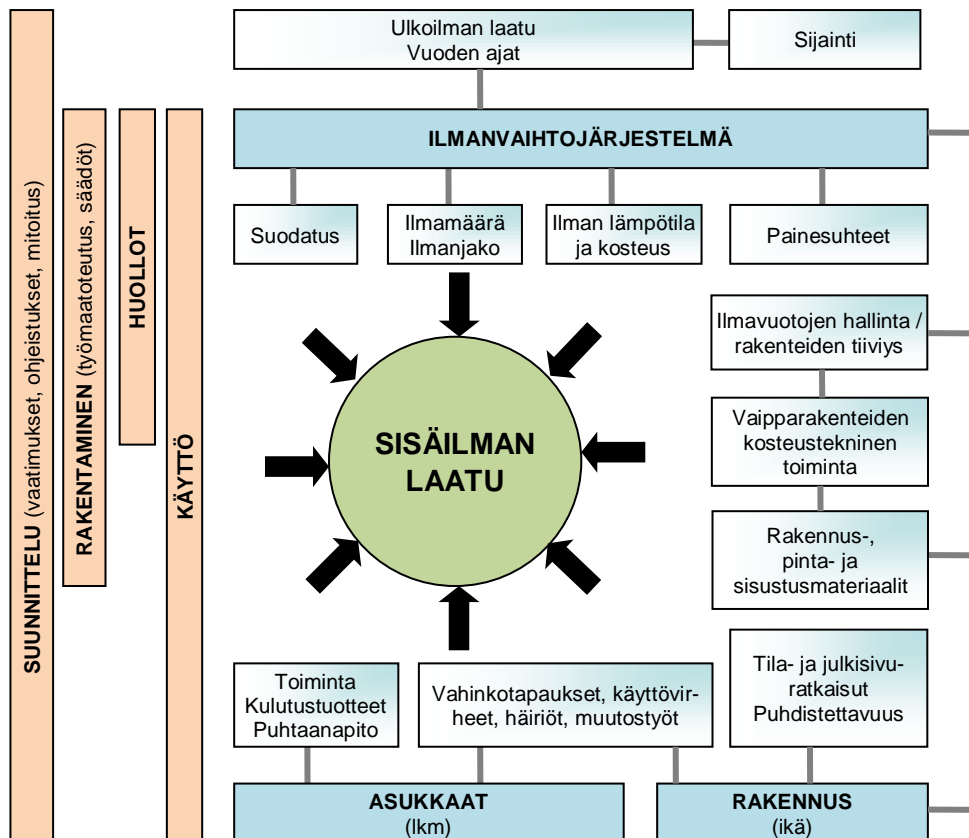
4.2 Energiatehokkuuden lisäämisen vaikutus sisäilman laatuun

Euroopan parlamentin asettaman direktiivin 2010/31/EU mukaan vuoteen 2021 mennessä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiataloja. Myös Suomen rakentamismääräyskokoelman osien D2, D3 ja C3 uusimmissa versioissa suurimmat muutokset kohdistuvat lämmitysenergian kulutuksen vähentämiseen. Muutosten vaikutukset kohdistuvat rakennusten vaipan eristystason parantamiseen, tiiviiden lisäämiseen ja lämmön talteenottolaitteiden kehittämiseen. Paitsi energiankulutukseen, uusilla määräyksillä voi olla välillisiä vaikutuksia myös sisäilman terveellisyyteen, sillä Ilmanlaatu on energiankulutukseen eniten vaikuttava sisäilmastotekijä. Tämän seurauksena myös rakennusten sisäilmastoon liittyvää standardia EN15251 ollaan uudistamassa selkeämpään, uudet energiatehokkuussäädökset ja maakohtaiset erityispiirteet huomioivaan muotoon.

Direktiivin 2010/31/EU mukaan energiatehokkuuden parantaminen ei saa tapahtua sisäilman laadun kustannuksella. Lämmöneristyksen lisääminen ja eristemateriaalivalinnat vaikuttavat kuitenkin rakenteiden kosteus- ja lämpötekniiseen toimintaan. Lämpöhäviöt rakenteen läpi ja rakennetta kuivattavat lämpövirrat pienenevät, jolloin puutteellisesta suunnittelusta, rakentamisesta tai ylläpidosta voi aiheutua kosteusvaurio (Vinha ym. 2012, 1–3). Asianmukaisesti toteutettuna energiatehokkuutta tukevat rakenteet ja järjestelmät voivat vaikuttaa myös suotuisasti sisäilman laatuun ja asumisviihtyvyyteen. Rakenteiden tiiviys ja koneelliset ilmanvaihtojärjestelmät mahdollistavat rakennuksen kokonaisvaltaisemman hallittavuuden. Energiatehokkuuden ohella tulisi korostaa laitteistojen ja järjestelmien helppokäyttöisyyttä ja käyttöön liittyvää koulutusta. (Derbez ym. 2014.)

5 EPÄPUHTAUKSIEN HALLINTA

Koska sisäilman epäpuhtaudet ovat peräisin sekä sisätiloista että ulkoilmasta, on lähteiden tunnistaminen ja epäpuhtauksien hallinta tärkeässä osassa sisäilman laadun varmistamisessa. Epäpuhtauslähteiden vaikuttavuus tulee arvioida tapauskohtaisesti, sillä rakennukset eroavat tavallisesti toisistaan ainakin sijainniltaan, käytöltään ja materiaaleiltaan. Kuvassa 6 on esitetty sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ja sisäilman laadun hallintaan käytettäviä menetelmiä.



Kuva 6. Sisäilman laadun perustan muodostavat ja epäpuhtauksien määrään vaikuttavat tekijät rakennuksen elinkaaren aikana.

Kaikkiin kuvassa 6 esitettyihin tekijöihin voidaan vaikuttaa rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Epäpuhtauksien hallintaan käytettävät menetelmät ja niiden tehokkuus riippuvat ennen kaikkea suunnitellusta sisäilmastoluokituksesta, ulkoilman laadusta sekä asukkaiden määrään ja toimintaan liittyvistä seikoista. Epäpuhtauslähteiden hallinnan vähimmäistavoitteena on varmistaa, että tiloihin syötettävä ja tiloissa muodostuva ilma täyttävät epäpuhtauksille asetetut raja-arvot. Sisäilman epäpuhtauksien vähentämiseen ja hallintaan sovellettavat tärkeimmät keinot ovat seuraavat:

1. Ilman suodatus → Vähennetään ulkoilmasta peräisin olevien epäpuhtauksien ja bioaerosolien pääsyä sisäilmaan.
2. Lähdekontrolli → Vähennetään sisätiloissa syntyvien epäpuhtauksien määrää niiden lähteitä kontrolloimalla, kuten oikeilla materiaalivalinnoilla.
3. Raitisilman määrä ja ilmanjako (ilmanvaihto) → Laimennetaan tilassa olevien epäpuhtauksien pitoisuuksia sekä vältetään sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan kohoamista.
4. Rakenteiden tiiviys ja oikeat painesuhteet → Vältetään kontrolloimattomia, rakenteiden läpi virtaavia ilmavuotoja ja sisätiloissa muodostuvan kosteuslisän tunkeutumista rakenteisiin.
5. Suunnittelu ja rakentaminen → Vältetään ratkaisuja, jotka mahdollistavat tai edistävät kosteuden kerääntymisen rakenteisiin tai ilmanvaihtojärjestelmään.

Yleensä sisäilman laadun turvaaminen perustuu edellä mainittujen lähestymistapojen yhdistämiseen. Nykyisissä uudisrakennuksissa rakenteiden tiiviys ja tuloilman suodatus ehkäisevät tehokkaasti ulkoilman epäpuhtauksien kulkeutumisen sisäilmaan, joten ilmanvaihto, sisälähteet ja rakenteiden kosteustekninen toiminta muodostuvat merkittävimmiksi sisäilman laatuun vaikuttaviksi tekijöiksi. (Bernstein 2008; WHO 2011; Hänninen & Asikainen 2013.) Ilmanvaihdon lisääminen vähimmäisvaatimuksia paremmaksi ja mahdollisimman hyvien rakennuskäytäntöjen soveltaminen edistävät edelleen hyvän sisäilman saavuttamista (Järnström 2007, 26–29).

5.1 Sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

Rakennuksessa tulee välttää pitkään jatkuvaa, liian korkeaa sisäilman lämpötilaa ($>22\text{ °C}$) ja suhteellista kosteutta ($>60\%$). Korkea ilman kosteus lisää etenkin pölypunkkien ja mikrobien määrää rakennuksessa. Sisäilman lämpötilan kohoaminen tai suhteellisen kosteuden lisääntyminen normaaliolosuhteista vaikuttaa lisäksi rakennus- ja sisustusmateriaaleista haihtuvien yhdisteiden sekä niistä irtoavien hiukkasten pitoisuuksiin. (Wolkoff 1998; Asumisterveysopas 2009, 24–47.) Pitkään jatkuva korkea sisäilman suhteellinen kosteus yhdessä alhaisten pintalämpötilojen kanssa voi aiheuttaa homevaurioita kosteuden tiiviydessä rakenteisiin, rakenteiden pinnoille tai ilmanvaihtojärjestelmään (RakMK D2:2012).

Ulko-olosuhteiden vaihtelut vaikuttavat materiaaleista irtoaviin epäpuhtauksiin. Lämmityskaudella sisäilma on tavallisesti kuivempaa kuin kesällä, jolloin rakennusmateriaalit kuivuvat ja niistä haihtuu yhdisteitä sisäilmaan. Kosteusvaurioiden yhteydessä kyseinen ilmiö vaikuttaa ilman laatuun entistä voimakkaammin, koska kuivuessaan homekasvustoista vapautuu epäpuhtauksia sisäilmaan. (Salonen ym. 2014, 55.) Lisäksi korkeammassa, yli 22 °C :n lämpötiloissa ilman kuivuuden tunne lisääntyy, mikä aiheuttaa terveyshaittoja ja oireita entistä pienemmissä epäpuhtauspitoisuuksissa (Puhakka & Kärkkäinen 1994, 70).

5.2 Ilmanvaihto

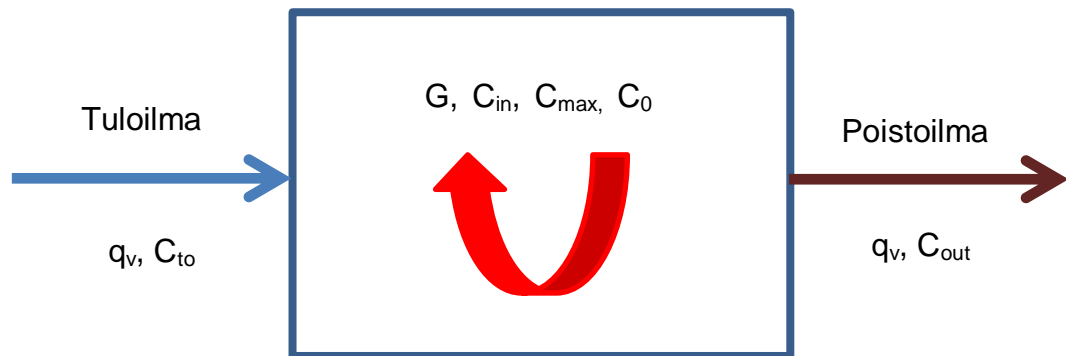
Asunnon ilmanvaihtojärjestelmällä syötetään puhdasta tai käsiteltyä ulkoilmaa sisätiloihin sekä poistetaan epäpuhtauksia sisältävää, kosteaa ilmaa tiloista. Ilmanvaihdon avulla laimennetaan epäpuhtauksien pitoisuuksia hyväksyttävälle tasolle ja lyhennetään epäpuhtauksien vaikutusaikaa. Ilmanvaihdolla voidaan säätää myös sisäilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta sekä sisä- ja ulkoilman välisiä painesuhteita. Nykyisten energiamääräysten ja rakennusten tiiviysvaatimusten täyttäminen ja laadukkaan sisäilman turvaaminen edellyttää koneellista

tulo- ja poistoilmajärjestelmää. Järjestelmissä hyödynnetään ilman suodatusta, ilmanjakotekniikkaa ja lämmön talteenottoa. (Seppänen 2007, 161–175.)

Ilmanvaihdon tarve

Rakennuksen ilmanvaihdon tarve määräytyy epäpuhtauksia tuottavien lähteiden kuten rakennusmateriaalien ja rakennuksen käyttäjien perusteella. Asuinrakennuksissa suurimmat ilmapurkaukset tarvitaan asukkaista ja heidän normaalista toiminnasta kuten ruoanlaitosta peräisin olevien hajujen ja kosteuslisän poistamiseen. Sen sijaan hapen tarve tai haitalliseksi kohonnut hiilidioksidipitoisuus eivät lisää yhtä merkittävästi ilmanvaihdon tarvetta. (Seppänen 2007, 163–164.) Optimaalisen sisäilmaston turvaamiseksi tulisi asunnon raitisilmamäärän olla 10–20 l/s henkilöä kohden, jolloin tyytymättömien ihmisten osuus on tavallisesti hieman yli 10 %. Ilmamäärän lisääminen edelleen välille 20–30 l/s ei paranna enää merkittävästi viihtyisyyttä tai sisäilman laatua. (EN 15251:2007.)

Kuvassa 7 sekä kaavoissa 1 ja 2 on havainnollistettu tilaan syötettävän raitisilmamäärän teoreettinen tarve suhteessa mm. sisustusmateriaaleista haihtuviin epäpuhtauksiin. On kuitenkin huomioitava, että esim. hiilidioksidin pitoisuus vaihtelee vuorokauden ajan ja oleskelijoiden määrän sekä aktiivisuuden mukaan.



q_v	Tuloilmamäärä m^3/s
$C_{to}/ C_{in}/ C_{out}$	Epäpuhtauspitoisuus tulo-/sisä/poistoilmassa mg/m^3
C_0/ C_{max}	Epäpuhtauden alkupitoisuus/ sallittu pitoisuus sisäilmassa mg/m^3
G	Tilassa muodostuva epäpuhtauspitoisuus mg/s

Kuva 7. Ilmanvaihdon tarve suhteessa epäpuhtauden pitoisuuteen (EN 15251: 2007 mukailten).

Ilmamäärän tarve tietyn epäpuhtauden kontrolloimiseksi voidaan laskea seuraavasti (ε =ilmanvaihdon sekoittavuus):

$$q_v = \frac{G}{C_{max} - C_{to}} \times \frac{1}{\varepsilon}$$

Kaava 1. Ilmamäärän tarve.

Epäpuhtauden kertyminen sisäilmaan tietyssä ajassa voidaan ratkaista seuraavasti (λ =ilmanvaihtokerroin, 1/h):

$$C_{in} = \left(C_{to} + \frac{G}{q_v} \right) + \left(C_0 - \frac{G}{q_v} - C_{to} \right) e^{-\lambda t} = \frac{G}{q_v}$$

Kaava 2. Epäpuhtauden kertyminen sisäilmaan.

Kaavan 2 yksinkertaistettu muoto kuvaa tilannetta vakiona pysyvissä olosuhteissa ja epäpuhtauksien ulkopitoisuuksien ollessa merkityksettömiä. Kaavaa 2 sovellettaessa olettamuksena on ilmavirtauksen täydellinen sekoittuminen, jolloin epäpuhtauksien pitoisuus on yhtä suuri kaikkialla tilassa. Mahdollisimman hyvän sekoittuvuuden saavuttaminen vaatii riittävää ilmavirtaa ja oikeita pääte-

laitevalintoja. Kaavojen hyödyntämistä hankaloittaa ilmassa olevien epäpuhtauksien moninaisuus, niiden yhteisvaikutukset ja terveyshaittojen epätarkkuus. (EN 15251:2007.)

Ilmanvaihtuvuuden vähimmäisvaatimukset ja luokitukset

Rakentamismääräysten mukaan asuntojen normaalikäytön ilmanvaihtuvuuden eli ilmanvaihtokertoimen vähimmäisvaatimus on 0,5 1/h tarkasteltaessa asunnon yhteenlaskettua poistoilmamäärää. Tämä vastaa normaalin huonekorkeuden kohdalla (250 cm) ilmamäärää 0,35 l/s neliometriä kohden. Oleskelutiloissa, kuten makuu- ja olohuoneissa, ulkoilmavirtauksen tulee lisäksi olla vähintään 6 l/s henkilöä kohden tai 0,5 l/s neliometriä kohden. Vähimmäisvaatimuksia noudatettaessa on varmistettava, että asunnon käytössä ei esiinny erityispiirteitä, jotka vaikuttavat haitallisesti sisäilmaston fysikaalisiin olosuhteisiin tai epäpuhtauksien pitoisuuksiin. (RakMK D2:2012.) Tutkimukset ovat osoittaneet ilmanvaihtuvuuden vähimmäisvaatimuksen (0,5 1/h) toimivan terveyshaittojen kannalta vedenjakajana; vaatimusta pienemmällä ilmanvaihdolla terveyshaitat kuten astma ja allergiat sekä nk. sairusrakennusoireet lisääntyvät oleellisesti (WHO 2009, 33).

Sisäilmastoluokituksen (2008) luokka S3 vastaa ilmanvaihdon osalta edellä kuvattua Suomen rakentamismääräysten mukaista vähimmäistasoa, jolloin sisäilma määritellään tyydyttäväksi. Parhaan sisäilmaluokituksen (S1) saavuttamiseksi asuinrakennuksen oleskelutiloihin on johdettava ulkoilmaa 12 l/s henkilöä kohden. Lisäksi asunnon ilmanvaihtokerroin on mitoitettava vähintään 0,7 1/h suuruiseksi, mikäli kohde täyttää materiaalien ja rakennustöiden osalta Sisäilmastoluokituksessa määritetyt kriteerit. Taulukossa 1 on esitetty henkilömäärään ja asunnon lattia-alaan perustuva ilmanvaihdon tarve.

Taulukko 1. Ihmisistä ja materiaaleista syntyvään epäpuhtauskuormaan perustuvan ilmanvaihdon mitoitus käytettäessä M1-luokan materiaaleja (EN 15251: 2007; Sisäilmastoluokitus 2008).

EN 15251			Sisäilmastoluokitus 2008		
Luokka (tyyty- mättö- mät, %)	Ulkoilma (l/s, m ² / 1/h)	Oleskelutilat, ulkoilma (l/s, hlö tai l/s, m ²)	Luokka	Ulkoilma (l/s, m ² / 1/h)	Oleskelutilat, ulkoilma (l/s, hlö tai l/s, m ²)
1 (15)	0,5 / 0,7	10 tai 1,4	S1	0,5 / 0,7	12
2 (20)	0,42 / 0,6	7 tai 1,0	S2	0,35 / 0,5	8
3 (30)	0,35 / 0,5	4 tai 0,6	S3 (D2)	0,35 / 0,5	6 tai 0,5

Mitoitettaessa asuinhuoneistoa, tulee noudattaa seuraavia vaiheita:

1. Kokonaisilmamäärän laskeminen huomioiden asunnon kokonaispinta-ala
2. Asukkaiden (makuuhuoneiden) määrä tai ko. tilojen lattia-ala
3. Valitaan korkein lukema kohtien 1 ja 2 ilmamääristä, josta muodostuu asunnon luokkaa vastaava kokonaisilmanvaihdon tarve
4. Poistoilmavirtojen säätö ja laitteiston tasapainotus

Huom. Taulukossa mainittujen arvojen käyttö edellyttää ilmavirtausten täydellistä sekoittuvuutta huonetiloissa.

Normaalikäytön lisäksi asunnon ilmanvaihtoa tulee voida tehostaa vähintään 30 %:lla esim. ruoanlaiton yhteydessä tai henkilökuormituksen kasvaessa. Tehostetun poistoilmavirtauksen tarve on suurin liesikuvun yhteydessä (≥ 25 l/s) ja märkätiloissa niiden käytön aikana. Käyttöajan ulkopuolella ilmanvaihtoa voidaan säätää pienemmäksi, mutta ilmanvaihtojärjestelmän pois kytkemistä tulee välttää. Sisäilmastoluokituksen mukainen perusilmanvaihto tulee olla luokassa S3 vähintään 0,15 l/s ja puhtaammissa luokissa 0,2 l/s neliometriä kohden. Kosteusteknisistä syistä asunto mitoitetaan yleensä hieman alipaineiseksi, mikä estää asunnossa syntyvän kosteuslisän imeytymisen ulkovaipan rakenteisiin. Alipaine ei saa olla suurempi kuin 30 Pa ja se saavutetaan mitoittamalla poistoilmavirta noin 10 % tuloilmavirtaa suuremmaksi. (RakMK D2 2012.)

Ilmanjako

Raitista tuloilmaa johdetaan makuuhuoneisiin ja olohuoneeseen. Ilmanjako tulee toteuttaa siten, että ilma sekoittuu tehokkaasti oleskeluvyöhykkeellä ja ilma virtaa siirtoilmana puhtaimmista huoneista kohti epäpuhtaampia tiloja. Ilmanjaon tehokkuuteen eli ilmasuihkun heittopituuteen vaikuttaa tuloilman lämpötila, ilman nopeus ulospuhallusaukossa ja tuloilmaventtiin muodostama virtauskuvio. (RakMK D2:2012.)

Poistoilmaventtiilit sijoitetaan saniteettitiloihin, keittiöön, kodinhoitohuoneeseen tai muihin epäpuhtauksia tuottaviin tiloihin. Päätelaitteiden oikeilla valinnoilla ja sijoittamisella voidaan ehkäistä epäpuhtauksien lisäksi vetoisuutta ja edistää lämpötilan tasaisuutta. Epäpuhtaudet eivät saa levitä rakennuksessa ilmapölykanavien tai ilmanvaihtolaitteiden kautta. (RakMK D2:2012.)

Ilmanvaihtolaitteiston puhtaus ja ylläpito

Asunnon ilmanvaihtojärjestelmän on oltava puhdas ennen käyttöönottoa ja sen on oltava rakenteeltaan helposti puhdistettava. Ilmanvaihtojärjestelmään kertynyt pöly voi toimia sisäilman heikentäjänä, etenkin jos kanavapinnalle kondensoitunut vesi aiheuttaa pölyn kanssa kasvualustan mikrobeille. Näin voi tapahtua, mikäli eristämätön kanavisto on kylmässä tilassa, ilman kosteus on korkea tai laitteiston toiminta pysäytetään määrääjain. (Puhakka & Kärkkäinen 1994, 73–77.)

Puutteellisesti huollettu ja säädetty koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä ei takaa parempaa sisäilman laatua perinteiseen painovoimaiseen ilmanvaihtoon verrattuna. Hurme (2010, 54–55) ei havainnut sisäilman hiilidioksidi- ja hiukkaspitoisuuksissa merkittävää eroa painovoimaisen ja puutteellisesti ylläpidetyn koneellisen ilmanvaihdon välillä.

Ilmansuodatus

Ilmastoinnin suodattimien ensisijainen tehtävä on vähentää ulkoilman pienhiukkasten ($PM_{2,5}$), siitepölyn, noen ja muiden epäpuhtauksien pitoisuuksia sisäilmassa. Lisäksi suodattimet ehkäisevät ilmanvaihtojärjestelmän laitteiden likaantumista. Oleskelutilojen tuloilman suodatustaso määräytyy sisäilman laadulle asetettujen vaatimusten ja ulkoilman laadun perusteella. Asuinrakennuksissa käytettävät suodattimet jaetaan karkea- ja hienosuodattimiin. Karkeasuodattimilla (G3–G4) pystytään poistamaan 80–90 % suodattimelle tulevasta hiukkasten kokonaismassasta, mutta ei pienimpiä alle 1 μm kokoisia hiukkasia. Hienosuodattimilla (F5–F9) pienennetään liikenteestä, energiantuotannosta ja polttoprosesseista peräisin olevien pienimpien hiukkasten pitoisuuksia sisäilmassa. (SFS-EN 779:2012.)

Kaupunki- ja taajama-alueilla tuloilma tulee suodattaa vähintään F7-luokan suodattimella, jolloin karkeasuodatinta käytetään esisuodattimena (Lappalainen 2010). Sisäilmastoluokituksen S1 saavuttamiseksi on käytettävä vähintään F8-suodatinta, mutta vilkasliikenteisten autoteiden tai muun merkittävän hiukkaslähteen läheisyydessä vaaditaan F9-luokan suodatusta. Taajama-alueiden ulkopuolella riittää raitisilman suodatukseen useimmiten G4-tasoinen karkeasuodatin, koska suurin osa ulkoilman hiukkasista on kokoluokaltaan yli 5 μm . Suodattimet tulee vaihtaa 6–12 kk välein sekä sisäilman laadun että ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan kannalta. (Sisäilmastoluokitus 2008.)

5.3 Rakennusmateriaalit

Materiaaleista haihtuu sisäilmaan käytön aikana olosuhteista ja materiaalin luonteesta riippuen vaihtelevia pitoisuuksia erilaisia epäpuhtauksia. Materiaaleja valittaessa tulee huomioida päästöjen lisäksi tuotteiden turvallisuus, helppohoitisuus, kestävyys, kosteuden sieto ja luonnollisuus. Etenkin pintamateriaaleilla on merkittävä vaikutus sisäilman laatuun. Synteettisesti valmistetut pintamateriaalit, joiden valmistuksessa käytetään kemikaaleja liima-, säilöntä-, side- ja

apuaineina, voivat aiheuttaa etenkin ongelmatilanteissa suuria päästöjä sisäilmaan. (Sisäilmastoluokitus 2008.)

Rakentamisessa käytettävät materiaalit ja huonekaluissa käytettävät levyt jaetaan päästöjen perusteella M1-, M2- ja M3-luokkaan. Lähtökohtaisesti rakentamisessa tulee käyttää mahdollisimman vähäpäästöisiä materiaaleja. Päästöluokkaan M1 kuuluvilla pintamateriaaleilla saavutetaan normaaleissa olosuhteissa sisäilmaluokka S1. Myös luokan S2 rakennuksissa tulee käyttää pääsääntöisesti M1-luokan pintamateriaaleja. Luokkaan M1 kuuluvia materiaaleja ovat lähtökohtaisesti luonnon kivi, käsittelemätön puu ja tiili, keraaminen laatta, lasi sekä metallit. (Sisäilmastoluokitus 2008.) Nykyään vähäpäästöisten rakennusmateriaalien joukkoon kuuluu lähes 5000 pinnoitukseen liittyvää tuotetta lattiamateriaaleista ja rakennuslevyistä maaleihin sekä tasoitteisiin (Rakennustietosäätiö 2016).

5.3.1 Materiaalien luokkakohtaiset vaatimukset

Käytettävistä materiaaleista tulee Sisäilmastoluokituksen (2008) mukaan olla saatavilla tuoteselostukset, joista ilmenee ainakin materiaalin päästöluokitus, mahdolliset käyttörajoitukset ja käyttäytyminen erilaisissa kosteus- ja lämpöolosuhteissa. Materiaaliluokitusta määrittäessä 28 vuorokauden ikäisestä tuotteesta tutkitaan päästöt VOC-yhdisteiden, formaldehydin ja ammoniakkin osalta, syöpää aiheuttavat aineet sekä hajuhaitat. Taulukosta 2 ilmenee materiaalien päästöluokitukseen vaadittuja ominaisuuksia.

Taulukko 2. Materiaalien päästoluokituksen vaatimukset (EN 15251:2007; Sisäilmastoluokitus 2008).

Päästö / tutkittava ominaisuus	EN 15251		Sisäilmastoluokitus 2008, M1- / M2-luokka
	Vähän epäpuhtauksia emittoiva materiaali	Hyvin vähän epäpuhtauksia emittoiva materiaali	
TVOC (haihtuvat orgaaniset yhdisteet, kokonaisemissio)*	<1000	<300	<200 / <400
Formaldehydi*	<100	<30	<50 / <125
Karsinogeeniset, luokkaan 1 kuuluvat VOC-yhdisteet*	<5	<5	<5 (M1 ja M2)
Ammoniakki*	-	-	<30 / <60
Haju (aistinvarainen arviointi)	-	-	Ei haise tai epämiellyttävien havaintojen määrä <15 % / Ei haise merkittävästi
Tasoitteet ja muut vastaavat materiaalit	-	-	Ei sisällä kaseiinia

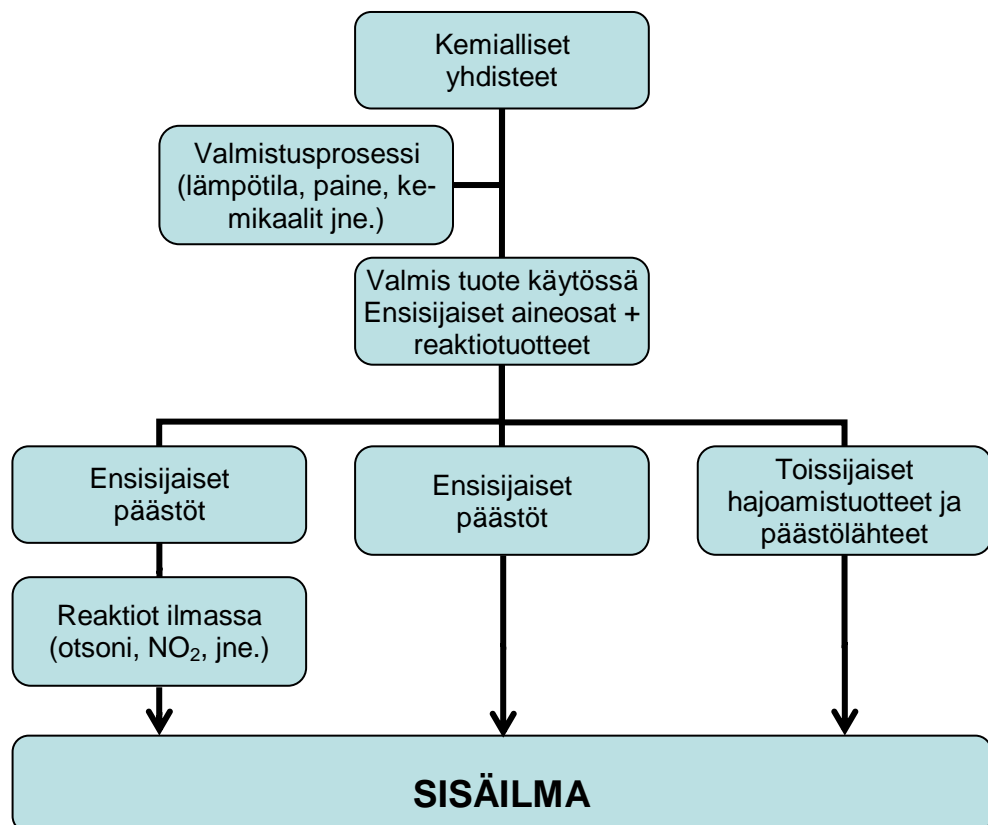
* päästöjen yksikkö $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$

Ilmanvaihtotuotteiden päästoluokituksen vaadittavat testaukset voivat sisältää taulukossa 2 mainittujen kohteiden lisäksi mm. öljyisyyden, mineraalikutujen ja pintapölyisyyden tutkimista. Ilmanvaihtoon liittyvillä eri osilla, kuten kanavilla, päätelaitteilla ja suodattimilla, on tuoteryhmäkohtaiset vaatimuksensa. Rakennusmateriaalien ja ilmanvaihtotuotteiden lisäksi myös kalusteet ja kaapistot voidaan nykyään luokitella niistä haihtuvien päästöjen perusteella. (Rakennustietosäätiö 2015.)

Rakennusmateriaalien ympäristöystävällisyyttä tukevat myös Joutsen- tai Eurokukkamerkillä varustetut tuotteet, kuten lattiapäällysteet, rakennuslevyt ja kalusteet. Kyseisillä merkeillä varustetuissa tuotteissa ei tule olla orgaanisia liuottimia tai raskasmetalleja, lisäksi formaldehydin ja muiden haihtuvien yhdisteiden määriä on rajoitettu. Tuotteiden tulee olla lisäksi kulutuksen kestäviä. (Rakennustietosäätiö 2015.)

5.3.2 Materiaalien päästöt todellisissa olosuhteissa

Materiaalien päästöt käyttöympäristössä voidaan jakaa ensi- ja toissijaisiin päästöihin (kuva 8). Ensisijaiset päästöt ovat valmiiden materiaalien sisältämiä yhdisteitä, joiden pitoisuudet vähenevät merkittävästi ensimmäisten käyttöviikojen aikana. Toissijaiset päästöt muodostuvat reaktiotuotteista, jotka syntyvät sisäilmassa tapahtuvien reaktioiden tai rakenteissa käytönaikaisten vaurioiden ja materiaalien hajoamisen seurauksena. Päästöjen suuruuteen ja esiintyvyyteen vaikuttavat lukuisat tekijät, kuten kosteus, mikrobit, lämpötila, ultraviolettisäteily, otsoni ja käytönaikainen kulutus. (Uhde & Salthammer 2007; Järnström 2007, 36.)



Kuva 8. Materiaaleista vapautuvien yhdisteiden muodostuminen materiaalin valmistuksen ja käytön aikana (Uhde & Salthammer 2007 mukailten).

Päästöluokitellut materiaalit ovat osaltaan pienentäneet tärkeimpien yksittäisten yhdisteiden ensisijaisia emissioita. Nykyaikaisten rakennus- ja sisustusmateriaalien sekä käyttötavaroiden sisältämät kemikaalit ovat kuitenkin lukumäärällisesti kasvaneet. Teollisuuden kehittämät uudet kemialliset yhdisteet päätyvät kulutustuotteisiin ja kodin elektroniikkaan esimerkiksi muovien pehmittiminä, biosideina tai tekstiilin käsittely- ja palonestoaineina. (Rudel & Perovich 2009.)

Kohonneet lämpötilat tuotteiden valmistuksessa voivat edesauttaa alkuperäisten kemikaalien hajoamista ja siten uusien yhdisteiden muodostumista. Uudet, tutkimattomat yhdisteet osallistuvat monimutkaisiin reaktioihin materiaalissa, materiaalin pinnalla ja sisäilmassa. Reaktioiden tuotteena syntyvät yhdisteet, kuten aldehydit, alkoholit ja hapot, vaikuttavat sisäilmastoon hajuillaan, ärsyttävyydellään ja kyvyillään muodostaa hiukkasia. (Uhde & Salthammer 2007.)

Päästötutkimuksissa tulisi kiinnittää yksittäisten tuotteiden sijasta enemmän huomiota eri materiaaleista koostuvien rakenteiden päästöihin ja materiaalien yhteensopivuuteen normaaleissa käyttöolosuhteissa. Esimerkiksi lattiamateriaalin, liima-aineen ja betonin välisen rakenteen on todettu aiheuttavan suurempia päästöjä terveessäkin rakennuksessa verrattuna yksittäisten tuotteiden laboratoriossa mitattuihin emissioihin. Toisaalta esimerkiksi pintamateriaalin huokoisuus voi vaikuttaa siitä ja sen alapuoleisista rakenteista syntyvien emissioiden suuruuteen, jolloin kova ja tiheä pintamateriaali voi vähentää sen alapuolisista materiaaleista tapahtuvaa haihtumista sisäilmaan. (Järnström 2005, 64–66.)

5.3.3 Materiaalivalinnat sisäilman laadun näkökulmasta

Materiaalit, joiden valmistuksessa käytetään runsaasti erilaisia kemikaaleja liima-, säilöntä-, side- tai apuaineina, voivat aiheuttaa etenkin väärinkäytettyinä sisäilmaongelmia. Tällaisiin materiaaleihin lukeutuvat ainakin tietyt rakennuslevyt, eristeet, muovit ja käsitelty puutavara. Muovilaaduista PVC:n (putket, eristeet, lattiapinnoitteet), polyuretaanin ja polystyreenin eli styroksin valmistukses-

sa käytetään haitallisia kemikaaleja kuten isosyanaatteja, styreeniä, vinyylikloridia ja pehmittiminä. (Lappalainen 2010.)

Rakennuslevyt

Puupohjaisista rakennuslevyistä haihtuvien yhdisteiden määrä vaihtelee levytyypin mukaan. Puukuitulevyissä ja kipsilevyissä käytettyjen lisäaineiden määrä on vähäinen. Lastulevyihin ja vanereihin suositellaan pintakäsittelyä ja niiden hankinnassa sekä käytössä tulee huomioida laatuluokitus, joka kertoo valmistuksessa käytettyjen lisäaineiden määrästä. Kaikkien rakennuslevyjen osalta tulee huomioida niiden yksilöllinen kosteudensieto ja rikkoutuvuus. Paperipäällysteisen kipsilevyn ongelmana on suuri kosteudenpidätyskyky ja kostuneessa paperipäällysteessä esiintyvä mikrobikasvu. (Lappalainen 2010.)

Lattiamateriaalit

Lattiamateriaalina voidaan käyttää esimerkiksi puuta, laminaattia, linoleumia, keraamisia laattoja ja korkkia. Puu- ja parkettilattioiden pintakäsittelyssä ja liimauksessa tulee suosia vesiohenteisia tuotteita. Laminaattilattian pinta on hart-sikyllästettyä paperia, joten kosteusolosuhteet voivat vaikuttaa siitä haihtuviin epäpuhtauksiin. Linoleumimatosta voi kuluessaan syntyä päästöjä sideaineena käytetyn pellavaöljyn seurauksena. Lisäksi kosteudelle altis linoleumimatto voi jo vähäisen kosteuden vaikutuksesta vapauttaa sisäilmaan rasvahappoja, aldehydejä ja alkoholeja. Korkkilattian valmistuksessa käytetyt hartsit voivat aiheuttaa ongelmia sisäilman laatuun. Keraaminen laatta on hyvä vaihtoehto kosteissa ja lämpötilavaihteluja sisältävissä sekä kulutuksen kestävyyttä vaativissa tiloissa. (Lappalainen 2010.)

Muovimatoista haihtuvien yhdisteiden määrä on suurimmillaan heti asennuksen jälkeen. Kovat muovimatot ovat kestävämpiä ja sisältävät vähemmän pehmittinaineita eli ftalaatteja. Ftalaatit ovat heikosti haihtuvia ja niitä voi esiintyä sisäilmassa pienhiukkasiin sitoutuneena. Kosteusvaurioiden aiheuttamien hydrolyysi-

reaktioiden vaikutuksesta useat pehmitinaineet hajoavat karboksyylihapoiksi ja alkoholeiksi, joista indikaattoryhdisteenä pidetään etenkin 2-etyyli-1-heksanolia (2EH). (Lappalainen 2010.)

Tapetit, maalit ja liimat

Paperitapetti on sisäilman laadun kannalta paras vaihtoehto hengittävyytensä ansiosta. Tapettiliimoista päästöjen kannalta suositeltavin vaihtoehto on perinteinen liisteri. Liimojen, lakkojen ja maalien valinnassa tulee suosia vesiohenteisiä vaihtoehtoja liuotintuotteiden sijasta. Hyviä vaihtoehtoja ovat vesiohenteiset lateksimaalit, dispersio- ja akryylilakat tai mahdollisuuksien mukaan luonnonmukaiset vaihtoehdot. Sen sijaan voimakkaita liuottimia, kuten lakkabensiiniä, tolueenia ja ksyleeniä sisältäviä tuotteita tulee välttää asuinhuoneistoissa. Maaleista ja lakoista syntyvät päästöt ovat suurimmillaan käytön aikana, mutta pinnan kuivumisen jälkeenkin pinnoilta haihtuu yhdisteitä jopa kuukausien ajan. Pintojen viimeisteleminen käytettävät tasoitteet ja laastit sisältävät sideaineita ja apuaineita. Suurissa määrin käytettynä tai kosteudelle alttiiksi jouduttuaan niillä voi olla vaikutuksia sisäilman laatuun. (Lappalainen 2010.)

Eristeet

Eristemateriaaleista haihtuvat haitalliset aineet liittyvät usein puutteelliseen kosteuden hallintaan, mutta niistä saattaa haihtua normaaleissakin olosuhteissa jonkin verran liima- ja säilöntäaineita kuten formaldehydiä. Kohonneet aldehydipitoisuudet voivat liittyä myös mineraalivillaeristeiden kosteusvaurioon, jolloin mikrobit erittävät ko. yhdisteitä sisäilmaan. Puupohjaisesta selluvillasta voi haihtua jonkin verran epäpuhtauksia siinä olevan painomusteen takia. Myös muovipohjaisista polystyreeni- ja polyuretaani-eristeistä voi muodostua epäpuhtauksien lähteitä puutteellisen kosteudenhallinnan tai koteloinnin seurauksena. Mineraalivilloista voi irrota sisäilmaan haitallisia kuituja, joten se tulee aina pinnoittaa sisäilmakosketuksen välttämiseksi. Rakenteiden kulumisen seurauksena kuituja voi kuitenkin kulkeutua sisätiloihin. (Lappalainen 2010.)

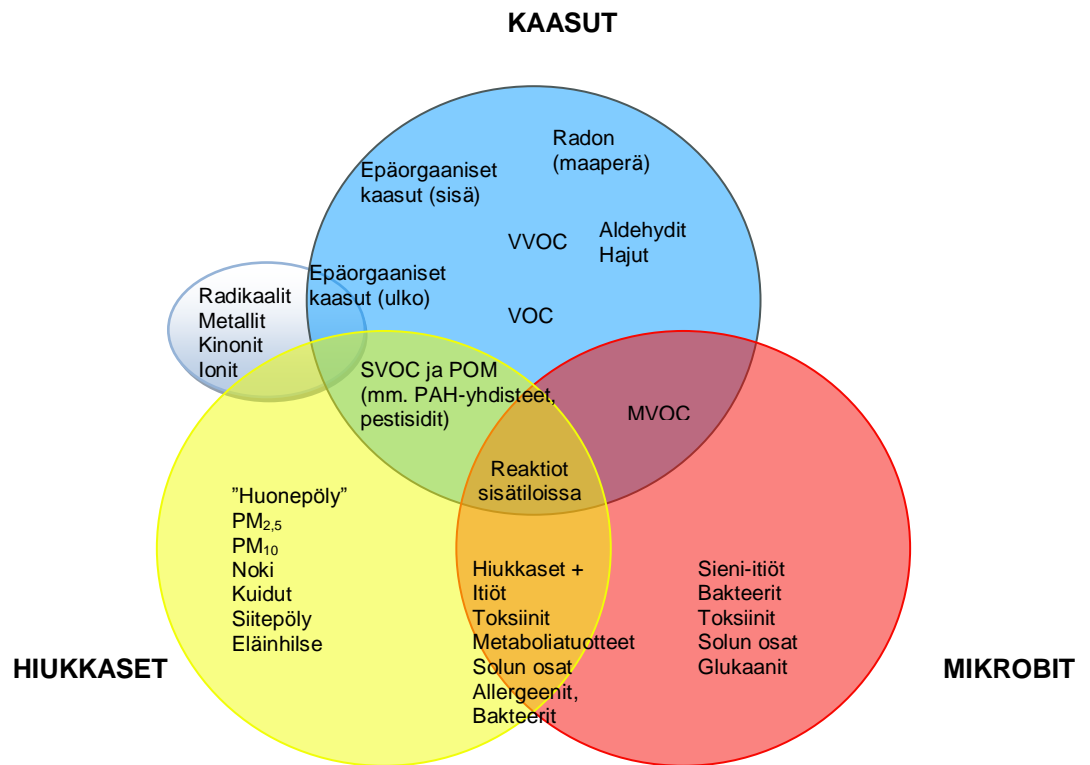
6 SISÄILMAN EPÄPUHTAUDET

Kirjallisuuskatsauksessa käsiteltävät epäpuhtaudet on valittu mahdollisimman kattavasti, pääpainon ollessa rakennuksen sisälähteistä tai rakenteista peräsin olevissa epäpuhtauksissa. Valinnassa on huomioitu tutkimuskohteiden ikä, sijainti, materiaalit ja rakennustekniikat.

Tarkastelussa ei huomioida sisäilman mahdollisia epäkohtia, jotka ovat poistuneet rakentamiseen liittyvän kehityksen ansiosta. Esimerkiksi asbestin käyttö on kielletty ja styreenin pitoisuudet ovat uusissa rakennuksissa hyvin vähäisiä. Viisivuotisseurannassa pyritään tutkimaan ennen kaikkea rakennuksen kuntoa ja siten minimoimaan ihmisten ylimääräisten toimintojen, kuten tupakoinnin ja erilaisten kemikaalien käytön vaikutus sisäilmamittausten tuloksiin. Kirjallisuuskatsauksessa ei myöskään kiinnitetä erityistä huomiota teollisuudesta ja liikenteestä peräisin oleviin ilmansaasteisiin, joiden pitoisuudet ovat vähentyneet yleisten päästörajoitusten myötä.

6.1 Epäpuhtauksien jaottelu

Sisäilmassa olevat epäpuhtaudet voidaan jakaa kaasumaisiin, hiukkasmaisiin ja mikrobiologista alkuperää oleviin sisäilman laatua huonontaviin tekijöihin (Asu-
misterveysohje 2003). Lähemmin tarkasteltuna ryhmittely ei ole yksiselitteistä, koska esimerkiksi ilmassa oleviin hiukkasiin voi sitoutua haitallisia yhdisteitä ja mikrobit tuottavat sisäilmaan kaasumaisia orgaanisia yhdisteitä (kuva 9). Taulukossa 3 on listattu epäpuhtausryhmien pääasiallisia lähteitä. Lähteet ja pitoisuudet voivat vaihdella suuresti rakennuksen luonteen ja ympäristöolosuhteiden mukaan.



Kuva 9. Sisäilman epäpuhtaudet (ideoitu lähteestä Wolkoff 2001).

Taulukko 3. Merkittävimmät sisäilman epäpuhtauksien lähteet (Asumisterveysopas 2009).

Epäpuhtaus	Merkittävimmät lähteet
Mikrobit	Ihmiset, eläimet, kasvit, ilmanvaihtojärjestelmä
Sieni-itiöt	Sisäpinnat, maaperä, kasvit, elintarvikkeet
Hiukkaset	Palamisreaktiot, liikenne, ihmiset, pintamateriaalit
Orgaaniset yhdisteet	Rakennusmateriaalit, liimat, liuottimet, maalit, palamisreaktiot
Formaldehydi	Lastulevy, eristeet, kalustus
Hiilidioksidi	Aineenvaihdunta (ihmiset, eläimet), palamisreaktiot, autotalli
Hiilimonoksidi	Palamisreaktiot, uunit/takat, boilerit, kaasulämmittimet
Allergeenit	Sisätilojen pöly, eläimet, hyönteiset, homeet tai muut biologista alkuperää olevat epäpuhtaudet voivat sisältää allergeenejä
Siitepöly	Ulkoilma, puut, kasvit
PAH-yhdisteet	Polttoaineen palamisreaktiot
Typpi- ja rikkidioksidi	Ulkoilma, polttoaineen palamisreaktiot (mm. autotalli)
Otsoni	Fotokemialliset reaktiot
Radon	Maaperä, rakennuskivet
Ammoniakki	Kosteusrasitus, maalit, lakat, pesuaineet, ihmiset

Kappaleissa 6.2–6.4 käsitellään yleisimmät sisäilman epäpuhtaudet jaoteltuna kaasumaisiin yhdisteisiin, kiinteisiin hiukkasiin/pölyyn ja kosteusvaurioiden aiheuttamiin epäpuhtauksiin.

6.2 Kaasumaiset yhdisteet

Kaasumaiset epäpuhtaudet voidaan jakaa orgaanisiin ja epäorgaanisiin yhdisteisiin. Sisäilmassa on havaittu lisäksi olevan jopa satoja haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC), joiden yksittäiset pitoisuudet ovat yleensä hyvin pieniä. Sisäilman sisältämiä tyypillisimpiä epäorgaanisia kaasuja rakennuksen luonteen ja käyttötarkoituksen mukaan ovat hiilidioksidi, hiilimonoksidi, otsoni, rikkidioksidi, typen oksidit ja ammoniakki. (Puhakka & Kärkkäinen 1994, 29–45.) VOC-yhdisteet ovat tällä hetkellä yksi merkittävimmistä sisäilmaan liittyvistä tutkimuskohteista, koska eri yhdisteistä koostuvilla seoksilla voi olla toisiaan voimistava vaikutus ja siten yhteys ihmisten kokemiin terveyshaittoihin ja asumisviihtyvyyttä vähentäviin tuntemuksiin. (Bernstein 2008.)

6.2.1 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

VOC-yhdisteet ovat huoneenlämmössä helposti haihtuvia yhdisteitä, joiden pitoisuus sisäilmassa voi kohota moninkertaiseksi ulkoilmaan verrattuna. Yhdisteen haihtuvuudesta eli kiehumispisteestä riippuen ne voivat esiintyä sisäilmassa kaasuna, höyryinä, hiukkasina tai hiukkasiin sitoutuneena (taulukko 4). Alhaisen kiehumispisteen omaavat yhdisteet haihtuvat herkimmin ja nopeimmin lähdemateriaalista sisäilmaan. Lisäksi mikrobeista peräisin oleville yhdisteille on oma terminsä MVOOC. (Asumisterveysopas 2009, 136 & 151.)

Taulukko 4. Orgaanisten yhdisteiden jaottelu niiden kiehumispisteen perusteella (Asumisterveysopas 2009).

Lyhenne	Nimi	Kiehumispiste (°C)	Esimerkkiyhdisteitä
VVOC	Erittäin haihtuvat yhdisteet	<0...50–100	Etanoli, Asetoni, propanoli, pentaani, formaldehydi
VOC¹	Haihtuvat yhdisteet	50–100... 240–260	Useat yhdisteet ja yhdisteryhmät (liite 1)
SVOC	Puolihaihtuvat yhdisteet	240–260... 380–400	Useimmat PAH-yhdisteet
POM	Hiukkasiin sitoutuneet yhdisteet	>380	Pestisidit, ftalaatit ja mikrobin mykotoksiinit
mVOC²	Mikrobien tuottamat VOC-yhdisteet		>200 yhdistettä mm. alkoholit, aldehydit ja aromaattiset yhdisteet

¹Määrittelyssä VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudesta käytetään nimitystä TVOC, joka kattaa yleensä n-heksaanin ja n-heksadekaanin välisen yhdistekokonaisuuden.

²Mikrobeista peräisin olevat orgaaniset yhdisteet eivät ole mikrobeille spesifisiä. Yhdisteiden lähteenä on etenkin kosteusvaurioituneet materiaalit.

Tavallisimmin sisäilmassa esiintyviä VOC-yhdisteitä ovat alkaanihiilivedyt, aromaattiset hiilivedyt, alifaattiset hiilivedyt, klooratut hiilivedyt, aldehydit, terpeenit, ketonit, alkoholit, esterit ja hapot. Lähteiden määrästä riippuen sisäilmassa on tavallisesti n. 50–300 eri VOC-yhdistettä, jolloin niiden muodostamat kemialliset seokset voivat aiheuttaa sisäilmaan epämääräisiä hajuja ja limakalvojen ärsyttymistä. (Asumisterveysopas 2009, 136–138.) Tämän hetkisen, suhteellisen niukan tutkimustiedon valossa VOC-yhdisteiden merkitys sisäilman aiheuttamaan kokonaiskuormitukseen on kuitenkin melko vähäinen (Hänninen & Asikainen 2013, 75). Korkean VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) on kuitenkin todettu liittyvän sairusrakennus-oireyhtymään ja sisäilman viihtyisyyteen (European Collaborative Action 1997).

Pitoisuuksiin vaikuttavat tekijät

Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet vaihtelevat tutkimuskohtaisesti hyvin paljon. Sekä ulko- että sisäilman VOC-pitoisuudet ovat pienentyneet viime vuosikymmeninä johtuen pääasiassa kehittyneistä rakennusmateriaaleista ja teollisuu-

teen sekä liikenteeseen kohdistuneista päästörajoituksista. Aromaattisten hiilivetyjen ja terpeenien talviaikaan mitatut pitoisuudet voivat kuitenkin olla suhteellisen korkeita etenkin uusien rakennusten osalta. Tämän katsotaan johtuvan yhä luonnonmukaisemmista rakennusmateriaaleista, energiankulutuksen pienentämiseen tähtäävästä rakenteiden tiivistämisestä ja puutteellisesta ilman vaihtuvuudesta. (Jia ym. 2012.)

VOC-pitoisuudet ovat korkeimmillaan maalien, lakkojen, puhdistuskemikaalien, orgaanisten liuottimien, kosmetiikkatuotteiden ja uusien rakennus- tai sisustusmateriaalien käytön jälkeen (Barro ym. 2009; Derbez ym. 2013). Tästä johtuen yleisimpien VOC-yhdisteiden pitoisuudet ovat tavallisesti korkeimmillaan uusissa asunnoissa, joissa laajat seinä-, lattia- ja kattopinnat on käsitelty tai pinnoitettu. Uusien huoneistojen VOC-pitoisuuksien on todettu laskevan nopeasti etenkin ensimmäisten viikkojen aikana ja olevan normaalilla tasolla viimeistään vuosi asunnon valmistumisen jälkeen. (Järnström 2007, 58–66.) Ikääntyessään materiaaleista irtoaa pienempinä pitoisuuksina VOC-yhdisteitä kemiallisen (otsoni, kemikaalikäsittelyt, normaali kosteus) tai fysikaalisen (lämpö, ultraviolettisäteily) kulumisen seurauksena (Wolkoff & Nielsen 2001). Talvella pitoisuudet voivat olla 3–4 kertaa matalampia kuin kesällä. Kesäkuukausina korkeampi suhteellinen ilman kosteus (>50 %) voi aiheuttaa pitoisuuksien kohoamisen. (Järnström 2007, 30, 60 & 86.)

Sisäilmatutkimuksissa on määritetty VOC-yhdisteitä, jotka ovat peräisin lähinnä sisälähteistä ja joiden pitoisuudet ovat korkeampia asuinhuoneistoissa kuin julkisissa rakennuksissa. Useiden yhdisteiden kuten tolueenin, sykloheksaanin, nonaanin ja dekaanin osalta pitoisuudet koostuvat kuitenkin sekä sisä- että ulkolähteistä. (Cometto-Muniz & Abraham 2015.) Ranskassa tehdyssä pientalojen seurantatutkimuksessa yhdeksän yleisintä VOC-yhdistettä tai aldehydiä olivat heksaldehydi, formaldehydi, asetaldehydi, alfa-pineeni, limoneeni, tolueeni, 1,2,4-trimetylbentseeni, m-p ksyleeni ja akroleeni (Derbez ym. 2013). Liitteenä 1 olevassa taulukossa on listattu yleisimpiä sisäilmassa tavattavia VOC-yhdisteitä tai -yhdisteryhmiä, niiden tyypillisimpiä lähteitä, vertailupitoisuuksia ja ohjearvo-

ja. Vertailupitoisuuksia hyödynnetään tässä työssä ainoastaan suuntaa antavina ohjausarvoina.

VOC-pitoisuuksien määrittäminen ja raja-arvot

Sisäilman yksittäisten VOC-yhdisteiden määrittämiseen voidaan käyttää aktiivisia tai passiivisia näytteenottomenetelmiä. Standardoiduissa menetelmissä ilmanäyte kerätään adsorbenttiin (esim. Tenax TA), minkä jälkeen yksittäiset pitoisuudet selvitetään kromatografisella analytiikalla. Yleisesti käytetty VOC-yhdisteiden analysointimenetelmä on kuvattu liitteessä 5.

Indikaattoriyhdisteiden ja niiden pitoisuuksien avulla voidaan tutkia sisäilman epäpuhtauksien lähteitä ja rakenteiden sisällä piileviä epäpuhtauslähteitä. Sen sijaan pitoisuuksien perusteella ei voida yksiselitteisesti päätellä sisäilman terveysvaikutuksia, vaan ainoastaan tehdä oletuksia niistä aiheutuviin haittoihin. Käytössä olevat näytteenottomenetelmät eivät myöskään huomioi kaikkia reaktiivisia tai sisätiloissa tapahtuvissa reaktioissa syntyneitä yhdisteitä, kuten aldehydejä. Lisäksi useiden hajua tuottavien yhdisteiden pitoisuuksien on arveltu olevan analyysimenetelmien määrittämissä rajojen ulkopuolella. (Wolkoff & Nielsen 2001.)

VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuutta (TVOC) ja pitoisuuden vaihtelua voidaan seurata myös suoraan osoittavilla mittalaitteilla, joista PID-laitteen (fotoionisaatiotietokone) on todettu reagoivan hyvin maalien, liimojen, liuottimien ja siivousaineiden yhdisteisiin, tyydyttävästi puumateriaaleihin, mutta huonosti mineraalivillaeristeisiin ja rakennuslevyihin. Eri menetelmillä saadut TVOC-pitoisuudet eivät ole vertailukelpoisia keskenään. (Wennström 2013, 58.)

VOC-pitoisuuksien määrittäminen tulee suorittaa aikaisintaan 6 kuukautta asunnon valmistumisen jälkeen (Järnström 2007, 58–63). Yhdisteiden tolueenivasteella lasketun kokonaispitoisuuden ollessa yli $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tulee ryhtyä lisäselvityksiin yksittäisten yhdisteiden tutkimiseksi. Yksittäisen yhdisteen enimmäispitoisuus

on $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pois lukien määrätty tiukemman toimenpiderajan omaavat yhdisteet TXIB, 2-EH, naftaleeni ja styreeni. (Asumisterveysasetus 2015.) Sisäilmastoluokituksen ennen vuotta 2008 käytössä olleessa versiossa S1- ja S2-luokkien ohjearvot kokonaispitoisuudelle ovat 200 ja $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Uusimmassa Sisäilmastoluokituksessa (2008) VOC-yhdisteiden vaatimukset on korvattu M1-luokan materiaalien käyttösuosituksella.

Ruotsalaisessa tutkimuksessa tavanomaisten uusien matalaenergiatalojen VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuus oli keskimäärin matalampi ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kuin uusien passiivitalojen ($270 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Langer ym. 2015). Suomessa rakennusten sisäilman TVOC-pitoisuuden on todettu olevan keskimäärin $226 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hänninen & Asikainen 2013, 66). Järnströmin (2007) tutkimuksessa kahdeksan (57 %) vähäpäästöisillä (M1) materiaaleilla varustettua asuntoa saavutti S2-tason vuosi asunnon valmistumisen jälkeen kokonaispitoisuuden keskiarvon ollessa $247 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ongelmattomien toimistotilojen TVOC-pitoisuus on tavallisesti välillä $50\text{--}250 \mu\text{g}/\text{m}^3$, keskiarvon ollessa $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Salonen ym. 2011).

6.2.2 Formaldehydi ja muut aldehydit

Aldehydit kuuluvat edellä kuvattuihin haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin, mutta ne käsitellään sisäilmastutkimuksessa tavallisesti omana ryhmänään. Perinteiset VOC-yhdisteiden määrittämis menetelmät eivät sovellu tärkeimpien aldehydien analysoimiseen, koska niiden kiehumispiste on hyvin alhainen. Formaldehydi esiintyy huoneenlämmössä kaasuna ja asetaldehydinin kiehumispiste on $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Muita yleisiä, pääasiassa huonekaluista ja rakennusmateriaaleista haihtuvia aldehydejä ovat mm. bentsaldehydi ja akroleeni. Aldehydejä voi syntyä myös otsonin ja asunnon materiaaleista peräisin olevien kyllästymättömien VOC-yhdisteiden kuten terpeenien välisissä reaktioissa. (Puhakka & Kärkkäinen 1994, 36–39.)

Sisäilman aldehydipitoisuudet ovat yhdisteestä ja rakennuksessa suoritetuista toiminnoista riippuen 2 - 12 kertaisia ulkoilmaan verrattuna. Lähteiden määrästä

riippuen puupohjaisten tuotteiden kuten vanerien, kuitulevyjen ja kaapistojen aldehydien emissiot voivat vaatia normaalia pidemmän huuhtoutumisajan. (Barro ym. 2009.) Asunnon sisustamisen jälkeen pitoisuudet voivatkin pysyä ensimmäisen käyttövuoden aikana suhteellisen vakiona (Järnström 2007, 58–63).

Useimpien sisäilmassa havaittujen aldehydien epäillään olevan karsinogeenisia eli syöväälle altistavia. Niiden on todettu aiheuttavan vaihtelevia terveyshaittoja ja ne ovat usein syynä merkittäviin hajuhaittoihin jopa ärsytysrajan alittavissa pitoisuuksissa. (Barro ym 2009.)

Formaldehydi

Sisäilmassa tavattavista aldehydeistä merkittävin on formaldehydi. Se on pistävän hajuinen kaasu, joka aiheuttaa silmien ja limakalvojen ärsytystä sekä päänsärkyä. Formaldehydin pääasiallinen lähde on lastulevy, mutta sitä saattaa vapautua ilmaan myös laminaateista, parketeista ja paneeleista, mikäli ko. materiaalien liimaukseen on käytetty formaldehydipitoista liimaa. Lastulevyjen pinnoitus ja korvaavien tuotteiden kehittäminen ovat vähentäneet formaldehydin merkitystä sisäilman heikentäjänä. Nykyään lastulevyn formaldehydipitoisuutta on rajoitettu ja levyissä käytetyn ureaformaldehydiliiman laatua on kehitetty. Lastulevyjen laatuluokituksesta (E1) huolimatta voi uusissa huonekaluissa ja kaapistoissa esiintyä ongelmia formaldehydin suhteen. Muita formaldehydin lähteitä ovat muovit, itsesiliävät tekstiilit, ekomaalit ja kemikaalit. (Salonen ym. 2014, 56.)

Formaldehydin hajukynnys on $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja ärsytyskynnys herkillä henkilöillä $5\text{--}10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lyhyen mittausajan (30 min) keskiarvopitoisuus puolen vuoden ikäisissä rakennuksissa tulee olla alle $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (Asumisterveysasetus 2015; RakMK D2:2012.) Ruotsissa määritettiin uusien rakennusten formaldehydipitoisuuksiksi korkeimmillaankin selvästi alle $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Langer ym. 2015). Suomessa uusien rakennusten formaldehydipitoisuus on keskimäärin $19\text{--}26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Järnströmin (2007) tutkimuksessa vuoden ikäisistä asunnoista kuitenkin ainoas-

taan kahdeksan (62 %) saavutti Sisäilmastoluokituksen (2000) S1-tason ($<30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) formaldehydin osalta. Ilman lämpötilan ($15 \rightarrow 35 \text{ }^\circ\text{C}$) ja suhteellisen kosteuden ($30 \rightarrow 70 \%$) merkittävä kohoaminen voi lisätä sisäilman formaldehydipitoisuutta jopa 200 %:lla.

6.2.3 Ammoniakki ja amiinit

Korkeat ammoniakkipitoisuudet on jo kauan liitetty vakaviin kosteusvaurioihin ja puutteelliseen rakentamisen aikaiseen kosteudenhallintaan. Ongelmatapauksissa ammoniakkaa haihtuu sisäilmaan orgaanisten aineiden hajotessa. Hajomistuotteina on tällöin myös muita sisäilmaa huonontavia yhdisteitä kuten aldehydejä, VOC-yhdisteitä ja rasvahappoja. (Asumisterveysopas 2009, 130–131.) Korkeiden ammoniakkipitoisuuksien todennäköisyys vähenee huomattavasti käytettäessä M1-päästöluokan materiaaleja kuten proteiinivapaita lattiatasoitteita. Eloperäiset valkuaisaineet kaseiini ja gelatiini on korvattu ko. tuotteissa turvallisemmilla aineilla, kuten muovipolymeereillä. Ammoniakkia ja amiineja voi kuitenkin haihtua sisäilmaan myös muista lähteistä kuten liimoista, pohjusteista, betonirakenteista, vesieristeistä ja orgaanisista luonnonkuiduista (Salonen ym 2014, 57.)

Ammoniakin tunnistaa pistävästä ja ummehtuneesta hajusta. Ammoniakin hajukynnys on $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja ärsytysoireita ilmaantuu pitoisuusvälillä $160\text{--}410 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Erilaisten amiinien haju voi olla erittäin voimakas ja hajukynnys $10\text{--}100$ kertaa matalampi kuin ammoniakilla. Ammoniakille ei ole asetettu terveysperusteista ohjearvoa, mutta tavanomaiset pitoisuudet ovat välillä $10\text{--}20 \mu\text{g}/\text{m}^2$. Mikäli pitoisuus ylittää arvon $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tulee ryhtyä toimiin epäpuhtauslähteiden ja kosteusvaurioiden selvittämiseksi. (Asumisterveysopas 2009, 131.) Sisäilmastoluokien S1 ja S2 ohjearvo ammoniakille on vuoteen 2008 asti voimassa olevassa luokituksessa $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vuonna 2008 voimaan tulleessa luokituksessa ammoniakin pitoisuusvaatimus on korvattu vähäpäästöisten materiaalien käyttösuosituksella. Tasoitusmateriaalien kehityksestä huolimatta Järnströmin (2007) tutkimuksessa ainoastaan 30 % ($n=14$) asunnoista saavutti kyseisen pitoisuusta-

son vuosi asunnon valmistumisen jälkeen, mikä voi olla osoituksena tasoitteiden tilalle tulleista uusista ammoniakkilähteistä.

6.2.4 Otsoni ja typpidioksidi

Sisäilman otsoni ja typpidioksidi ovat peräisin pääosin ulkoilmasta. Niiden pitoisuuksiin sisäilmassa vaikuttavat ulkoilmalähteiden lisäksi sisäpintojen toissijaiset lähteet, sisäilman kaasufaasissa tapahtuvat reaktiot ja ilmanvaihtuvuus. Otsonin ja typpidioksidin on todettu vahvistavan allergeenien vaikutusta allergisten ihmisten keskuudessa. Euroopan kaupungeissa havaittujen pitoisuuksien on todettu aiheuttavan pitkällä aikavälillä astmaa ja muita keuhko-oireita. (WHO 2014.)

Otsoni

Otsoni on tällä hetkellä yksi Euroopan tutkituimmista ilman epäpuhtauksista, sillä monet terveydelle haitalliset ilmansaasteet koskettavat lähinnä kehitysmaita. WHO:n asettama raja-arvo otsonin pitoisuudelle ulkoilmassa on $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (8 tunnin keskiarvo). (WHO 2014.)

Maanpinnan tasolla otsoni muodostuu auringon säteilyenergian vaikutuksesta reaktioissa, joihin osallistuu teollisuudessa ja liikenteessä syntyvät epäpuhtaudet, kuten typpioksidit ja VOC-yhdisteet (WHO 2005, 307–314). Sisätiloissa otsonin lähteenä toimivat lähinnä ilmanpuhdistimet (elektrostaattiset saostimet, ionikehittimet, otsonigeneraattorit), joita käytetään sisäilman hajujen vähentämiseen ja mikrobien tuhoamiseen (Bernstein 2008).

Otsonia voi kerääntyä asunnon sisäpinnoille ja sisustusmateriaaleihin. Vapautuessaan sisäilmaan se reagoi eri lähteistä peräisin olevien tyydyttämättömien orgaanisten yhdisteiden, kuten terpeenien kanssa. Nykyään suosiossa olevat luonnolliset ja kierrätetyt materiaalit sekä ihmisten käyttämät kemikaalit lisäävät sisätilojen terpeenipitoisuuksia. (Uhde & Salthammer 2007.) Viimeaikaiset tut-

kimukset ovat osoittaneet otsonin ja terpeenien välisten reaktioiden kasvattavan sisäilman pienhiukkaspitoisuuksia. Otsonin reaktiot α -pineenin, β -pineenin ja etenkin d-limoneenin kanssa ovat kasvattaneet sisäilman pienhiukkaspitoisuuksia (0.1–0.2 μm) jopa 20-kertaisiksi kontrollitiloihin verrattuna. (Weschler & Schields 1997.)

Typpidioksidi (NO₂)

Typpidioksidin lähteinä ovat pääasiassa teollisuuden ja liikenteen päästöt. Sisälähteinä toimivat kaasulla tapahtuva ruoanlaitto ja lämmitys. Typpidioksidilla on merkittävä vaikutus nitraattiaerosolien muodostumiseen ja siten haitallisten pienhiukkasten (PM_{2,5}) määrään. WHO:n asettama raja-arvo typpidioksidin vuotuiselle keskiarvolle on 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (WHO 2014.) Matalaenergisissä taloissa tehdyt tutkimukset ovat osoittaneet typpidioksidi-pitoisuuksien olevan 10–20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Talvella typpidioksidin I/O-suhde voi olla hetkellisesti koholla esim. runsaan kynttilänpolton seurauksena. (Langer ym. 2015.)

6.2.5 Radon

Radon on maaperästä ja kiviaineksesta rakennukseen tunkeutuva hajuton, mauton ja näkymätön jalokaasu. Uraanisarjaan lukeutuva radon ei reagoi muiden yhdisteiden kanssa. Radonin aiheuttama terveydellinen haitta johtuu sen lyhytikäisten hajoamistuotteiden lähettämästä radioaktiivisesta säteilystä. Maaperän radonpitoisuus vaihtelee, joten uudisrakentamisessa tulee ottaa huomioon alueen yleinen radontilanne. (Puhakka & Kärkkäinen 1994, 78.) Suomen kallio- ja maaperän uraanipitoisuudet ovat suurempia kuin Euroopassa keskimäärin. Etenkin Päijät-Hämeen ja Pirkanmaan soraharjuilla, Itä-Uudellamaalla sekä Kymenlaaksossa on havaittu korkeita radonpitoisuuksia. (Säteilyturvakeskus 2013.)

Radonpitoisuudet ovat yleensä korkeimmillaan pientalojen sisäilmassa keskimääräisen pitoisuuden ollessa noin 120 Bq/m³ (Säteilyturvakeskus 2015). WHO

on asettanut vuotuiseksi radonpitoisuuden yleiseksi ohjearvoksi 100 Bq/m^3 , mutta maakohtaisten vaihtelujen vuoksi enimmäispitoisuus on 300 Bq/m^3 . Pitkäaikainen altistus radonille jo pienissä pitoisuuksissa (100 Bq/m^3) voi aiheuttaa keuhkosyöpää myös ei-tupakoivien keskuudessa. (WHO 2010, 23–24.) Radon aiheuttaa Suomessa arviolta 16 % kaikesta sisäilman aiheuttamasta tautikuormasta, mikä on pienhiukkasia ($\text{PM}_{2,5}$) lukuun ottamatta enemmän kuin mikään muu yksittäinen tekijä (Hänninen & Asikainen 2013, 75).

Uusi asunto pitää suunnitella ja rakentaa siten, että radonpitoisuuden vuosikeskiarvo ei ylitä arvoa 200 Bq/m^3 (Asumisterveysasetus 2015; RakMK D2:2012). Sisäilman radonpitoisuutta kyetään alentamaan erilaisilla rakennusteknisillä ratkaisuilla, kuten alapohjatuuletuksella ja huolellisella alapohjan tiivistämisellä. Alapohjarakenteiden vuotokohdat voivat aiheuttaa maaperässä luonnostaan olevan radonin lisäksi esimerkiksi salaojasepelin sisältämän radonin kulkeutumisen sisätiloihin. (Puhakka & Kärkkäinen 1994, 78–84.)

6.2.6 Hiilidioksidi (CO_2)

Hiilidioksidipitoisuus on hyvä indikaattori sisäilman laadulle, sillä korkeat pitoisuudet aiheuttavat tunkkaisuutta, huonovointisuutta ja työtehon alenemista. Hiilidioksidimittausten avulla voidaan arvioida ilmanvaihdon riittävyttä suhteessa oleskelutilan kokoon ja tilassa oleskelevien ihmisten aiheuttamaan kuormitukseen. (Asumisterveysopas 2009, 134.) Ihminen erittää ulos hengittäessään hiilidioksidia ja muita aineenvaihduntatuotteita fyysisen aktiivisuuden perusteella; aktiivinen liikunta tuottaa noin viisinkertaisesti hiilidioksidia nukkumiseen verrattuna (Forslund & Forslund 2012).

Hiilidioksidipitoisuudelle ei ole erityistä terveydellistä ohjearvoa, koska se on terveydelle haitallista vasta melko korkeina pitoisuuksina ($>5000 \text{ ppm}$). Tyydyttävän sisäilman laadun rajana pidetään kokonaispitoisuutta 1500 ppm tai pitoisuutta 1150 ppm , kun kokonaispitoisuudesta vähennetään ulkoilman pitoisuus (n. $300\text{--}400 \text{ ppm}$). Pitoisuuden ylittäessä tyydyttävän tason, ilmanvaihtoa tulee

tehostaa tai vaihtoehtoisesti vähentää tilassa oleskelevien määrää. Hyvän ilmanvaihdon tai tilan asianmukaisen käytön osoituksena pidetään pitoisuutta ≤ 1000 ppm. (Asumisterveysasetus 2015.) Sisäilmastoluokkien S1 ja S2 vastaavat hiilidioksidipitoisuuden enimmäisarvot ovat 700 ppm ja 900 ppm. Käytettäessä hiilidioksidipitoisuutta ilmanvaihdon mitoituksen perusteena, säätöarvoksi asetetaan yleensä 800 ppm. (Sisäilmastoluokitus 2008.)

Matalaenergisisä pientaloissa tehdyissä tutkimuksissa hiilidioksidipitoisuuden on todettu olevan korkeimmillaan talvikuukausina jolloin luonnollinen ilmanvaihtuvuus on vähäistä. Korkeimpia pitoisuuksia havaitaan tavallisesti makuuhuoneesta yöaikaan, mutta vain satunnaisesti arvon 1000 ppm ylittäviä arvoja. (Debez ym. 2015; Langer ym. 2015.) Suomessa tehdyssä omakotitaloihin liittyvässä tutkimuksessa koneellisen ilmanvaihdon kohteissa ($n=5$) hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo vaihteli välillä 400–700 ppm (Hurme 2010, 34). Normaalitilanteessa hiilidioksidipitoisuus laskee rakennuksen ollessa tyhjillään, mutta rakenteissa piilevän mikrobikasvun ja riittämättömän ilmanvaihtuvuuden seurauksena tilanne voi olla myös päinvastainen. Homevaurioituneiden toimistohuoneiden hiilidioksidipitoisuus kohosi yöllä huoneen ollessa käyttämätön ja oven ollessa suljettuna. (Salkinoja-Salonen, M. Esitelmä Sisäilmastoseminaarissa 11.3.2015.)

6.3 Hiukkaset ja huonepöly

Sisäilmassa leijuva huonepöly koostuu erikokoisista orgaanisista, epäorgaanisista ja kuitumaisista hiukkasista sekä bioaerosoleista. Hiukkasista terveydelle haitallisimpia ovat pienhiukkaset ($PM_{2,5}$), epäorgaaniset kuidut ja tietyt mikrobiosolit. (Asumisterveysohje 2003, 66.) Mikrobiperäisiä epäpuhtauksia käsitellään luvussa 6.4. Sisäilmassa olevat hiukkaset jaotellaan tavallisesti niiden koon perusteella seuraavasti:

Taulukko 5. Sisäilmassa olevien hiukkasten jaottelu sekä eri kokoluokkien yhteys ihmisen hengityselimistöön ja sisäilmatutkimukseen (Salonen ym. 2011).

Termi	Kokoluokka (µm)	Vaikutus Elimistöön	Yhteys sisäilma tutkimukseen
Näkyvä pöly	≈20–100	Pidättyvät nenään ja nieluun	Kokonaisleijuma (kaikki ilmassa olevat hiukkaset)
Karkeat hiukkaset	2,5–10	Voivat tunkeutua keuhkoputkiin asti	PM ₁₀
Pienhiukkaset	≤2,5	Voivat tunkeutua keuhkorakkuloihin ja verenkiertoon asti	PM _{2,5}
Ultrapienet hiukkaset	≤0,1		PM _{0,1}

PM₁₀, PM_{2,5} ja PM_{1,0}: Kaikki yhtä suuret ja pienemmät hiukkaset kuin 10 µm, 2,5 µm ja 1,0 µm.

Kaupungeissa, taajamissa ja liikenneväylien varrella ulkoilman sisältämät hiukkaset ovat keskimäärin pienempiä kuin maaseudulla. Taajamissa yleisimmät hiukkaskoot ovat tavallisesti 0,5 ja 8,0 µm. Maaseudulla selvästi yleisin hiukkaskoko on 10 µm (Lappalainen 2010). Pienhiukkasten lähteenä on pääasiassa lähiympäristössä tapahtuva puun pienpoltto, liikenne, energian tuotanto ja katu-pöly, mutta myös ruoan laitto ja huonepöly. Karkea pöly on pääsääntöisesti ihmisten ja mikrobien tuottamia hiukkasia tai ulkoilman bioaerosoleja kuten kasvien itiöitä ja siitepölyjä. (Asumisterveysopas 2009, 139.) Ultrapienten hiukkasten osuus kokonaisuudesta on hyvin pieni ja niiden terveysvaikutuksista on tällä hetkellä suhteellisen vähän tietoa (Bernstein 2008).

Hiukkasten terveysvaikutukset

Hiukkaset ja niihin kiinnittyneet epäpuhtaudet aiheuttavat sekä lyhyt- että pitkäkestoisia terveysvaikutuksia, kuten hengitysteihin liittyviä tulehduksia ja sairauksia. Karkeat ja niitä suuremmat hiukkaset pidättyvät hengitettäessä pääosin nenäonteloon ja nieluun tai päätyvät korkeintaan keuhkoputkiin asti. Pienhiukkasil- le (PM_{2,5}) altistuminen yhdistetään nykyisin pitkällä aikavälillä kehittyviin sairauksiin kuten astmaan, sydän- ja verisuonisairauksiin ja hengitystiesairauksiin. Pienhiukkaset sitovat ja kuljettavat tehokkaasti epäpuhtauksia ja voivat imeytyä keuhkokudoksesta aina verenkiertoon asti aiheuttaen suurempia terveyshaittoja. (Hänninen & Asikainen 2013, 75.)

Hiukkasten kuljettamat epäpuhtaudet kuten PAH- ja PBDE -yhdisteet sekä metalli-ionit eivät pääse sisätiloissa osallisiksi ympäristön luonnollisiin hajoamisprosesseihin. Pienet nokihiukkaset yhdessä orgaanisten epäpuhtauksien, allergeenien ja mikrobitoroksiinien kanssa voivat aiheuttaa astmaattisten oireiden pahentumista. Lisäksi pienhiukkasten vuorovaikutuksessa otsonin tai typpidioksidin kanssa voi syntyä reaktiivisia yhdisteitä ja radikaaleja. Pienhiukkasille altistumista voidaan vähentää merkittävästi tuloilman suodattamisella etenkin kaupunkialueilla. (Bernstein 2008.)

Sisäilman hiukkasten haitallisuuteen vaikuttaa niiden koon lisäksi myös muoto sekä kemiallinen ja biologinen koostumus. Esimerkiksi erilaisista villaeristeistä peräisin olevien hiukkasten haitallisuus perustuu suurelta osin niiden kuitumaiseen muotoon. Mikrobeista ja ihmisistä peräisin olevat hiukkaset lisäävät pinnoille laskeutuvan pölyn haitallisuutta takaisin hengitysilmaan joutuessaan. (Puhakka & Kärkkäinen 1994, 46–51.) Erikokoisten ja eri lähteistä olevien hiukkasten on todettu eroavan toisistaan toksisuuteen ja tulehdusvasteeseen liittyvien ominaisuuksien osalta. Yli 2,5 µm kokoisten hiukkasten todettiin aiheuttavan suurempia tulehdusvasteita, kun taas pienhiukkasten haitallisuus perustui niiden toksisuuteen. (Happo ym. 2013.)

Pitoisuuksien ohjearvot ja vaihtelevuus

Sisäilman hiukkasia voidaan tutkia mittaamalla niiden lukumäärää ja massapitoisuutta tai keräämällä pölyä ilmasta ja pinnoilta tarkempaa laboratorioanalyysia varten. Suodattimille kerätyistä ilmanäytteistä voidaan määrittää mm. epäorgaanisen ja orgaanisen pölyn osuus tai mineraalivillakuitujen pitoisuus. Hiukkasten massapitoisuudelle on asetettu enimmäispitoisuuden raja-arvot hiukkasten osalta. Mittausten painopiste tulee keskittää terveydelle haitallisimpiin hiukkaskokoihin. Hengitettäviä hiukkasia (PM₁₀) tulee olla sisäilmassa enintään 50 µg/m³ (24 tunnin keskiarvo) ja pienhiukkasia (PM_{2,5}) vastaavasti enintään 25 µg/m³. (Asumisterveysasetus 2015; RakMK D2:2012.) WHO:n (2005) asettamat

ulkoilman hiukkaspitoisuuden raja-arvot ovat vuoden aikana mitatun keskiarvon osalta $PM_{2,5}$ -hiukkasille $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja PM_{10} -hiukkasille $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Hiukkasmäärien ja hiukkaskokojen kausittaiseen vaihteluun sekä I/O-suhteeseen vaikuttaa merkittävästi ulkoilman hiukkaspitoisuus, ilmanvaihtuvuus, tuloilman suodatus sekä moninaiset rakennuksen sisäiset hiukkaslähteet. Hiukkaspitoisuudet olivat Hapon (2013) tutkimuksessa pääosin suurempia sisäkuin ulkoilmassa. Kesällä havaittiin selvästi suuremmat sisäilman maksimipitoisuudet ($PM_{2,5} = 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $PM_{10} = 34 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kuin talvella ($PM_{2,5} = 9 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $PM_{10} = 17,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ultrapienien hiukkasten ($PM_{0,2}$) pitoisuus oli kaikkina vuodenaikoina suurempi sisätiloissa.

Ranskassa matalaenergiatalojen sisäilman pienhiukkaset ($PM_{2,5}$) ja hiukkaskokojen pitoisuudet ($0,3\text{--}20 \mu\text{m}$) olivat Hapon tutkimuksesta poiketen suurempia talvi- kuin kesäaikana (Derbez ym. 2014). Hurmeen (2010) tutkimuksessa ainoastaan $0,3$ ja $0,5 \mu\text{m}$:n hiukkaspitoisuudet olivat sisäilmassa pienempiä kuin ulkoilmassa, kun tutkaillaan koneellisella ilmanvaihdolla varustettuja omakotitaloja ($n=5$). Hiukkasten $1\text{--}10 \mu\text{m}$ osalta sisäpitoisuudet olivat suurempia I/O-suhteen ollessa $3\text{--}9$. Suurempien hiukkasten määrään vaikuttaa eniten ihmisten toiminta ja etenkin siivouskäytännöt. Talvella vähäisemmän tuuletuksen vuoksi sisälähteillä on merkittävämpi vaikutus ilman hiukkaspitoisuuteen, jolloin myös pitoisuuksien vaihtelut voivat olla huomattavasti suurempia (Derbez ym. 2014).

6.4 Kosteusvauriot

Kosteusvaurion eli pysyvästi tai toistuvasti kostuvan rakenteen merkittävin sisäilman laatuun vaikuttava seuraus on rakennuksen mikrobiologinen kontaminaatio. Mikrobeista peräisin olevien haittatekijöiden lisäksi kosteus aiheuttaa rakenteiden hajoamista ja niistä vapautuvien haitallisten yhdisteiden ja hiukkasten lisääntymistä sisäilmassa. (WHO 2009, 14–18.) Kosteusvaurion toteamiseksi tehtäviä tutkimusmenetelmiä ovat rakenteiden kosteusmittaukset, rakenne- ja pintanäytteet, aistinvaraiset arvioinnit sekä optiset tutkimukset. Selvityksessä voidaan hyödyntää myös sisäilma-analyysejä, sillä homekasvustot voivat olla vaikeasti havaittavissa ja asukkaiden kokemat terveyshaitat voivat viitata mikrobisaastumiseen muista tutkimuksista huolimatta. (Puhakka & Kärkkäinen 1994, 62–66.) Kosteuteen liittyvän sisäilmaongelman selvittäminen vaatii tavallisesti laaja-alaista lähestymistapaa ja useita tutkimusvaiheita.

Rakennusten kosteus- ja homevaurioilla tiedetään olevan yhteys astman syntyyn ja muihin hengitysteihin liittyviin oireisiin sekä erilaisiin allergioihin. Ne voivat myös olla yhteydessä erilaisiin limakalvojen ärsytysoireisiin, väsymykseen ja keskittymisvaikeuksiin. Nykyisillä tutkimusmenetelmillä ei kuitenkaan pystytä osoittamaan tietyn mikrobilajin tai mikrobiologisen tekijän yhteyttä ihmisten kokeisiin terveyshaittoihin. Kosteusvaurio voidaan ehkäistä tehokkaimmin rakennuksen suunnittelu ja rakentamisvaiheessa, mutta myös asianmukaisella ylläpidolla. (WHO 2009, 14–18.)

6.4.1 Materiaalien päästöt kosteusvaurioissa

Kosteusvaurioissa epäpuhtauksien pitoisuuksiin vaikuttavat vauriokohdan materiaalit, ympäröivän tilan ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä itse materiaalissa tapahtuvat kosteusvaihtelut. Kosteusvaurioiden yhteydessä materiaaleista vapautuu osittain samoja yhdisteitä kuin uusista ja vaurioitumattomista materiaaleista, jolloin kosteusvaurion todennäköisyyttä voidaan arvioida yhdisteiden pitoisuuksia tutkimalla. Yleisimpiä kosteusvaurioihin liittyvien epäpuhta-

uksien lähteitä ovat vesiliukoiset kiinnitysaineet, tasoitteet, puupohjaiset materiaalit, kipsilevyt, lämmöneristeet ja PVC-muoveissa käytettävät pehmittimet kuten TXIB. (Salonen ym. 2014, 55–59.)

Betonirakenteiden kosteusvauriot liittyvät yleensä riittämättömään rakentamisen aikaiseen kuivattamiseen tai puutteelliseen kosteuseristykseen. Puupohjaiset materiaalit tuottavat kostuessaan sisäilmaan muun muassa aldehydejä, alkoholeja ja terpeenejä. Kosteista betonirakenteista erittyvä emäksinen kosteus aiheuttaa hydrolyysireaktioita polymeerisissä materiaaleissa kuten, liimoissa ja lattiapäälysteissä. Hydrolyysireaktiot tuottavat lattiarakenteista sisäilmaan alkoholeja. (Salonen ym. 2014, 55–59) Pitkäaikaiset, alhaiset alkoholipitoisuudet eivät kuitenkaan välttämättä viittaa rakennuksen kosteusvaurioon, vaan ko. yhdisteitä kuten 2-etyyliheksanolia voi esiintyä sisäilmassa pienissä määrin normaaleissakin olosuhteissa (Järnström 2005, 5–6).

6.4.2 Mikrobiologista alkuperää olevat epäpuhtaudet

Mikäli materiaalin ilmatilan suhteellinen kosteus kohoaa normaalista (30–60 %) aina 70–80 %:iin, homesienet kykenevät kasvamaan materiaalissa tai sen pinnalla. Mikro-organismit voidaan jakaa niiden vaatiman kosteustason perusteella primäärisiin/kserofiilisiin (RH <80 %), sekundaarisiin/mesofiilisiin (RH = 80–90 %) ja tertiäärisiin/hydrofiilisiin (RH >90 %) lajeihin. Tiettyjen primääristen ja sekundaaristen mikrobien (nk. indikaattorimikrobit) löytyminen sisäilmasta voi olla osoitus rakenteissa alkavasta homevauriosta. Varsinaiset hydrofiilisten homesientien aiheuttamat lahovauriot syntyvät suojaamattoman puun ollessa pitkiä aikoja yli 90 %:n kosteusrasituksen alaisena. (WHO 2009, 12–29.)

Sisäilmassa olevat mikro-organismit ovat homesienien ja tiettyjen bakteerien itiöitä, joiden avulla ko. mikrobit lisääntyvät ja leviävät ympäristöönsä. Suurimillaan itiöiden tuottaminen on rakenteiden ajoittaisen kuivumisen yhteydessä. Myös ulkoilmassa on aina jonkin verran sieni-itiöitä sulan maan aikaan, mutta

etenkin kosteina kausina keväisin ja sykyisin. (Puhakka & Kärkkäinen 1994, 55–56.)

Sisäilman mikrobisaastuminen yhdistetään tavallisesti johonkin rakennuksessa tai sen olosuhteissa esiintyvään ongelmaan, joita voivat olla esimerkiksi:

- rakenteisiin tiivistyvä tai tunkeutuva ilmankosteus tai vesi
 - vuodot rakenteissa
 - lämpötilaerot ja -vaihtelut
 - maa- ja kondenssikosteus
- rakenteiden jäännöskosteus (virherakentaminen)
- riittämätön ilmanvaihto tai ilmanvaihtolaitteiston kontaminaatio
- eri tekijöiden vaikutuksesta tapahtuva materiaalien hajoaminen
- pinnoille kerääntynyt orgaaninen, SVOC-yhdisteitä sisältävä pölyseos.

(WHO 2009, 3–4)

Suotuisan kasvualustan homesienille tarjoavat puu, selluloosa, orgaaniset eristeet, runsaasti ravinteita sisältävät rakennusaineet ja pölyt. Useimmat sisäilman homeet kykenevät kasvamaan rakennusten normaaleissa lämpötiloissa (10–35 °C) ja hyödyntämään vähäravinteisiakin materiaaleja. Siten rakenteiden kosteudesta muodostuu usein kriittisin mikrobikasvuun vaikuttava tekijä. (WHO 2009, 12–29.)

Mikrobien haitallisuuden vaikuttavat tekijät

Mikrobien kasvaessa ilmaan vapautuu sieni-itiöiden lisäksi ja itiöihin sitoutuneena haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (mVOC), homeiden mykotoksiineja sekä solujen rakenteellisia osia kuten glukaaneja ja bakteerien endotoksiineja. Sieni-itiöt ja ultrapienet hiukkaset (<0,1 µm) voivat toimia lisäksi ihmisille haitallisten homeperäisten allergeenien kantajina. Allergeenit ovat yleensä solujen osien sisältämiä tai solujen tuottamia proteiineja, joiden pitoisuus sisäilmassa on korkeimmillaan itiöiden muodostumisen yhteydessä. (Bernstein 2008.) Yksittäisten mik-

robiologisten tekijöiden pitoisuudet ovat usein varsin pieniä ja terveyshaitat aiheutuvat todennäköisesti eri tekijöiden yhteisvaikutuksesta (Tiede-lehti 2003).

Vähäinen itiöpitoisuus, suppea lajiston määrä ja vähäinen bakteeripitoisuus voivat olla merkinä kosteusvaurion aiheuttamasta luonnollisen mikrobipopulaation häiriintymisestä. Rakennuksen ovat tällöin voineet vallata kosteusvaurioille tyypilliset, toksineja tuottavat homeajat. Epäsuotuisat kasvuolosuhteet, kuten ravinteiden vähyys ja rakenteiden ajoittainen kuivuminen, voivat johtaa mikrobien väliseen kilpailuun, jolloin ne muokkaavat toimintaansa ja kasvualustaansa elinoloihin sopivaksi. Rakennusmateriaaleilla ja kasvuolosuhteilla voi olla vaikutuksia tietyn mikrobilajin haitallisuuteen, kuten sen tuottamiin aineenvaihduntatuotteisiin ja toksineihin. (Tiede-lehti 2003.)

Kosteusongelmaisen tilan sisäilman sieni-itiöiden jatkuva ja lähes täydellinen eliminoiminen ultraviolettikäsittelyn avulla pienensi eräässä tutkimuksessa limakalvoärsytysoireita ainoastaan 30 %:lla ja hengitystieoireita 40 %:lla. Alhainen homeitiöpitoisuus ei näin ollen poissulje kosteusvaurion esiintymistä, vaan tiiviin seinärakenteen sisällä oleva mikrobikasvusto pystyy vaikuttamaan sisäilman laatuun tehokkaasti rakenteita läpäisevien toksiniensa välityksellä. (Bernstein 2008.) Taulukossa 6 on listattu esimerkkejä mikrobilajeista, niiden haitallisuudesta ja yhteydestä rakennuksessa esiintyvään kosteusvaurioon.

Taulukko 6. Esimerkkejä sisätiloissa havaittavien mikrobisukujen, -lajien ja ryhmien merkityksestä sisäilman laadulle (Asumisterveysopas 2009; Salonen ym. 2011).

Viittaa kosteusvaurioon ja tuottaa mahdollisesti toksineja (indikaattorimikrobit)	<i>Acremonium, Stachybotrys, Memnoniella, Fusarium, Paecilomyces, Trichoderma</i> <i>Aspergillus fumigatus, -ochraceus, -sydowii, -terreus</i> ja <i>-versicolor</i> Aktinobakteerit (<i>Streptomyces</i> , sädesienet), Gram-negatiiviset bakteerit
Viittaa kosteusvaurioon	<i>Aspergillus restricti, -penicillioides, Exophiala, Geomyces, Eurotium, Phialophora, Phoma, Tritirachium, Ulocladium, Walleria</i>
Merkitys avoin	<i>Absidia, Aspergillus flavus, -niger, -ustus, Aureobasidium, Botrytis, Chrysonilia, Mucor, Rhizopus</i> , punaiset hiivat
Ei yhteyttä / tavanomaiset mikrobit sisäilmassa	Tietyt <i>Aspergillus</i> -lajit, <i>Beauveria, Cladosporium, Geotrichum, Penicillium</i> , hiivat, steriilit sienet
Ei yhteyttä / tavanomaiset mikrobit ulkoilmassa	Tietyt <i>Aspergillus</i> -lajit, <i>Basidomyceetit, Alternaria, Cladosporium, Penicillium</i> , hiivat, steriilit sienet

Sisäilman mikrobiologisten olosuhteiden tutkiminen

Poikkeava sisäilman tai rakenteiden sieni-itiöpitoisuus, mikrobisuvusto tai mikrobien aineenvaihduntatuotteiden esiintyminen sisäilmassa viittaavat yleensä mikrobisaastumiseen. Edellä mainittujen seikkojen lisäksi on huomioitava rakennuksen sijainti, ikä, mikrobien muut sisälähteet ja testauksen aikaiset ulko-olosuhteet. Mikrobipitoisuuksien virallisissa tutkimuksissa tulee käyttää aktiivista näytteenottoa (esim. 6-vaiheimpaktori) erilaisille kasvatusalustoille, mikä mahdollistaa tunnetuimpien home- ja bakteerilajien tunnistamisen. Valtaosa homeitiöistä on kooltaan 1–10 µm ja näytteenotossa käytettävä 6-vaiheimpaktori jaottelee itiöt koon perusteella välille <1–7 µm. (Asumisterveysopas 2009, 144–173.)

Kaikki sieni-itiöt eivät kykene itämään keinotekoisilla kasvatusalustoilla; elinkykyisten mikrobien on arvioitu olevan enimmilläänkin vain 10 % homeitiöiden kokonaismäärästä. Sieni-itiöiden kokonaispitoisuuden, mikrobitoksiinien ja hiukasten biologisen aktiivisuuden määrittämiseen ei ole kuitenkaan vielä olemassa

standardoituja menetelmiä tai menetelmien vertailuaineisto on puutteellinen. (Salonen ym. 2014, 63.) Lisäksi homesienten mykotoksiinien terveysvaikutuksiin liittyvät tutkimustulokset ovat kiistanalaisia (Bernstein 2008).

Ilman mikrobipitoisuudet voivat vaihdella suuresti, mikä estää tarkkojen viitearvojen asettamisen. Korkeiden talvikautena mitattujen sieni-itiöpitoisuuksien (100–500 cfu/m³), aktinomykeettilöydösten (≥ 10 cfu/m³) tai poikkeavan mikrobisuvuston kohdalla on kuitenkin syytä epäillä rakennuksen mikrobisaastumista. Mikrobitulosten tulkinnassa voidaan hyödyntää vertailupitoisuuksia, jotka on koottu samantyyppisten ongelmattomien rakennusten mikrobimäärityksistä. (Asumisterveysopas 2009, 144–173.) Mikrobikasvustoista peräisin oleviin orgaanisiin yhdisteisiin (nk. mVOC) lukeutuu alkoholeja, aldehydejä, ketoneja, terpeenejä, estereitä, amiineja sekä rikkiä- ja typpeä sisältäviä yhdisteitä, jotka voivat aiheuttaa sisäilmaan ummehtuneita hajuja. VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuutta ja yhdisteprofiileja voidaan käyttää tukena kosteusvaurion selvittämisessä, mikäli huomioidaan kosteudelle altistuneiden rakenteiden materiaalit ja muut mahdolliset VOC-yhdisteiden lähteet. (Bernstein 2008.)

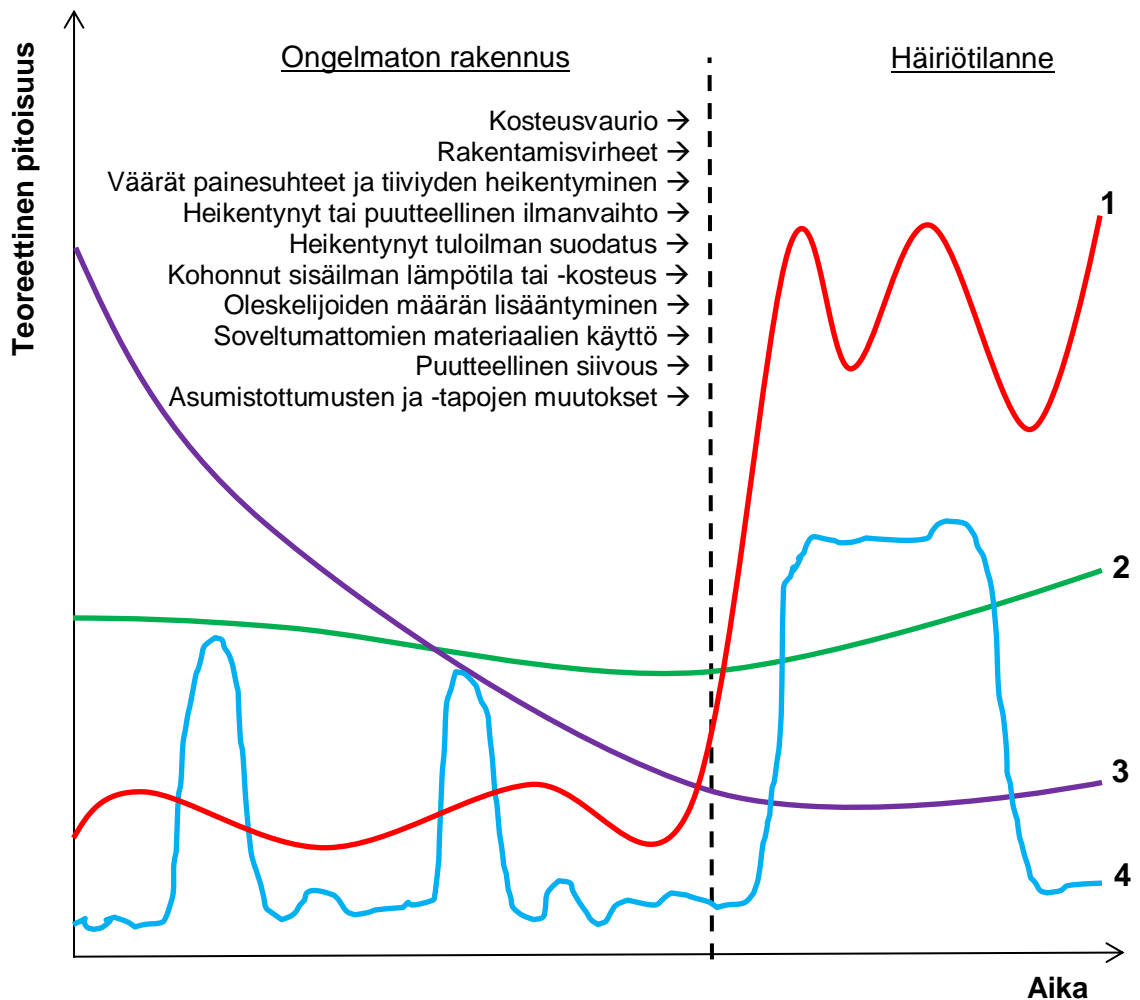
Mikrobimittaukset on tehtävä ensisijaisesti talviaikana maan ollessa jäässä ja mahdollisesti lumipeitteisenä, sillä kesällä ulkoilman mikrobipitoisuudet voivat häiritä tulosten tulkintaa. Toisaalta, mikäli sisäilmanäytteen mikrobilajisto ja -pitoisuudet muistuttavat ulkoilman vastaavaa, on rakennuksessa tuskin merkittävää homeongelmaa. Kostuneiden rakenteiden homesieni-itiöiden tuotto voi olla epäsäännöllistä mm. rakenteiden hetkittäisen kuivumisen takia. Kosteusvauriota epäiltäessä tuleekin ottaa mikrobinäytteitä eri ajankohtina ja useista näytepisteistä. (Asumisterveysopas 2009, 144–173.)

7 EPÄPUHTAUKSIEN PITOISUUKSISSA TAPAHTUVAT MUUTOKSET

7.1 Epäpuhtauksien päästöprofiilit

Sisäilman epäpuhtaudet koostuvat useista eri päästölähteistä, joten epäpuhtauksien päästöprofiilit eroavat toisistaan asuntokohtaisesti mm. rakennusmateriaalien, asukkaiden toimintojen, ulkoilman laadun ja rakennuksen yleiskunnon perusteella. Päästöprofiilit voivat olla määrällisesti ja ajallisesti säännöllisiä (ruoanlaitto, siivous, kosmetiikka) tai epäsäännöllisiä (remontointi), mutta myös vaikeasti ennakoitavissa olevia (kosteusrasitus). Sisälähtöisten epäpuhtauspitoisuuksien lisääntyessä korostuu ilmanvaihtuvuuden merkitys pitkäaikaisten pitoisuushuippujen ehkäisemiseksi. Korkeita epäpuhtauspitoisuuksia tavataan tästä huolimatta esimerkiksi remontointien yhteydessä.

Kuvassa 10 on esitetty epäpuhtauksiin liittyviä tyypillisiä pitoisuusprofiileja ja profiileissa tapahtuvia muutoksia normaali- ja häiriötilanteissa. Päästöjen suuruus voi vaihdella tapauskohtaisesti hyvin paljon, joten profiilit ovat ainoastaan havainnollistavia eivätkä profiilit ole vertailukelpoisia keskenään. Kuvasta havaitaan, että uudessa rakennuksessa epäpuhtauksien kokonaispitoisuuteen vaikuttavat merkittävästi uusien materiaalien päästöt. Käytön aikana materiaalien primääriemissiot pienenevät nopeasti ja myöhemmin epäpuhtauksien kokonaispitoisuus on riippuvainen ihmisten asumistottumuksista ja rakennuksen yleisestä toiminnasta.



Pitoisuus- tai emissioprofiilien sisältämiä epäpuhtauksia tai esimerkkejä niiden lähteistä:

- 1: Hiukkaset (pöly) ja mikrobit ulkoilmasta, rakennuksesta ja asukkaista.
- 2: Rakennusmateriaalit (PVC, parketit, linoleum) ja puiset huonekalut
- 3: Maalit, liimat, lakat ja muut vastaavat tuotteet
- 4: Ruoanlaitto, siivous, kosmetiikka, ihmisperäiset kaasut/hajut ja ilmansaasteet

Kuva 10. Epäpuhtauspitoisuuksien periaatteellisia käyttäytymisprofiileja (ideoitu lähteestä ISO 16000-5:2007).

Häiriötilanteesta voidaan puhua, kun epäpuhtauden pitoisuus ei laske normaalille tasolle riittävän nopeasti, pitoisuus kohoaa hetkellisesti poikkeuksellisen korkeaksi tai pitoisuuden perustaso ei vastaa ongelmattomista rakennuksista mitattuja tyypillisiä arvoja. Mikrobpitoisuuksien osalta häiriötilanteen arvioiminen on ongelmallista, koska kokonaispitoisuuden ohella on otettava huomioon muitakin

seikkoja kuten mikrobilajisto ja materiaalin kosteustasosta aiheutuvat pitoisuusvaihtelut.

7.2 Vuorokauden ja vuodenajan vaikutus pitoisuuksiin

Ongelmattomissakin asunnoissa epäpuhtauksien pitoisuudet voivat vaihdella hyvin paljon vuorokauden aikana tai vuodenaikojen perusteella. Liikenteen päästöjen vaikutus sisäilmaan on suurinta aamulla ja iltapäivällä, jolloin liikenne on vilkkaimmillaan. Kesällä ulkoilmasta peräisin olevat itiöt ja erilaiset pölyt lisäävät sisäilman kokonaispitoisuuksia enemmän kuin talvikausina. Kaupunkialueilla ulkoilman laatu voi olla katupölystä johtuen heikkolaatuista myös talvella, jolloin epäpuhtauksien kasaantuminen sisäilmaan voidaan estää riittäväällä koneellisella ilmanvaihdolla ja tuloilman suodatuksella.

Talviaikana mitatut pitoisuudet voivat olla korkeampia etenkin asumisesta johtuvien epäpuhtauksien, kuten hiilidioksidin ja pienhiukkasten (PM_{2,5}) osalta. Kesällä tuuletus läpivientien kautta on yleisempää, jolloin ilmanvaihtuvuuden lisääntyminen laimentaa epäpuhtauksien pitoisuuksia. Huonetilojen kosteus ja lämpötila voivat vaikuttaa joidenkin epäpuhtauksien, kuten VOC-yhdisteiden, formaldehydin ja ammoniakkin pitoisuuksia kasvattavasti etenkin kuumimpina kesäviikkoina. Suomalaisessa tutkimuksessa TVOC-pitoisuuden mediaani oli kuitenkin kesällä suoritetuissa mittauksissa vain hieman korkeampi (108 µg/m³) kuin talvella (98 µg/m³) (Wennström 2013, 19).

7.3 Materiaalipäästöjen pitkän aikavälin muutokset

Uuden rakennuksen sisäilmassa havaittavia epäpuhtauksia ovat yleensä tietyt VOC-yhdisteet, aldehydit ja rakennuspöly. Pölyn eli hiukkasten määrään voidaan vaikuttaa rakennuksen perusteellisella loppusiivouksella ja yhdisteiden pitoisuuksiin valitsemalla päästöluokitukseltaan parhaita rakennus- ja kalustusmateriaaleja. Yksittäisten ja yleisimpien VOC-yhdisteiden on todettu olevan huomattavasti korkeampia uusissa taloissa, kun taas vanhemmissa rakennuk-

sissa yhdisteiden kirjo on usein laajempi. Etenkin aromaattisten hiilivetyjen, terpeenien ja alkaanien pitoisuudet ovat korkeimmillaan juuri rakennuksen valmistamisen jälkeen. Myöhemmin hetkellisesti kohonneet pitoisuudet aromaattisten hiilivetyjen osalta liitetään pääsääntöisesti pintaremontteihin sekä uusiin kalusteisiin ja sisustuselementteihin. Myös terpeenien pitoisuuksissa voidaan havaita hetkittäisiä kasvupiikkejä, koska ko. yhdisteiden käyttökohteet ovat moninaisia kulutustuotteista puupohjaisiin materiaaleihin.

7.4 Kosteusongelmiin liittyvät pitoisuusmuutokset

Rakennuksen normaalin käytön yhteydessä sisäilmaan muodostuvan kosteusliikkeen aiheuttamat sisäilmaongelmat ovat hyvin vaikeasti ennustettavissa ja asianmukaisesti suunniteltu, rakennettu ja ylläpidetty talo voi säästyä kosteusvaurioilta koko elinkaarensa ajan. Asumista riippumattomat kosteusvauriot liittyvät yleensä riittämättömään rakentamisen aikaiseen kuivattamiseen, rakenteiden kosteustekniseen toimintaan tai rakennuksen puutteellisiin olosuhteisiin esim. painesuhteiden ja ilman suhteellisen kosteuden osalta.

Silmin havaittavat vakavat kosteusvauriot ja homeongelmat liitetään usein iäkkäisiin rakennuksiin. Kosteusrasitus voi olla kuitenkin hyvinkin huomaamatonta ja vähitellen etenevää rakenteiden sisällä tai ilmanvaihtojärjestelmässä. Näin ollen heikko rakentamisen kosteustekninen suunnittelu ja toteutus voivat vaikuttaa sisäilman laatuun hyvinkin nopeasti rakenteista vapautuvien haitallisten reaktiotuotteiden sekä mikrobien itiöiden, toksiinien ja aineenvaihduntatuotteiden välityksellä.

8 TUTKIMUSKOHTTEEN ESITTELY

Tutkimuskohde käsittää kaksi Turussa sijaitsevaa, vuonna 2015 valmistunutta Kastelli-omakotitaloa. Rakennukset ovat runko- ja pohjaratkaisuiltaan sekä suuntaukseltaan lähes identtiset, mutta eroavat toisistaan lämmitykseen liittyvien järjestelmien osalta. Turun Aikuiskoulutuskeskuksen rakennuttamissa ja Turun ammattikorkeakoulun tutkimuskohteikseen valitsemassa taloissa on tarkoitus seurata asumis- ja rakenneolosuhteita sekä energiankulutusta viiden ensimmäisen käyttövuoden aikana. Tutkimuskohteeseen liittyvissä aikaisemmin valmistuneissa opinnäytetöissä (mm. Leppäranta 2015) on kuvattu jo olemassa olevat mittaus- ja tiedonkeruujärjestelmät ja niihin liittyvät mittaussuureet ja mittapisteiden sijainnit.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on täydentää rakennusten olosuhdeseuranta sisäilman laatuun vaikuttavien tekijöiden osalta. Käytännön seurantatyössä on kuitenkin huomioitava, että myös monet fysikaaliset mittaussuureet, kuten ilmamäärä, paine-ero, lämpötila ja kosteus vaikuttavat välillisesti sisäilman laatuun. Taulukossa 7 on listattu tutkimuskohteiden tärkeimmät ominaisuudet sisäilman laadun kannalta. Taulukko toimii osana riskiarviota epäpuhtauksien lähtötason määrittäystä ja pitkäaikaisseurannan sisältöä suunniteltaessa.

Taulukko 7. Rakennusten perustiedot sisäilman laadun kannalta (Leppäranta 2015).

	Kohde 1	Kohde 2
Sijainti	Turku (Kohteet sijaitsevat naapuritonteilla)	Turku
Talon perustiedot	1 tasoinen harjakattoinen matalaenergiatalo (Kastelli, Plaza), valmistunut 2015 Nettopinta-ala: 131 m ² , ilmatilavuus 338 m ³ Asuintilojen lattia-ala: 121,4 m ² , ilmatilavuus 313,2 m ³ Oleskelutilojen lattia-ala: 91 m ² Autotalli ohessa, ei tulisijoja	
Sovelletut määräykset ja ohjeistukset	Suomen rakentamismääräyskokoelma	
Rakenteet	Puurunkoinen, lautaverhoilu, betonikattotiili, höyrynsulkumuovi, sisäverhouskipsilevy Ulkoseinä: tuulensuojalevy (gyproc), mineraalivilla Yläpohja: puhallus ekovilla, mineraalivilla, muovinen aluskate Alapohja: laminaatti, pintalaatta, EPS-eristelevy, teräsbetonilaatta, sora (maanvarainen)	
Vähäpäästöisten materiaalien käyttö (M1)	Pintamateriaalit ja kiintokalusteet	
Ilman laatuun liittyvät mittaukset (aiemmin asennetut)	Makuuhuoneiden ja poistoilman CO ₂ -pitoisuus Makuuhuoneiden lämpötila Poistoilman kosteus Tulo- ja jäteilmavirtaukset Sisätilojen ja ulkoilman välinen paine-ero Suodattimien toiminta (paine-erot) Rakennekerrosten lämpötila ja kosteus	
Lämmönläpäisevyys ja ilmatiiviys	U-arvot, W/(m ² K): ulkoseinä 0,16; yläpohja 0,07; alapohja 0,12 Ilmanpitävyys/ilmanvuotoluku: 1,2 m ³ /(h m ²) (ACH, 50 Pa)	
Ilmanvaihto	Mekaaninen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmön talteenotolla Tuloilman suodatus: G3+F7 Ilmavirtaus: 66 l/s (mitoitusarvo), laitteen maksimiarvo: 102 l/s (mitattu arvo) Ilmanvaihtokerroin: 0,80–0,83 1/h (mitoitusarvo)	
Lämmitysjärjestelmä	Suora sähkölämmitys (kattolämmityselementit) + ilmalämpöpumppu	Ilma-vesilämpöpumppu (vesikiertoinen lattialämmitys)
Ruoanlaiton energia	Sähkö	
Asuminen	Ei asukkaita, ainoastaan kiintokalusteet.	

9 SISÄILMAN LAATUUN LIITTYVÄ RISKIARVIOINTI

9.1 Rakenteet

Ulkoilmaan ja maaperään yhteydessä olevien rakenteiden toiminnallisuuden edellytyksenä on huolellinen rakentaminen ja rakenteiden säilyminen vauriottomina pitkällä aikavälillä. Käytön aikana seinä- ja kattorakenteisiin tunkeutuvan ja tiivistyvän kosteuden riskiä vähentävät sisäilman vähäinen kosteuslisä, ehjä höyrynsulullinen rakenne, riittävä sisätilojen alipaine ulkoilmaan verrattuna ja rakenteiden tiiviys. Seinän ulkopinnassa kosteusteknistä toimivuutta edesauttaa hyvin vesihöyryä läpäisevä tuulensuojalevy ja toimivat tuuletusraot. (Vinha & Käkelä 2001, 3–4.)

Tämän opinnäytetyön kohteissa seinärakenteiden suunnitteluratkaisut täyttävät em. ehdot. Kastelli-taloissa höyrynsulkumuovin on suunniteltu ulottuvan mahdollisimman yhtenäisenä ulkoseinien ja yläpohjan ympärille. Tämä toteutetaan käytännössä riittävällä muovin lomituksella, asianmukaisella teippauksella ja puristusvarmistuksella myös läpivientien kohdalta. Ulkoseinässä sovellettavan kaksoisrungon ja eristeiden kerroksellisuuden tarkoitus on ehkäistä kylmäsiltojen muodostumista sekä höyrynsulkumuovin vaurioituminen kiinnitysten yhteydessä. (Kastelli 2015.) Ulkoseinärakenteen toimivuuden kannalta suurimmat riskit kohdistuvat mahdolliseen kosteuden tiivistymiseen höyrynsulkumuovin tai tuulensuojakipsilevyn sisäpintaan. Helsingin yliopiston tekemässä tutkimuksessa havaittiin kostuneen kipsilevyn olevan tuottoisa kasvualusta mikrobeille. (Aalto-yliopisto 2013.)

Yläpohjarakenteessa kriittisimmät tekijät ovat höyrynsulun tiiviys läpivientien kohdalla ja kosteusolosuhteet tuuletustilassa lappeen yläosissa. Suuri eristepaksuus voi laskea yläpohjan lämpötilaa ja nostaa suhteellista kosteutta muodostaen mikrobeille otolliset olosuhteet. Läpivientien liitosten epätiiviykskohtien kautta sisäilmaa voi kulkeutua yläpohjaan, jolloin lämpimän sisäilman sisältämä vesihöyry voi tiivistyä vedeksi lämmöneristeen alaosissa. (Päkkilä 2012, 51–52.)

Maanvastaisissa rakenteissa on huomioitava, että maaperässä ja kapillaarikatkoissa on aina mikrobeja ja niillä on kosteuden ansiosta hyvät kasvuolosuhteet. Etenkin alapohjan ja seinärakenteen välisten liitosten on oltava ilmatiiviitä, jolloin mikrobiperäisiä epäpuhtauksia ei pääse kulkeutumaan sisätiloihin vuotokohdista. Maanvastaisen alapohjan kosteusvaurion syy voi olla vesihöyryn diffuusio pohjamaasta tai kapillaarinen vedennousu alapohjarakenteisiin. Alapohjassa ilmenevät ongelmat voivat johtua myös puutteellisesta rakentamisen aikaisesta kuivauksesta, toimimattomista salaojista tai pintavesien kulkeutumisesta rakenteisiin. (Leivo & Rantala 2006.) Tutkimuskohteiden suunnittelussa on sovellettu Suomen rakentamismääräyskokoelmaa, joten esimerkiksi kapillaarikatkokerros ja eristepaksuus (EPS) ovat määräysten mukaisia ja ehkäisevät veden tai vesihöyryn tunkeutumista ylimpiin alapohjarakenteisiin.

Tutkimuskohteet ovat suunnitteluratkaisuiltaan hyvää tasoa niin rakenteiden lämmönläpäisykertoimien (U-arvo) kuin rakennuksen ilmatiiviiden osalta. Ikäännytyessään rakennukseen voi muodostua hallitsemattomia ilmavuotoja höyrynsulkumuovien liitoskohtien tai vuotavien tiivistysten, saumausten ja halkeamien johdosta. Vuotoja ilmenee yleisimmin lattia-seinä-katto -rakenteiden ja ikkunakarmin liitoskohdissa. Alipaineiseksi mitoitettuun sisätilaan voi kulkeutua ilma- vuotokohtien kautta rakenteista haihtuvia epäpuhtauksia. Toisaalta hetkittäiset painevaihtelut voivat aiheuttaa sisäilman kosteuslisän tunkeutumisen vuotokohdista rakenteisiin ja altistaa materiaalit mikrobikasvulle. Kohteiden reaaliaikainen ilmatiiviyys on tämän vuoksi aiheellista määrittää säännöllisin väliajoin viisivuotisseurannan aikana.

9.2 Materiaalivalinnat

Rakennuksen pintamateriaaleina on käytetty M1-luokituksen omaavia tuotteita eli neljän viikon ikäisinä niistä haihtuvat TVOC-, formaldehydi- ja ammoniakkipitoisuudet ovat maksimissaan 200, 30 ja 50 $\mu\text{g}/\text{m}^2$. Epäpuhtauspitoisuudet vuoden ikäisissä asumattomissa rakennuksissa ovat hyvin matalia. Asumattomuudesta johtuen ei ole myöskään voinut tapahtua pintamateriaaleista tai ulkoilmas-

ta peräisin olevien epäpuhtauksien imeytymistä kalustukseen ja sisustustarvikkeisiin.

Koska mikrobit kykenevät kasvamaan lähes kaikissa kostuneissa rakennusmateriaaleissa, korostuu rakenteiden kosteustekninen toimivuus. Puuperäisillä materiaaleilla on kuitenkin todettu runsainta mikrobikasvua eriasteisissa kosteissa olosuhteissa (Rantamäki ym. 2000, 13–16). Puutuotteiden lisäksi eristeistä, maaleista, liimoista ja betonirakenteista voi kosteuden vaikutuksesta haihtua sisäilmaan mikrobien lisäksi muitakin epäpuhtauksia. Proteiinivapaat tasoitteet vähentävät omalta osaltaan ongelmatapauksiin liittyviä korkeita ammoniakkipitoisuuksia. Rakennusten kalustus- ja sisustusmateriaaleista sekä kulutustarvikkeista aiheutuvia päästöjä ei voida arvioida tässä vaiheessa.

9.3 Ilmanvaihdon riittävyys

Rakennusten ilmavirtausten mitoitusarvo on 66 l/s ilmanvaihtokoneiden maksimi-ilmavirran ollessa 102 l/s. Mitoitusilmavirta vastaa tutkimuskohteissa ilmanvaihtokerrointa 0,80–0,83 1/h, kun huomioidaan alipaineen mahdollistava 5–10 % tuloilmamäärää suurempi poistoilmavirtaus. Asuintilojen ilma vaihtuu näin ollen kokonaisuudessaan alle kahdessa tunnissa ja täyttää Suomen rakentamismääräysten vaatimukset. Tutkimuskohteiden Ilmanvaihtokerroin vastaa Sisäilmastoluokituksen ja EN 15251 -standardin parasta S1-luokkaa.

Ilmanvaihtuvuuden ei pitäisi normaaleissa käyttöolosuhteissa aiheuttaa riskiä sisäilman laadulle, sillä ilmamäärä ylittää reilusti vähimmäisvaatimuksen 0,5 1/h. Poikkeustilanteet voivat kuitenkin vaatia suuremman raitisilmavirtauksen ja tehostetun poistoilmavirtauksen liesituulettimen tai märkätilojen kautta. Asukasmäärän kasvaessa kuuteen henkilöön raitisilman määrää voi olla tarpeellista suurentaa. Taulukossa 8 on esitetty Sisäilmastoluokituksen vaatimat vähimmäisilmavirtaukset eri asukasmäärille. Kuten taulukosta ilmenee, vaikuttavat mitoitukseen merkittävästi asuntojen tuleva käyttäjämäärä. Lisäksi mitoitukseen

vaikuttaa olohuoneen raitisilman tarve eli makuuhuoneista tulevan siirtoilman hyödynnettävyys olohuoneessa.

Taulukko 8. Tutkimuskohteiden vähimmäisilmamäärät eri sisäilmastoluokissa (EN 15251:2007; Sisäilmastoluokitus 2008).

Sisäilmasto- luokitus 2008	Asuinhuo- neiden ul- koilmavirta (l/s, m ²)	Oleskelutilat, ulkoilmavirta (l/s, hlö)		Asuinhuonei- den ulkoilma- virta (l/s, hlö & m ²) (EN 15251) 6 hlö	Poistoilma vähintään, D2 (l/s)
		4 hlö	6 hlö		
S3 (RakMk D2)	46	36–48	48–72	Lk 3: 36 & 55	46
S2	46	48–64	64–96	Lk 2: 63 & 91	
S1	61	72–96	96–144	Lk 1: 90 & 127	

Makuuhuoneisiin sijoitetut hiilidioksidianturit toimivat suuntaa-antavina ilmanvaihtuvuuden indikaattoreina. Etenkin oleskelutilojen ilmanvaihtuvuutta arvioitaessa tulee huomioida huoneiden väliset ilmavirtaukset ja virtausten käyttäytyminen huonekohtaisesti. Kohteissa tuloilmaelimet on sijoitettu tärkeimpiin oleskelu- ja makuutiloihin. Tilojen välisiä ja sisäisiä virtauksia voidaan havainnollistaa tarvittaessa merkkiaineella tai suorittaa paine-ero -mittauksia.

9.4 Ilman suodatus

Ilmanvaihtojärjestelmässä käytettävät suodattimet ovat luokkaa G3 (esisuodatin) ja F7 (hienosuodatin). Karkeasuodatin toimii esisuodattimena ja sen jälkeen oleva hienosuodatin ehkäisee liikenteestä ja polttoprosesseista peräisin olevien pienhiukkasten kulkeutuminen sisäilmaan. Luokan F7 hienosuodattimen keskimääräinen erotusaste tulee olla yli 0,4 µm:n kokoisille hiukkasille vähintään 80 % (SFS-EN 779:2012). Ilmansuodatus täyttää rakennusten sijainti huomioiden Sisäilmastoluokituksen S2-tason. Luokituksen S1 saavuttamiseksi on taajama-alueilla käytettävä vähintään F8-luokan suodatinta.

9.5 Rakennusten sijainti

Tutkimuskohteiden mikroilmastollinen ympäristö ja rakentamispaikka eivät aiheuta merkittävää riskiä sisäilman laadulle. Turun alue sijaitsee radonin osalta turvallisimmassa ryhmässä, jossa radonpitoisuuden on todettu olevan pääsääntöisesti alle 100 Bq/m³ (Säteilyturvakeskus 2013). Sääolosuhteet Turun seudulla ovat usein hyvin kosteat ja sateiset etenkin keväisin ja syksyisin, joten rakennusten pohjoispuolen rakenteet voivat altistua keskimääräistä suuremmalle kosteusrasitukselle.

Rakennukset sijaitsevat taajamassa n. viiden kilometrin etäisyydellä Turun keskustasta, mutta eivät erityisen vilkasliikenteisten väylien tai suurten teollisuus- tai energialaitosten läheisyydessä. Päästöjen leviämismalliselvitysten ja Turun seudun ilmanlaadun selvitysten perusteella kohteiden sijaintialueen pitoisuuksien vuosikeskiarvot ovat seuraavat:

Leviämismalliselvitys, vuosikeskiarvo:

- Rikkidioksidi <2,0 µg/m³ (raja-arvo 20 µg/m³)
- Typpidioksidi 10 - 15 µg/m³ ug/m³ (raja-arvo 40 µg/m³)
- PM10 10 - 12 µg/m³ ug/m³ (raja-arvo 20 µg/m³, WHO)

Ilmanlaatuselvitys, 8 tunnin korkeimmat kuukausittaiset keskiarvot:

- CO 0,1 - 0,6 µg/m³ (raja-arvo 8 µg/m³), Kauppatorin mittauspiste
- Otsoni 63 - 119 µg/m³ (raja-arvo 120 µg/m³), Ruissalon mittauspiste

(Ilmatieteen laitos 2010; Turun seudun ilmansuojelun yhteistyöryhmä 2014)

Päästöt ovat vähentyneet Turun alueella liikenteen osalta 2–3 -kertaisesti viimeisten 30 vuoden aikana. Liikenteen pakokaasuhiukkaset ovat kuitenkin haitallisuuden ja alhaisen päästökorkeuden vuoksi edelleen tärkeä osa ilmanlaadun tutkimista ja kehittämistä. Ajoittain pienhiukkaspitoisuuksiin voi vaikuttaa omakotitaloissa tapahtuva puun pienpoltto etenkin lämmityskauden aikana. Katupölyn määrä vaihtelee kevään ja alkutalven aikana hiekoitustarpeen mukaan.

Suuri osa hienojakoisesta katupölystä on renkaan ja hiekan vaikutuksesta muodostuvaa asfalttipölyä (Ilmatieteen laitos 2010).

9.6 Rakentaminen

Tutkimuskohteiden rakentaminen on toteutettu Turun Aikuiskoulutuskeskuksen opetusprojektina, joten työ on ollut johdettua ja valvottua. Rakentaminen on toteutettu Suomen rakentamismääräyskokoelman terveellistä sisäilmastoa edistävien ohjeistusten ja määräysten mukaisesti. Rakentamisessa ei ole kuitenkaan sovellettu määräyksiä tukevaa ja täydentävää Sisäilmastoluokitusta, jossa vaatimustaso on korkeampi esim. ilmansuodatuksen osalta. Kiireetön aikataulu on mahdollistanut asianmukaiset rakenteiden kuivausjaksot. Rakenteiden kerroksellisuudesta johtuen kuivaus pitää suorittaa myös oikea-aikaisesti.

9.7 Ongelmatilanteiden ennakoitavuus

Tutkimuskohteissa seurataan eri rakenteiden ja järjestelmien toimintaa hyvin kattavasti, mikä vähentää vakavien kosteusvaurioiden, ilmanvaihtojärjestelmän häiriöiden ja siten sisäilmaongelmien syntymistä. Taulukossa 7 (s. 65) on listattu jo olemassa olevat olosuhdemittaukset, jotka antavat välillisesti hyödyllistä tietoa sen hetkisestä tai tulevasta sisäilman laadusta. Rakenteisiin sijoitetut olosuhdeanturit kuvaavat olosuhteita kuitenkin paikallisemmin kuin huonetilojen sisäilmasta suoritettavat mittaukset.

9.8 Asuminen

Rakennuksessa asuvien ja oleskelevien merkitys sisäilman laatuun on merkittävä, sillä rakennuksen ja sen järjestelmien virheellinen käyttö tai ylläpidon laiminlyönti voi johtaa sisäilman huonontumiseen. Asukkaat lisäävät normaaleilla toimintoillaan ja pelkällä läsnäolollaan sisäilman pitoisuuksia etenkin hiukkasten, mikrobien ja hiilidioksidin osalta. Myös ihmisten käyttämistä puhdistustuotteista,

elintarvikkeista, kosmetiikasta ja sisustusmateriaaleista päätyy sisäilmaan epäpuhtauksia kuten VOC-yhdisteitä.

Asukkaiden ja heidän toimintojensa vaikutusta sisäilman laatuun on tapauskohtaisuuden vuoksi vaikea ennustaa. Asukasmäärä ja asukkaiden yksilöllinen asumiskäyttäytyminen tulee huomioida esim. ilmanvaihtojärjestelmän säätämisessä sisäilmaston terveellisyyden ja energian kulutuksen optimoimiseksi. Järjestelmien käyttäjäystävyydellä, käyttökoulutuksella ja huoltosuunnitelmilla voidaan vähentää rakennuksen toiminnasta aiheutuvia sisäilmasto-ongelmia.

10 SISÄILMAN MITTAAMINEN

Sisäilmassa olevia epäpuhtauksia voidaan arvioida joko mittaamalla tai aistimalla. Silmin havaittavat home- ja kosteusvauriot pintarakenteissa tai epämääräiset hajut voivat olla merkinä sisäilmaongelmasta. Sisäilman tarkempaan määrittämiseen tarvitaan kuitenkin kvantitatiivisia menetelmiä. Jatkuvatoinisesti tai suoraan osoittavilla laitteilla voidaan määrittää ainakin TVOC-, hiilidioksidi-, otsoni- ja hiukkaspitoisuuksia. Tarkempaa laboratorioanalytiikkaa vaativiin mittauksiin sisältyvät mikrobiologiset määrittäykset ja yhdistekohtaiset VOC-analyysit. Mittausten suorittamisen ja tulosten analysoinnin kannalta on tärkeää tuntea testattavan asunnon yleiskunto, rakennusmateriaalit ja asukkaiden viimeaikaiset toiminnot.

10.1 Rakennuksen käyttötilanteet

Sisäilman laatu voidaan määrittää kolmessa eri käyttötilanteessa, jotka eroavat toisistaan kalustuksen ja rakennuksessa harjoitettavan toiminnan perusteella (taulukko 9). Rakennuksen tulee olla kaikissa mittauksissa, käyttötilanteesta riippumatta, normaalissa käytönaikaisessa toiminnassa ja ilmanvaihtojärjestelmän säädettynä sekä tasapainotettuna. Tiloissa ja järjestelmissä ei myöskään tule olla mittaushetkellä sinne kuulumattomia rakennus- tai sisustustöistä peräisin olevia materiaaleja.

Taulukko 9. Rakennuksen käyttötilanteet sisäilman laadun tutkimuksessa.

Käyttötilanne	Kalustus ja käyttö	Erityisesti huomioitavat epäpuh- tauslähteet ja epäpuhtaudet
As built	Rakennus on asuttamaton. Irtokalusteet ja sisustus puuttuvat.	Pintamateriaalit, kiintokalusteet, ilmanvaihtojärjestelmä. Ulkoilmasta ja tilojen ulkopuolisista rakenteista, etenkin ilmanvaihtojärjestelmästä peräisin olevat epäpuhtaudet.
At rest	Rakennus on täysin kalustettu ja sisustettu. Aukkaat eivät oleskele mittaushetkellä rakennuksessa.	Huonekalut, sisustusmateriaalit, kasvit. Rakennuksen yleinen kunto ja toimintakyky esim. mikrobeista peräisin olevat epäpuhtaudet. CO ₂ -pitoisuus rakenteissa olevien mikrobien osalta.
Operational	Rakennuksessa on normaalia käytönaikaista toimintaa. Mittaukset ovat yleensä pitkäkestoisia, jolloin ne sisältävät käytännössä jaksoja sekä operational- että at rest – tilanteista.	Aukkaat ja heidän toimintonsa (kokkaus, sisustus, remontointi, kulu- tustuotteet ja kemikaalit). Ilmanvaihdon kyky poistaa epäpuh- tauksia rakennuksen normaalikäytössä (CO ₂ , hiukkaset, VOC, radon, hajut).

Uudisrakennuksen sisäilmamittaus voidaan suorittaa epäpuhtauden luonteen tai rakennuksen asutustilanteen perusteella valitussa käyttötilanteessa. Epäpuh-
tauslähteiden identifioimisen tehostamiseksi voi olla hyödyllistä tehdä sisäilma-
analyysi kaikissa käyttötilanteissa. Näin voidaan selvittää esim. rakenteissa
mahdollisesti piilevät epäpuh-
tauslähteet tai ilmanvaihdon riittävyys erilaisilla
epäpuh-
tauskuormituksilla.

10.2 Sisäilmamittausten määrittäminen

10.2.1 Mittausten luokitus

Tutkimuskohteiden sisäilmamittaukset voidaan jakaa karkeasti ottaen kolmeen
ryhmään: lähtöpitoisuuksien määrittämiseen sekä säännöllisesti tai tarvittaessa

suoritettaviin mittauksiin. Rakennuksien tutkiminen voidaan jakaa näin ollen lähtötason selvittämiseen ja sitä seuraavaan varsinaiseen viisivuotisseurantaan.

Lähtötason selvittäminen

Lähtöpitoisuudet määrittelevät kohteiden sisäilman laadun tilanteessa, jossa epäpuhtauspitoisuuksien tulisi olla mahdollisimman alhaisia. Jatkossa kertynyttä mittaustietoa voidaan verrata soveltuvilta osin mitattuun lähtötasoon. Ensimmäiset mittaukset suoritetaan noin vuosi talojen valmistumisen jälkeen, jolloin pintamateriaaleista on teoriassa haihtunut suuri osa VOC-yhdisteiden primääripäästöistä. Tässä vaiheessa suoritettavilla testauksilla voidaan selvittää suunta-antavasti rakentamisen aikaisia laiminlyöntejä tai virheitä esim. kosteuden hallinnassa. Rakennusvirheiden mahdollisuutta voidaan arvioida myös rakenteiden olosuhteista kertyneen mittaustiedon avulla. Lähtöpitoisuuksien käyttökelpoisuutta vähentää mittausten suoritus asuttamattomista ja sisustamattomista rakennuksista. Toisaalta tuleva tieto asumisen vaikutuksista sisäilman pitoisuuksiin voi olla hyödyllistä eri yhdisteiden lähteitä arvioitaessa. Muutokset esim. mikrobilajistossa eivät kuitenkaan välttämättä viittaa rakenteissa olevaan kosteusvaurioon, vaan voivat johtua asumisesta tai asukkaiden muuttuneista asumistottumuksissa.

Säännölliset ja tarvittaessa suoritettavat mittaukset

Viisivuotisseurannan rungon sisäilman osalta muodostavat määrätyn väliajoin suoritettavat mittaukset, näytteenotot ja analyysit. Säännölliset mittaukset voidaan jakaa jatkuvasti toimiviin ja määrävälein, kuten kerran vuodessa, suoritettaviin mittauksiin. Ensisijainen kriteeri mittausta valittaessa on sen tarpeellisuus ko. tutkimuskohteessa, mutta valintaan vaikuttavat myös epäpuhtauden soveltuvuus jatkuvaan mittaukseen ja testauksen kokonaiskustannukset.

Rakennuksessa havaittavat ongelmatilanteet tai siellä tapahtuneet suuret muutokset voivat vaatia tarvittaessa suoritettavien mittausten hyödyntämistä. Mitta-

ukset antavat lisäarvoa rakennuksen toiminnasta säännöllisesti kerättävälle mit-taustiedolle tai asukkaiden kokemille epämääräisille aistimuksille. Toisaalta si-säilmatutkimuksen säännölliset mittaukset voivat olla alkusysäys rakenteiden tarkemmalle tutkimiselle.

10.2.2 Mittausten suorittaminen

Mittauksissa ja näytteenotoissa tulee noudattaa mahdollisuuksien mukaan Asumisterveysohjeessa ja -asetuksessa kuvattuja standardoituja menetelmiä ja näytteenotto-ohjeita. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää muita luotettavia mene-telmiä kuten suoraan osoittavia mittalaitteita. Tulosten vertailukelpoisuuden kannalta mittausmenetelmien vaihtumista seurantajakson aikana tulee välttää. Näytepisteiden sijainniksi valitaan tutkittavan epäpuhtauden kannalta edustavin huonetila ja näytepaikka. Yleensä näyte otetaan oleskelutiloista, mahdollisim-man keskeltä huonetta n. 0,6–1,5 metrin korkeudelta. Pidemmässä, usean vuo-rokauden kestävässä mittauksissa tai kiinteän anturin asennuksessa tulee huo-mioida mahdolliset oleskelijoista tai sisustuksesta aiheutuvat ylimääräiset häiriö-tekijät esim. keittiössä tai harrastetiloissa. Antureita ei tule sijoittaa lämpölähteiden tai ikkunoiden läheisyyteen.

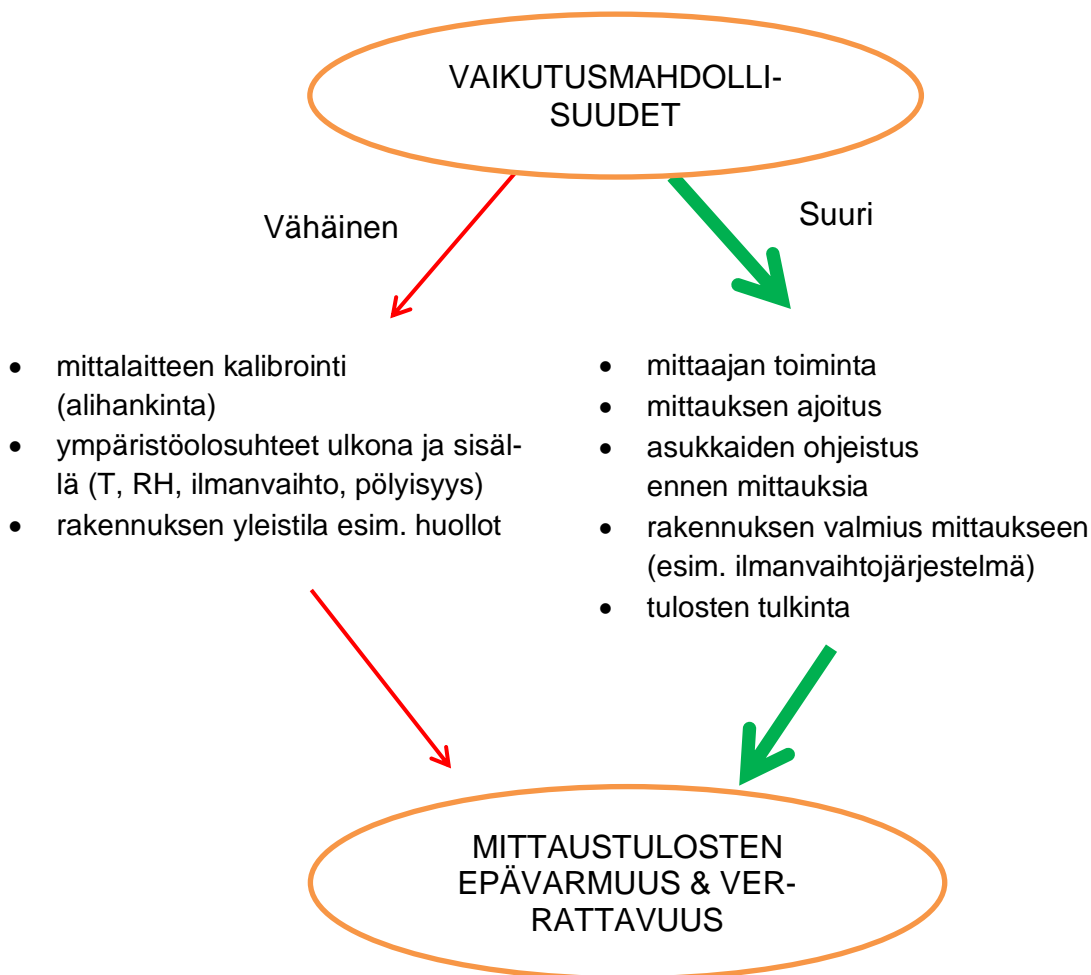
Pitkäkestoiset, rakennuksen normaalin käytön yhteydessä suoritettavat mittauk-set kuvaavat tarkimmin ja kattavimmin sisäilman laatua eri käyttötilanteissa. Koska näytepisteen on edustettava mahdollisimman hyvin todellista tilannetta, voivat mittaukset kuitenkin häiriintyä tiloissa oleskelevien toimesta. Siten yksit-täiset, lyhytkestoiset ja häiriöttömät at rest -mittaukset voivat tietyissä tilanteissa taata kontrolloidumman mittaustapahtuman. Niitä voidaan hyödyntää myös pit-käkestoisen operational-mittauksen tarvekartoituksessa.

Pitkäkestoisten, vähintään vuorokauden kestävien mittausten tueksi on tärkeää ohjeistaa asukkaat täyttämään kattavaa toimintapäiväkirjaa. Ilmanlaatuun ja mittaustuloksiin liittyviä tekijöitä voivat olla esim. kynttilöiden polttaminen, kemi-kaalien käyttö, ruoanlaitto, tupakointi, oleskelijoiden määrä, sisustus- ja korjaus-

toimet, tuuletus sekä ilmanvaihtojärjestelmän käyttö, huollot ja vikatilanteet. Päiväkirjaan voidaan kirjata myös viihtyisyyteen liittyviä tuntemuksia, jolloin niitä voidaan verrata mittauksista saatuun kvantitatiiviseen tietoon.

10.2.3 Tulosten analysointiin liittyvä epävarmuus

Asuintilojen sisäilmamittauksiin liittyy huomattava määrä muuttujia, jotka tulee ottaa huomioon tuloksia analysoitaessa. Seurannan aikana saatujen tulosten vertailukelpoisuuteen voidaan vaikuttaa säilyttämällä mittausolosuhteet ja muut mittaukseen liittyvät tekijät mahdollisimman samankaltaisina koko viisivuotis-seurannan ajan (kuva 11).



Kuva 11. Mittaustuloksen epävarmuuteen ja tulosten vertailukelpoisuuteen vaikuttavia tekijöitä.

11 TULOKSET - ILMANLAADUN LÄHTÖTASO

Sisäilman laadun lähtötason indikaattoreiksi valittiin aikaisempien tutkimusten ja kohteeseen suoritettun riskikartoituksen perusteella hiukkaset, mikrobit ja VOC-yhdisteet. Tarkasteltavien epäpuhtauksien valintaan vaikutti merkittävimmin talojen käyttöaste (asuttamaton) ja ikä (1 vuosi) mittaushetkellä. Lisäksi kohteissa on käytetty vähäpäästöisiä pintamateriaaleja. Edellä mainittujen tekijöiden johdosta ei katsottu tarpeelliseksi tutkia formaldehydi-, ammoniakki- ja hiilidioksidipitoisuuksia. Rakennusten sijainnin perusteella myös radon-, hiilimonoksidi-, typpidioksidi- ja rikkidioksidimittaukset jätettiin lähtötasomäärityksen ulkopuolelle. Hiilidioksidipitoisuuksiin kiinnitetään tarkempaa huomiota asuntojen normaalin käytön aikana.

Tuloksia verrataan ensisijaisesti ongelmattomissa rakennuksissa suoritettuihin tutkimuksiin ja Sisäilmastoluokitukseen; vertailu asetusten ja ohjeistusten vähimmäisvaatimuksiin tai toimenpiderajoihin ei ole tarkoituksenmukaista kohteiden ollessa uusia ja asuttamattomia. Kaikenlaiseen vertailuun on kuitenkin suhtauduttava kriittisesti, sillä useissa tutkimuksissa vuoden ikäisissä taloissa on ollut normaalia asutusta jo vähintään puolen vuoden ajan. Lähtötason selvittämisen päätarkoituksena onkin luoda lähtöarvot tutkimuskohteena olevan uuden omakotitalon sisäilmalle.

11.1 Mittaustulokset

Tutkimuskohteiden sisäilman lähtötaso määritettiin vuoden 2016 alussa (20.1.–22.1. ja 16.2.). Ulkoilman lämpötila ensimmäisen mittausjakson aikana oli -15...-20 °C ja viimeisenä mittauspäivänä -2 °C. Kohteet olivat visuaalisen tarkistuksen perusteella mittausvalmiudessa ja tiloissa ei havaittu epämääräisiä hajuja, jotka olisivat vaikuttaneet mittausten suorittamiseen ja sisältöön. Tilojen perusteellista loppusiivousta ei ollut suoritettu, mikä otetaan huomioon tulosten käsittelyssä.

Kohteen 2 ilmanvaihdossa ilmeni häiriöitä hiukkasmittauksen loppuvaiheessa (21.1. aamupäivä). Häiriöt jatkuivat myös mikrobien näytteenoton aikana. Häiriöiden syytä ei kuitenkaan saatu selville opinnäytetyön suorittamisen puitteissa. Kohteessa 1 ei ilmennyt vastaavia ilmanvaihtohäiriöitä mittausten aikana. Mittausten I/O-suhdetta ei sisällytetty lähtötasomäärittämiin, koska kova pakkanen esti mittareiden ulkokäytön. Ulkopitoisuuksien määrittäminen tulee kuitenkin suorittaa tulevien seurantamittausten yhteydessä sään niin salliessa. Poikkeuksena tästä ovat mikrobimäärittäykset, joissa ulkopitoisuuksia ei tarvitse määrittää talviolosuhteissa.

11.1.1 Hiukkaset

Hiukkasmittaukset suoritettiin optisella hiukkaspitoisuutta ja laskennallista hiukkasten massapitoisuutta (PM) mittaavalla hiukkaslaskurilla. Molemmista kohteista mitattiin yhtäjaksoisesti hieman yli vuorokauden kestävä jakso. Suurin osa mittauksesta tapahtui olokeittiössä ja tilanteessa, jossa mittaja oli poistunut rakennuksesta. Lyhyempiä mittauksia tehtiin myös muista huonetiloista ja erilaisilla ovien asennoilla, mutta ko. seikkojen vaikutus hiukkaspitoisuuksiin oli hyvin vähäinen. Kohteen 2 ilmanvaihdossa havaitun häiriön merkitys hiukkasmittauksiin oli vähäinen, sillä kohteiden hiukkaspitoisuuksissa ja pitoisuusprofiileissa ei ole suuria eroavaisuuksia. Taulukossa 10 on koottuna tärkeimpien hiukkaskokojen differentiaalinen pitoisuus ja teoreettinen hiukkasten massapitoisuus.

Taulukko 10. Hiukkasmittausten tulokset.

Hiukkaskoko, (μm)	Kohde 1 (21.1.–22.1.2016)	Kohde 2 (20.1.–21.1.2016)
	Differentiaalinen hiukkasmäärä (kpl/l) Ka (SD); minimi–maksimi	
$\geq 0,350$	40984 (19563); 17815–78948	44980 (22623); 17724–95488
$\geq 0,575$	2343 (1063); 1075–5837	1908 (823); 650–3666
$\geq 0,900$	86 (33); 20–210	92 (43); 5–225
$\geq 2,500$	3 (4); 0–31	8 (11); 0–78
$\geq 4,500$	0,2 (0,6); 0–5	0,8 (2,4); 0–22
$\geq 8,750$	0,06 (0,3); 0–3	0, 11, 0,2 (0,7); 0–11
Hiukkasmassa (PM)*	Hiukkasmassa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Ka (SD); minimi–maksimi	
PM_{1,0}	4,2 (1,9); 2,0–8,2	4,3 (2,0); 1,8–8,7
PM_{2,5}	4,6 (2,0); 2,2–9,0	4,8 (2,1); 2,0–9,5
PM₁₀	4,8 (1,9); 2,2–9,0	5,5 (2,6); 2,1–32,5
	Keskiarvo mittausjakson aikana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
PM_{Total}	8,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (näytetilavuus 1,6 m^3)	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (näytetilavuus 1,54 m^3)

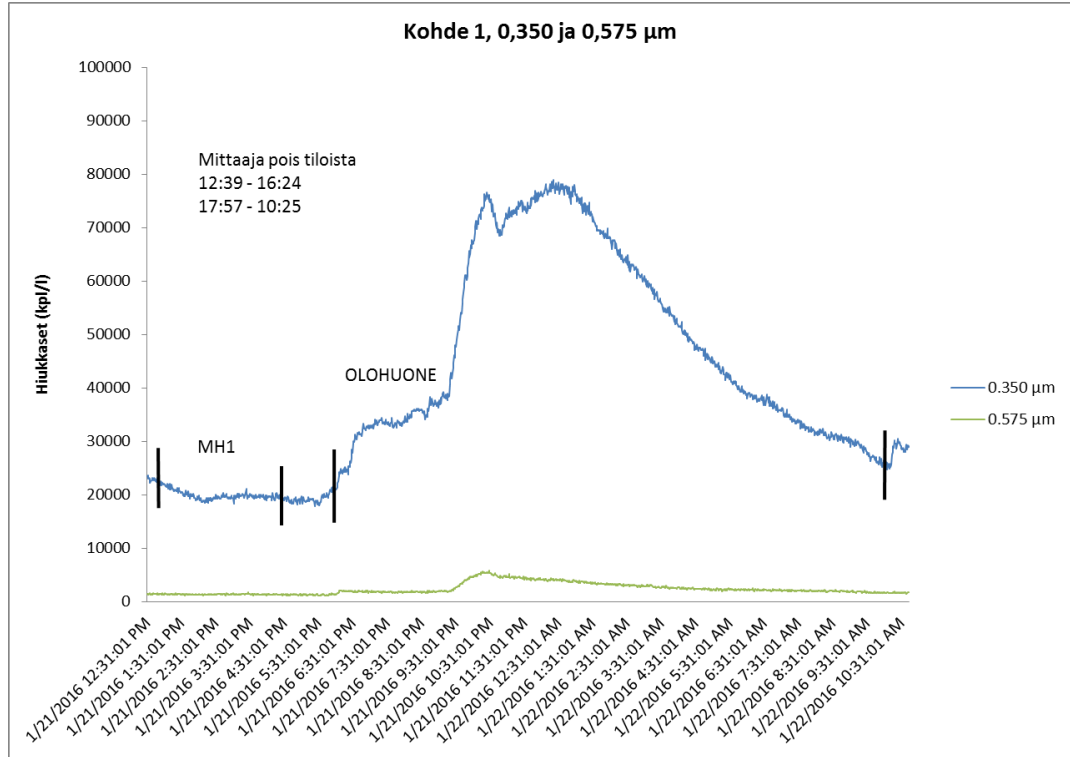
*Pitoisuudet ovat laskennallisia

Mittalaite (TTL, Turku): Grimm 1.108, s/n:8F070084, mittausten tallennusväli: 1 min.

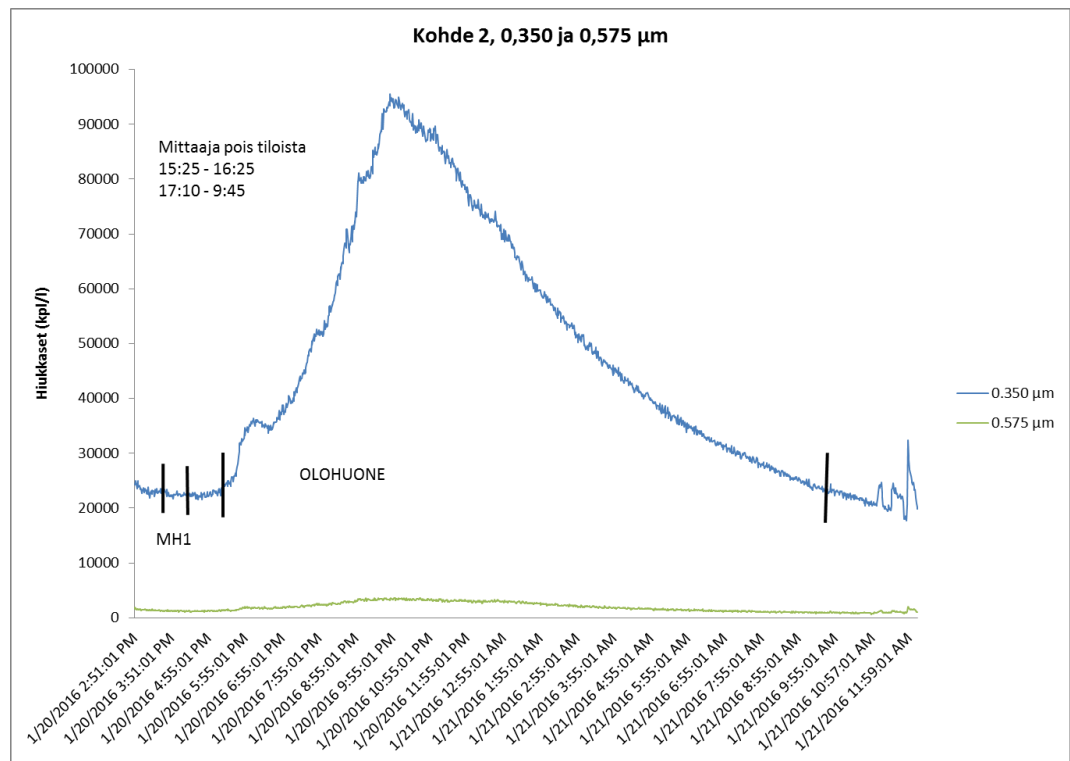
Näytekorkeus: 0.6 m, näytevirtaus: 1.2 l/min.

Ka: keskiarvo, SD: keskihajonta, PM: Particulate Matter.

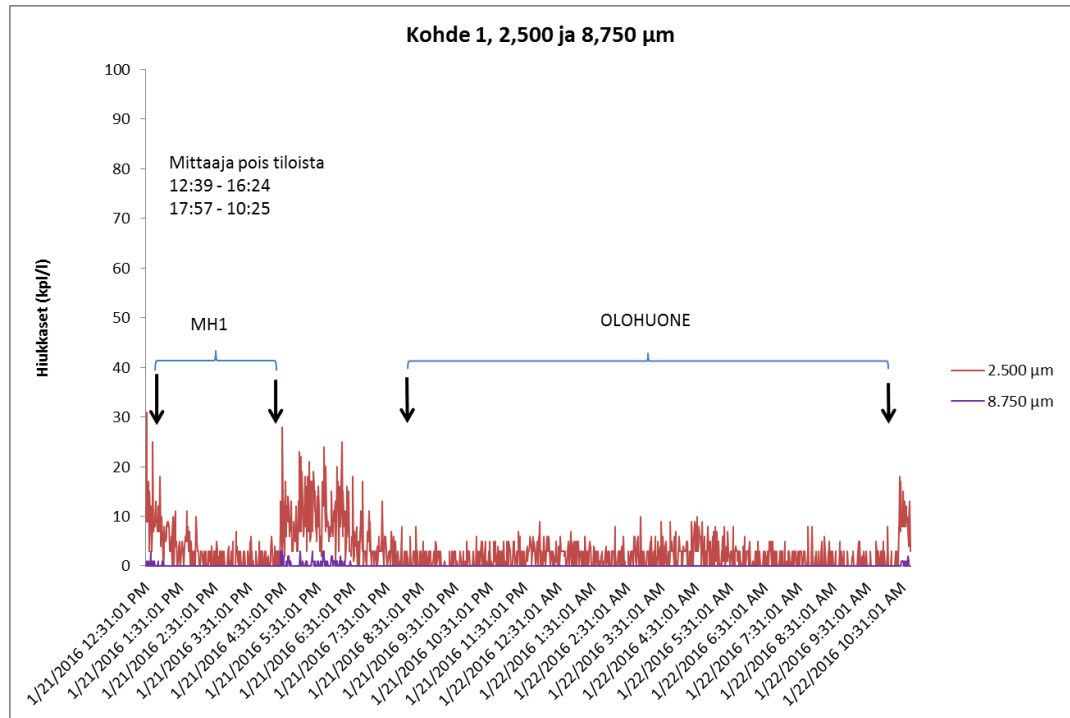
Kuvissa 12–15 on esitetty hiukkaspitoisuuksien kehitys mittausjaksojen aikana. Hiukkaskokoihin ovat valikoituneet pienimmät mitatut hiukkaset (0,350 ja 0,575 μm) sekä hieman suuremmat, mutta kuitenkin hengitettäviin hiukkasiin (PM₁₀) lukeutuvat hiukkaskoot (2,5 ja 8,75 μm). Vielä suurempia, yli 10 μm hiukkasia esiintyi ainoastaan satunnaisesti tavanomaisen mittaustuloksen ollessa 0 kpl/l.



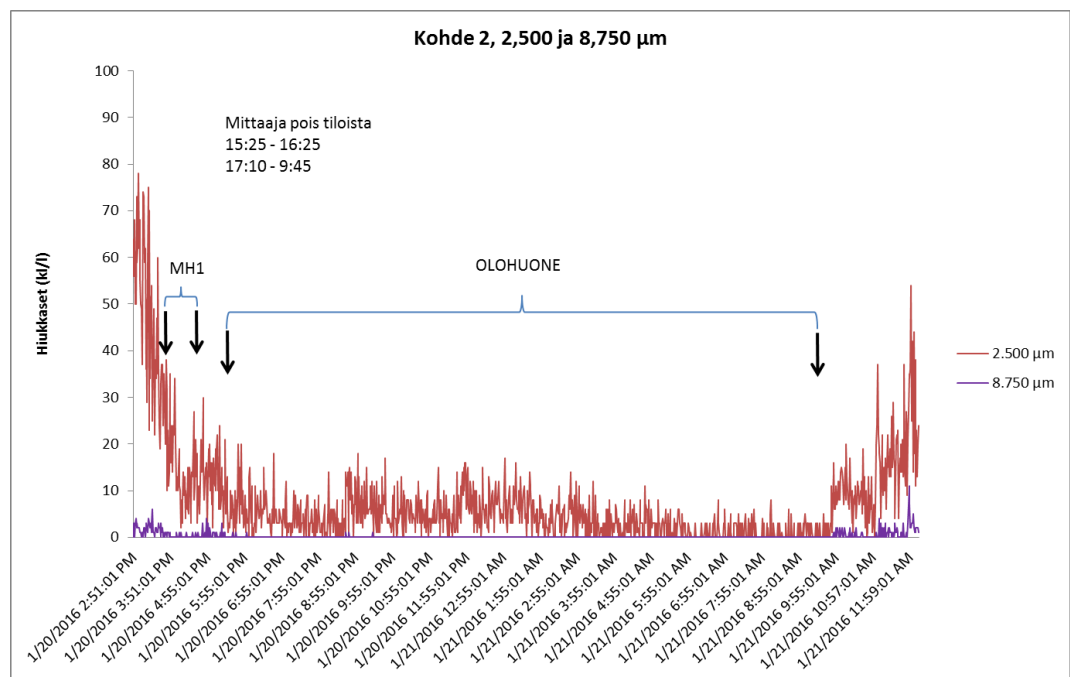
Kuva 12. Pienhiukkaset, kohde 1.



Kuva 13. Pienhiukkaset, kohde 2.



Kuva 14. Hengitettävät hiukkaset, kohde 1.



Kuva 15. Hengitettävät hiukkaset, kohde 2.

Hiukkasmittausten tuloksista havaitaan mittaajan vaikutus suurempiin, yli 2,5 μm :n kokoisiin hiukkasiin. Sisälähteet eivät aiheuta suurta hiukkaskertymää tämän työn tuloksiin, sillä merkittävimmät päästölähteet, ihmiset ja kalustus puuttuvat asunnoista. Sen sijaan pienimpien mitattujen hiukkasten (0,350–0,575 μm) pitoisuus kasvoi molemmissa kohteissa kello 18:00:n jälkeen, jolloin rakennuksissa oli ainoastaan mittalaite. Pitoisuus jatkoi kasvua lähes nelinkertaiseksi aikaisemmin päivällä mitattuihin arvoihin verrattuna yöhön mennessä, minkä jälkeen pitoisuus alkoi pienentyä. Aamulla kello kahdeksaan mennessä pitoisuudet olivat jälleen palautuneet edellispäivän tasolle.

Ulkoilman hiukkaspitoisuuden on todettu olevan kaupungeissa ja taajamissa pienimmillään nimenomaan ilta- ja yöaikana. Pienimpien hiukkasten pitoisuuspiikki voi johtua esimerkiksi ilmanvaihdon toiminnan häiriöistä tai painesuhteiden vaihteluista. Syy voi olla myös ilta-aikana vallinneesta puun pienpoltosta, sillä mittauspäivinä oli kireä pakkassää. Osa pienhiukkasista pääsee tällöin kulkeutumaan ilmanvaihtojärjestelmän kautta sisätiloihin, sillä F7-luokan suodattimien vähimmäisvaatimus (SFS-EN 779:2012) 0,4 μm hiukkasten erottamiseksi on ainoastaan 35 %. Hurmeen (2010) eri-ikäisistä ja erilaisen ilmanvaihdon omaavista omakotitaloista tekemiin mittaustuloksiin ($n=15$) verrattuna pienhiukkaspitoisuuksien katsotaan olevan suuria. Pienimpien hiukkasten ($>0,300 \mu\text{m}$) differentiaalinen keskipitoisuus talvikautena oli Hurmeen tutkimuksessa $n. 16\ 000 \text{ kpl/l}$, kun se tämän työn mittauksissa oli yli $40\ 000 \text{ kpl/l}$ ($>0,350 \mu\text{m}$ hiukkaset). Suurempien hiukkasten ($>2,5 \mu\text{m}$) pitoisuudet olivat sitä vastoin odotetusti pienempiä tässä tutkimuksessa. Hiukkasten pitoisuuksiin tämän työn kohteissa voi yleisesti ottaen vaikuttaa rakentamisen jälkeisen perusteellisen loppusiivouksen uupuminen, minkä seurauksena huoneiden ja ilmanvaihtokanavien pinnoilta voi irrota rakennuspölyä sisäilmaan.

Koska korkeat hiukkaspitoisuudet rajoittuivat vain pienimpään mitattuun hiukkaskokoon, laskennallinen vuorokautinen hiukkasten massapitoisuus jäi suhteellisen pieneksi (PM_{10} : 4,8 ja 5,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) raja-arvon ollessa 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 tunnin keskiarvo). On kuitenkin huomattava, että myös $\text{PM}_{1,0}$ on molemmissa kohteissa yli 4,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja esimerkiksi Hapon ym. (2013) tutkimuksessa asutettujen

huoneistojen PM_{2,5} oli talvikautena keskimäärin vain 9 µg/m³. Ranskassa tehdyssä tutkimuksessa (n=5) matalaenergiatalojen PM_{2,5} oli ennen asuttamista 6–14 µg/m³ (Derbez ym. 2013). Tutkimuksesta eivät kuitenkaan selviä tarkasti mittausolosuhteet eikä se, ovatko talot olleet kalustettuja.

11.1.2 Mikrobit

Mikrobimääritykset suoritettiin sekä aktiivisella (6-vaiheimpaktori) että passiivisella (laskeumamalja) menetelmällä (Taulukko 11). Kummassakin menetelmässä käytettiin kolmea eri elatusalustaa (THG: Tryptoni-Hiivauute-Gluukoosiagar, MA-2; 2 % Mallasuuteagar ja DG-18: Dikloraani- 18 % -Glyseroliagar) mahdollisimman laajan mikrobilajiston kattamiseksi.

Taulukko 11. Mikrobimääritysten tulokset ja haitalliset mikrobilajit.

Tila	Kohde 1	Kohde 2
	6-vaiheimpaktori (näyteaika 15 min) cfu/m ³	
Olokeittiö	THG: 5 Ei aktinomykeettejä	THG: 9 Ei aktinomykeettejä
	MA-2: 11, josta <i>Penicillium</i> : 7 ¹ <i>Aspergillus versicolor</i> : 2	MA-2: 22, josta <i>Penicillium</i> : 14
	DG-18: 7, josta <i>Penicillium</i> : 2 ¹ <i>Aspergillus versicolor</i> : 5	DG-18: 37, josta <i>Penicillium</i> : 12 ¹ <i>Aspergillus versicolor</i> : 7 ¹ <i>Paecilomyces variotii</i> : 7 ¹ <i>Aspergillus fumigatus</i> : 2
	Laskeumamaljat (näyteaika 1 tunti) cfu/malja	
Olokeittiö	0	0
MH1	0	0
MH2	0	0
MH3	0	0
KHH	1 (MA-2)	4 (MA-2), 1 (DG-18)
WC	0	0
Tulos: (cfu/ 6 maljaa/ 1 h)	THG: Ei aktinomykeettejä ² MA-2: 1 DG-18: 0	THG: Ei aktinomykeettejä ² MA-2: 4 DG-18: 1

¹Kosteusvauriota indikoiva toksinen mikrobiryhmä.

²THG-laskeumamaljoista lasketaan vain aktinomykeettien määrä (toiminta-raja ≥3 cfu/ 6 maljaa/ 1 h).

Näytteenotto: 22.1.2016, viljely: 7 vrk. 25 °C, näytekorkeus: 0.5 m.

Laitteisto, kasvatusaljat ja impaktorinäytteiden analysointi: Turun yliopiston Aerobiologian yksikkö (ks. testauseloste, liite 4). THG:bakteerit ja aktinomykeetit, MA-2:mesofiiliset sienet, DG-18:kserofiiliset sienet.

6-vaiheimpaktorilla otetut näytteet

Aktiivisella menetelmällä otettujen näytteiden sieni-itiöiden kokonaispitoisuus oli matala (5–37 cfu/m³) kummankin kohteen osalta. Asumisterveysoppaan (2009, 171) mukaan kokonaispitoisuus 100–500 cfu/m³ merkitsee kohonnutta sieni-itiöpitoisuutta. Näytteistä ei myöskään havaittu toksisia aktinomykeetti-itiöitä (nk. sädesienet). Sen sijaan haitallista, kosteusvaurioon viittaavaa sienilajistoa havaittiin molemmista kohteista. *Aspergillus versicolor* ja *Paecilomyces variotii* luokitellaan primäärilajeihin (kserofiilinen), joiden kasvu voi käynnistyä rakennusmateriaaleissa jo alle 80 % kosteustasossa. *Aspergillus fumigatus* kuuluu sen sijaan minimikosteusvaatimuksiltaan (>90 %) tertiäärisiin mikrobilajeihin. (WHO 2009, 12.) Kohteessa 2, jossa havaittiin mittausten aikana ilmanvaihto-ongelmia, indikaattorilajisto oli hieman laajempaa ja pesäkkeiden kokonaismäärä suurempi. Haitallisten lajien lisäksi näytteissä esiintyi pieniä määriä vaaratomia ja yleisesti tavattavia bakteereja ja homelajeja, kuten *Penicillium*. *Penicillium*-lajit on liitetty kuitenkin toimistotyyppisten tilojen homevaurioihin jo kohteessa 2 havaituilla pitoisuuksilla. Sen haitallisuuteen vaikuttaa suuresti homeen alalaji, jota ei tässä yhteydessä määritetty. (Lappalainen ym. 2008.) *Penicilliumin* yleisyys kosteusvaurioissa selittyy osaltaan sen sopeutumiskyvyllä vaihteleviin olosuhteisiin ja erilaisiin materiaaleihin (Rantamäki ym. 2000, 25).

Kohteista löydetty kosteusvauriota indikoivat sienilajit ovat hyvin tyypillisiä asuntojen ilmanäytteistä löydettäviä indikaattorilajeja. *Aspergillus versicoloria* esiintyy monissa erityyppisissä rakennusmateriaaleissa. *Aspergillus fumigatusta* tavataan yleisesti kostuneissa tapetti-kipsilevy-muovi -rakenteissa. Molemmat lajit yhdistetään myös lattiarakenteessa olevaan betonipohjaisten materiaalien kohtuulliseen kosteusrasitukseen. *Paecilomyces variotiita* esiintyy sen sijaan usein puumateriaalien kosteus- ja homevaurioihin yhdistetyissä kohteissa. (Rantamäki ym. 2000; Salonen ym. 2011.)

Matala sieni-itiöiden kokonaispitoisuus selittyy osaltaan talojen asumattomuudella; asunnoista puuttuvat normaalissa tilanteessa pesäkemääriä kasvattavat lähteet kuten ihmiset ja heidän toimintansa, elintarvikkeet, kasvit ja muut or-

gaaniset materiaalit. Asuttamattomuus vähentää osaltaan kosteusvaurioiden riskiä ja lisää ilmanvaihdon tehokkuutta, sillä sisäilman kosteuslisä on vähäistä ja sisäilmaan vapautuvat mikrobit poistuvat nopeammin asunnosta. Vallitsevassa tilanteessa voidaan tutkia kuitenkin itse rakennuksesta peräisin olevia mikrobeja. Muuton yhteydessä ja asumisen aikana tiloihin voi kulkeutua vierasta lajistoa esim. vanhojen huonekalujen, mattojen tai muissa tiloissa käytettyjen vaatteiden mukana. Toisaalta vuoden kestänyt asuttamattomuus on voinut vähentää rakennuksiin kohdistuvaa valvontaa, joka päivittäisten havaintojen ansiosta johdattaa yleensä nopeampaan reagointiin vikatilanteissa.

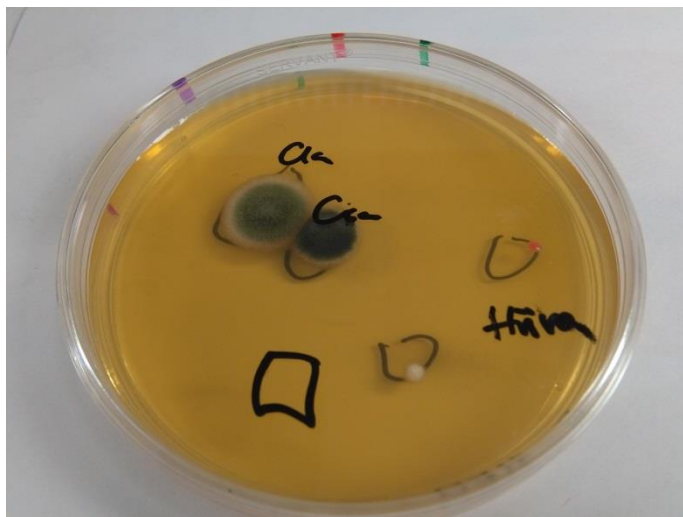
Rakennusten käyttötilanteesta johtuen mikrobitulosten vertaaminen asuinhuoneistoista kerättyihin kokonaispitoisuuksiin ei ole käytännöllistä. Suurempi huomio tulee kiinnittää indikaattorimikrobien määrään ja lajistoon. Vertailukohdaksi voidaan asuntojen sijaan ottaa esimerkiksi toimistotilat, joille Työterveyslaitos on asettanut mikrobien kokonaispitoisuuden viitearvoksi 50 cfu/m³. Sekä homeongelmaisten että ongelmattomien toimistotilojen sisäilmasta havaittuihin yleisimpiin mikrobeihin kuuluvat myös tämän työn kohteista määritetyt lajit *Aspergillus versicolor* ja *Penicillium*. Kyseisten lajien keskiarvopitoisuuksien suhde vaurioituneiden ja kontrollina toimineiden toimistotilojen kohdalla oli luokkaa 11/4 cfu/m³. Yleisimpien mikrobien pitoisuudet eivät eronneet toisistaan kovinkaan merkittävästi ja yksittäisen lajin pitoisuus oli suurimmillaankin vain 22 cfu/m³. Kosteus- ja homevaurioon voivat viitata myös hieman harvemmin sisäilmassa tavattavat lajit, joista *Aspergillus fumigatus* ja *Paecilomyces variotii* esiintyi tässä työssä kohteessa 2. (Lappalainen ym. 2008.). Kaikki indikaattorimikrobit eivät ole näin ollen täysin kosteusvauriospesifisiä ja niitä voi esiintyä erisuuruuksina pitoisuuksina myös ongelmattomissa tiloissa.

Tutkimuskohteissa määritettyjen pitoisuuksien perusteella ei voida tehdä suoria johtopäätöksiä rakenteiden kosteusteknisestä toimivuudesta. On kuitenkin merkille pantavaa, että myös Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa (Langer ym. 2015) havaittiin kuudessa (29 %) uudessa omakotitalossa kosteusvaurioon viittaavaa mikrobikasvua jo ensimmäisten käyttövuosien aikana. Sisäilmamittausten lisäksi on tutkittava yleisen käytännön mukaisesti mahdolliset riskirakenteet ja ylei-

nen puhtaustaso esim. ilmastointikanavissa. Lisäksi on seurattava rakennuksessa vallitsevia olosuhteita kuten, ilmamääriä, painesuhteita sekä sisäilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Huomioiden tutkimuskohteiden iän ja toimintatilanteen, ovat tässä työssä saadut tulokset osittain yllättäviä ja korostavat etenkin mikrobilajistoon liittyvän seurannan tarpeellisuutta.

Laskeumamaljat

Passiivinen näytteenotto ei kuulu enää sisäilman Asumisterveysohjeessa (2003) määriteltyihin virallisiin menetelmiin. Tässä työssä haluttiin kuitenkin menetelmän yksinkertaisuuden ja helppouden vuoksi suorittaa näytteenotto myös laskeumamaljoilla. Eri menetelmien vertailu katsottiin hyödylliseksi viisivuotis-seurannan sisältöä suunniteltaessa. Passiivisessa näytteenotossa sovellettiin vuonna 1997 julkaistun Asumisterveysoppaan ohjeistusta. Kuvissa 16 ja 17 on muutamia esimerkkejä laskeumamaljoilla havaitusta haitattomasta mikrobikasvusta.



Kuva 16. Kohde 2, kodinhoituhuone, MA-2 -elatusalusta.



Kuva 17. Kohde 2, kodinhoitohuone, THG-elatusalusta.

Laskeumamaljanäytteiden homesieni-itiöiden pesäkemäärät olivat hyvin pieniä (maksimi 4 cfu/ 6 maljaa/ 1 h) eikä THG-maljoissa esiintynyt haitallisia aktinomykettejä eli sädesieniä. Näytteissä ei havaittu aktiivinäytteistä poiketen indikaattorilajisto vaan ainoastaan harmittomia hiivoja, steriilejä rihmoja ja homeita kuten *Cladosporium*. Suurin osa mikrobipesäkkeistä havaittiin kodinhoitohuoneessa sijainneista maljoista. Tämä voi johtua siellä tapahtuneesta henkilöliikenteestä. Tila toimi mittausten aikana sisäänkäyntinä ja tilassa oleskeli mittausta edeltävänä päivänä myös muuta huoltohenkilöstöä. Ilmanvaihtoon ongelmista kärsineessä kohteessa 2 bakteeripesäkkeiden kokonaismäärä oli korkeampi myös passiivisten näytteiden osalta. Tämän työn mikrobimäärittysten perusteella laskeumamaljat eivät sovellu erityisen hyvin kohteiden seurantaan varsinkaan homesienten elatusalustojen (MA-2 ja DG-18) osalta.

11.1.3 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Rakennusten sisäilman VOC-yhdisteet määritettiin aktiivisella menetelmällä, jossa näyte kerätään pumpun avulla Tenax TA -adsorbenttiin. Taulukossa 12 on listattuna rakennuskohtaisesti yleisimmät yhdisteet ja yhdisteryhmät sekä TVOC-pitoisuus. Muista testeistä poiketen kohteen 2 ilmanvaihdon toiminta todettiin normaaliksi VOC-testien yhteydessä.

Taulukko 12. Yhteenveto VOC-määrittelyistä.

Tila	Kohde 1	Kohde 2
	VOC-pitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
Olokeittiö	*2-metyyli-2-butanaani: 21 1-metyyli-2-isopropyylibentseeni: 3 3-kareeni: 12 a-pineeni: 29 Heksanaali: 4 Nonanaali: 7 *Asetoni: 4 *Etikkahappo: 10 TVOC: 80	*2-metyyli-2-butanaani: 17 3-kareeni: 5 a-pineeni: 8 Heksanaali: 3 Nonanaali: 5 *Asetoni: 3 *Etikkahappo: 10 TVOC: 30

* Pitoisuus on suuntaa-antava.

Laitteisto ja näytteiden analysointi: Työterveyslaitos, Helsinki (ks. testausseleste, liite 5).

Näytteenotto: 16.2.2016, näyteaika: 90 min, näytetilavuus: 9.4 l, näytekorkeus: 0,6 m.

Yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) oli matala etenkin kohteen 2 osalta ja kummassakaan kohteessa ei havaittu ongelmia viittaavia indikaattoriyhdisteitä. Kaikkien yhdisteryhmien osalta pitoisuudet olivat matalampia kuin vuoden ikäisille asunnoille asetetut viitearvot (liite 1). Pitoisuudet eivät ole kuitenkaan täysin vertailukelpoisia, koska viitearvot on määritetty asutetuissa huoneistoissa ja pintamateriaaleissa on asuntokohtaisia eroja.

Aromaattisten ja alifaattisten hiilivetyjen matalat pitoisuudet ja vähäinen yhdisteiden määrä viittaavat uusien pintamateriaalien päästöjen hyvään huuhtoutumiseen. Kohteessa 1 yhdistekirjo oli hieman laajempi, mutta pitoisuuksiltaan merkittävimmät yhdisteet olivat kauttaaltaan samoja. Myös Langerin ym. (2015) tutkimuksessa uusien energiatehokkaiden pientalojen yleisimpiin sisäilman VOC-yhdisteisiin lukeutuivat mm. a-pineeni ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 3-kareeni (8.3), heksanaali (5) ja nonanaali (4). Kaikkien ko. yhdisteiden merkittävimpänä lähteenä toimivat puutuotteet, kalusteet, rakennuslevyt ja erilaiset pinnoitteet.

Alifaattisiin hiilivetyihin lukeutuvan 2-metyyli-2-butanaanin eli isopentaanin pääasiainen lähde rakennuksissa on alapohjan EPS-eristelevy eli styroksi. Polttoaineista peräisin oleviin isopentaanipitoisuuksiin liittyy tavallisesti myös korkeat bent-

seenipitoisuudet, joita ei tässä työssä havaittu. Isopentaania käytetään styroksin valmistuksessa ja yhdistettä voi kulkeutua sisäilmaan alapohjarakenteen vuoto- kohdista tai läpivienneistä. (Volatile News 2015.) Pentaanipitoisuudet voivat vaihdella lähteistä riippuen hyvin paljon, mutta kohteiden isopentaanipitoisuuksien voidaan katsoa olevan keskimääräistä korkeampia. Isopentaani kuuluu harvoin merkittävimpiin havaittuihin VOC-yhdisteisiin tai pitoisuudet ovat selvästi alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sekä sisä- että ulkoilmassa. (Cometto-Muniz & Abraham 2015.) Ranskassa tehdyssä tutkimuksessa pentaanien kokonaispitoisuus vaihteli välillä $0\text{--}15,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ensimmäisen vuoden aikana. Alifaattisten hiilivetyjen, joihin isopentaani lukeutuu, normaalina pidettävä kokonaispitoisuus vuoden ikäisissä rakennuksissa on $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. On kuitenkin huomattava, että analyysin tulos yhdisteen osalta on ainoastaan suuntaa-antava.

Suurin eroavaisuus kohteiden välillä on kohteessa 1 esiintyvä korkeampi terpeenipitoisuus (3-kareeni ja a-pineeni). Yleisesti ottaen esimerkiksi a-pineenin pitoisuudet ovat korkeampia asuinrakennuksissa verrattuna julkisiin tiloihin (kerroin 2,8) ja sisätiloissa verrattuna ulkoilmaan (kerroin 14) (de Blas ym. 2012). Terpeenien pääasiallisena lähteenä ovat puutuotteet. Ranskassa puurunkoisten matalaenergiatalojen (6 kpl) sisäilman pitoisuudet a-pineenin ($10\text{--}295 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 3-kareenin (maksimi $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja heksanaalin ($70\text{--}856 \mu\text{g}/\text{m}^3$) osalta olivat suurempia tämän työn tuloksiin verrattuna. On kuitenkin huomioitava, että osa Derbezin ym. (2013) tutkimuksen mittauksista tapahtui vain muutama viikko pintamateriaalien asennuksen jälkeen.

Etikkahappopitoisuutta voidaan pitää normaalina pidettävän pitoisuuden ylärajoilla, mikäli pitoisuuksia verrataan VTT:n tekemään uusiin asuntoihin keskittyvään tutkimukseen. Tutkimuksen mukaan sisäilmassa olevien happojen kokonaispitoisuus $\geq 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on epänormaali vuoden ikäisissä asunnoissa (Järnström 2007, 50). Useita satoja mittauksia käsittävässä suomalaisessa tutkimuksessa asuntojen etikkahappopitoisuuden mediaani oli ainoastaan $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Wennström 2013, 19). Etikkahapon pitoisuuksien on havaittu olevan suurempia asuinhuoneistoissa julkisiin tiloihin verrattuna (kerroin 3,7) (de Blas ym. 2012).

Etikkahapon lähteitä ovat etenkin lämpökäsitellyt puupohjaiset tuotteet ja liima-aineet. Etikkahappoa syntyy mm. hemiselluloosan lämpöhajoamisen seurauksena siinä olevien asetyyliryhmien hajoamistuotteena. Sisäilman etikkahappopitoisuus voi jopa kohota rakennuksen ensimmäisen käyttövuoden aikana (Derbez ym. 2014; Järnström 2007). Derbez ym. (2014) tutkimuksessa kolmen (n=6) puurunkoisen talon sisäilmassa havaittiin etikkahappoa (3,2–15,4 ug/m³) erityisesti talvikauden mittauksissa. Havainnot tehtiin kuitenkin vasta kohteiden normaalin käytön aikana. Talvikauden pitoisuuksiin voi vaikuttaa vähäisempi luonnollinen ilmanvaihtuvuus.

Pienet eroavaisuudet kohteiden tuloksissa voivat johtua mm. sisälämpötilaeroista, sillä mittausjakson aikana kohteen 2 sisälämpötila (17 °C) oli huomattavasti alhaisempi kuin kohteen 1 (22 °C). Korkeammissa lämpötiloissa materiaaleista haihtuvien yhdisteiden pitoisuudet voivat olla suurempia. Terpeenien pitoisuuksiin voivat vaikuttaa mahdolliset sisäilmassa tapahtuvat reaktiot. Otsoni ja typpidioksidi voivat käynnistää sisäilmassa reaktioita kyllästymättömien orgaanisten yhdisteiden, kuten terpeenien kanssa. Reaktiot vaikuttavat alentavasti sisäilman otsoni-, typpidioksidi ja terpeenipitoisuuksiin, mutta kohottavasti VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuuksiin. Kyseisten reaktioiden vaikutusta tämän työn tuloksiin on kuitenkin mahdotonta arvioida.

Mikrobimääritysten yhteydessä havaittujen mikrobilajien (*Penicillium*, *Aspergillus* ja *Paecilomyces variotii*) yleisimpiä laboratorio-olosuhteissa tuottamia mVOC-yhdisteitä ovat 2-metyyli-1-propanoli, 2-metyyli-1-butanoli, 3-metyyli-1-butanoli, 3-metyylifuraani ja seskviterpeenit. Tämän työn kohteissa ei havaittu lainkaan alkoholeja, joten mikrobien aineenvaihduntatuotteiden vaikutus sisäilmaan on tulosten perusteella vähäinen. Eri lajien tuottama yhdisteskaala eroaa kuitenkin merkittävästi toisistaan ja rakennuksen yksilöllisissä sekä vaihtuvissa olosuhteissa mikrobien metaboliatuotteet voivat erota toisistaan (Sunesson ym. 1995). On myös huomattava, että mVOC-yhdisteiden esiintyvyyttä tai pitoisuuksia ei yleensä kyetä yhdistämään luotettavasti kosteus- tai homeongelmiin (Salonen ym. 2014, 67).

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden osalta suoritettiin kokonaispitoisuuden mitauksia myös suoraan osoittavalla PID-laitteella (ppbRAE PGM-7340). Mittalaite ei reagoanut rakennuksien sisäilmassa ja eri materiaalien läheisyydessä esiintyviin VOC-yhdisteisiin. PID-laitteen herkkyys eri yhdisteitä kohtaan vaihtelee runsaasti ja yhdistekohtainen korjauskerroin voi olla esimerkiksi välillä 0,5–20, joten laitteen näyttämä on hyvin suuntaa-antava. Työhön liittyvissä kohteissa ei näin ollen suositella ko. mittarin käyttöä sisäilman VOC-yhdisteiden mittaamiseen. Mittaria voidaan hyödyntää rakenteiden ja materiaalien tutkimisessa mahdollisissa erikoistapauksissa.

11.2 Tulosten yhteenveto ja johtopäätökset

Kahden samanlaisen runkorakenteen, materiaalien ja sijainnin omaavan pientalon sisäilman laadussa havaittiin eroavaisuuksia jo alkuvaiheessa rakennusten elinkaarta. Havainto on merkittävä, sillä on odotettavaa, että asukkaiden muuton ja vuosia kestävän normaalin käytön vaikutus pitoisuuseroihin tulee olemaan vieläkin suurempi. Tulokset antavat myös viitteitä, että sisäilmaongelmia voi esiintyä eri tekijöiden vaikutuksesta jo melko uusissa rakennuksissa. Tässä työssä saadut tulokset vaativat kuitenkin rinnalleen seurannan aikana kerättyä lisätietoa, jota varten on laadittu luvussa 12 esitetty toimintaohje.

VOC-pitoisuudet olivat kauttaaltaan hyvin pieniä, sillä rakennuksen sisäpinnat ovat olleet valmiita jo noin vuoden ajan. Ainoastaan kohteiden väliset erot terpeenipitoisuuksissa ja kummankin kohteen 2-metyylibutaani- sekä etikkahappopitoisuudet olivat tulosten tulkinnan kannalta merkillepantavia. Kyseisten yhdisteiden pitoisuudet eivät ylitä ohje- ja viitearvoja tai aiheuta terveyshaittaa, mutta edellyttävät tarkempaa huomiota tulevien seurantamittausten yhteydessä. Pitoisuudet 2-metyylibutaanin osalta voivat viitata mahdollisiin alapohjarakenteen epätiiviyskohtiin, joiden kautta sisätiloihin kulkeutuu päästöjä EPS-eristelevyistä.

Hiukkaspitoisuudet olivat normaalilla tasolla lukuun ottamatta illan ja alkuyön välistä aikajaksoa, jolloin pienimpien mitattujen hiukkasten (0,350–0,575 μm)

määrä kasvoi merkittävästi. Pitoisuudet olivat mainittuina ajanjaksoina suuria verrattuna normaalikäytössäkin oleviin asuntoihin. Talojen sijainti ei suoranaisesti selitä kyseistä ilmiötä, mutta asiaan voi vaikuttaa lähitaloissa tapahtunut puun pienpoltto esim. takoissa. Asialla voi olla terveydellistä merkitystä ottaen huomioon pienhiukkasten haitallisuus pitkällä aikavälillä. Lisäksi suurimmat pitoisuudet tulevat ajoittumaan vuorokauden aikaan, jolloin taloissa oleskellaan tai nukutaan.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen mukaan puun pienpoltto on lisääntynyt 2000-luvulla ja siitä muodostuu 40 % kaikista pienhiukkaspäästöistä (PM_{2,5}) hiukkasten kulkeutuessa sisätiloihin ilmanvaihdon sekä epätiiviyiskohtien kautta. Pientalojen puunpolton yhteydessä sisäilmaan kulkeutuu pienhiukkasten lisäksi muitakin merkittäviä epäpuhtauksia, kuten mustaa hiiltä (osuus kaikesta kuormituksesta 55 %), syöpävaarallisia PAH-yhdisteitä (>80 %), VOC-yhdisteitä (30 %) ja hiilimonoksidia (25 %). (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2016.)

Mittaushetkellä vallinneen kireän ja tuulettoman pakkasilman (-15 °C) vaikutuksesta savut jäävät leijumaan ympäröivälle asuinalueelle. Tässä työssä pienimpien tutkittavien hiukkasten massapitoisuudet (PM_{1,0} ja PM_{2,5}) olivat maksimissaan 8,7 ja 9,5 µg/m³, kun WHO:n (2014) ohjearvo PM_{2,5} hiukkasille on 10 µg/m³ (vuotuinen keskiarvo). Ilmansuodatuksen tehokkuus vaikuttaa sisäilman pienhiukkaspitoisuuksiin merkittävästi. Myös painesuhteilla, ilmanvaihtuvuudella ja rakenteiden tiivydellä voi olla vaikutusta sisään kerääntyvien hiukkasten määrään. Tulosten perusteella F7-luokan suodatus ei välttämättä ole riittävää kaikkein haastavimmissa tilanteissa, sillä esimerkiksi puunpolton yhteydessä syntyvistä hiukkasista noin puolet on pienempiä kuin 0,3 µm (Rau 1989). Tuloksista on myös havaittavissa, että kohteiden ilmanvaihtuvuus ei takaa runsaan hiukkaskuormituksen yhteydessä riittävän nopeaa elpymisaikaa; pienhiukkaspitoisuuden lasku normaalille tasolle kestää yli kuusi tuntia. Rakennusten raitisilmasuodattimet tarkistettiin ennen mittausten alkua ja ne havaittiin suhteellisen nokisiksi, joten suodattimien vaihtoväliä voi olla aiheellista tihentää.

Ilmiön syiden selvittämistä olisi helpottanut useamman vuorokauden kestävä hiukkaspitoisuuden seuranta. Puun pienpolton vaikutusta kohteiden vuotuisen

sisäilman laatuun on kuitenkin vaikea arvioida. Muuttuvia tekijöitä ovat ainakin lähialueen asukkaiden tottumukset puunpolton suhteen sekä sääolosuhteista etenkin talvilämpötilat ja ilmavirtaukset. Yksityiskohta tulee ottaa huomioon seuraavissa mittauksissa, joissa samankaltaisissa olosuhteissa voi olla aiheellista mitata pitoisuudet myös PAH- ja VOC-yhdisteiden sekä hiilimonoksidin osalta.

Mikrobipitoisuudet olivat suurempia ja lajisto hieman laajempaa kohteessa 2. Indikaattorimikrobien läsnäolo voi viitata rakenteissa piilevään kosteusongelmaan, mikäli homesieni-itiöiden pitoisuuksia verrataan toimistotiloista havaittuihin pitoisuuksiin.

Epäpuhtauslähteiden vähäisyydestä (kalustus ja asukkaat) huolimatta on pelkkien sisäilmamittausten perusteella vaikeaa päätellä rakenteiden todellista kosteusteknistä toimintaa. Indikaattorimikrobeita on todettu olevan vaihtelevina pitoisuuksina myös terveiksi luokiteltavissa tiloissa. Toisaalta pitoisuuksia voi pitää korkeina esimerkiksi rakentamisen yhteydessä kosteudelle altistunut, mutta jo kuivunut materiaali. Juuri kostunut materiaali voi päinvastoin olla puhdas, koska mikrobikasvustoa ei ole vielä ehtinyt muodostua. Tilanteen kokonaisvaltainen selvittäminen vaatii aina tarkempaa rakennusteknistä tarkastelua, kuten materiaalinäytteitä ja muita lisätestauksia. Mikrobimittauksia voidaan suorittaa tarvittaessa esimerkiksi normaalia suuremmassa alipaineessa, jolloin rakenteiden sisällä piilevien indikaattorimikrobien pitoisuutta ja lajistoa voidaan verrata normaaleissa painesuhteissa saatuihin tuloksiin.

Hyvin erityyppiset epäpuhtauslähteet voivat tuottaa sisäilmaan samoja yhdisteitä. Näin ollen ainoastaan hyvin epänormaaleissa pitoisuuksissa voidaan epäillä varsinaista sisäilmaongelmaa, mikäli analyysi perustuu pelkkään sisäilmamittauksista saatuun tietoon. Eri tutkimuksien tuloksia vertailtaessa on huomioitava näytteenottomenetelmien eroavaisuudet ja on mahdotonta tietää tarkkaan testausten aikaiset sisä- ja ulko-olosuhteet. Rakennukset eroavat aina jonkin verran käytöltään, materiaaleiltaan, rakenteiltaan, ilmanvaihtuvuudeltaan, ympäristöolosuhteiltaan ja rakentamisen aikaisilta käytännöiltään, joilla kaikilla on oma osuutensa sisäilman laadun muodostumiseen.

11.3 Fysikaaliset olosuhteet (monitorointijärjestelmä)

Monitorointijärjestelmä ei ollut sisäilmamittausten aikana vielä täysin toimintavalmiudessa, joten mittaustietojen vertailua ei kyetty suorittamaan suunnitellusti. Tämän työn puitteissa käytiin kuitenkin läpi monitoroinnin mittaustiedot aikaväliltä 19.3.–23.3.2016, minkä perusteella arvioitiin fysikaalisten olosuhteiden lähtötaso sisäilman laadun kannalta. Lukuarvot ovat seurantavälin keskimääräisiä arvoja.

Kohteiden fysikaalisissa olosuhteissa havaittiin eroavaisuuksia, joilla voi olla vaikutusta sisäilman sisältämiin epäpuhtauksiin ja niiden pitoisuuksiin. Kohde 1 oli hieman ylipaineinen (3,7 Pa) ulkoilmaan verrattuna, kun taas kohteessa 2 vallitsi suunnitteluratkaisun mukaisesti lievä alipaine (-10 Pa). Kohteessa 1 painesuhde mahdollistaa näin ollen epäpuhtauksien kulkeutumisen sisäilmasta rakenteisiin ja kohteessa 2 päinvastaisesti rakenteista sisäilmaan. Virtausten suuruuteen vaikuttaa painesuhteiden ohella rakenteiden tiiviys. Kohteessa 2 sisälämpötila oli seurantavälillä ainoastaan n. 12 °C, huomattavasti matalampi kuin kohteessa 1 (22 °C). Vastaavasti sisäilman suhteellinen kosteus oli korkeampi kohteessa 2 (27 %) kuin kohteessa 1 (17 %). Normaalin käytön yhteydessä lämpötilaerot tulevat luonnollisesti tasoittumaan. Sisäilman suhteellinen kosteus kohoaa rakennuksen normaalikäytössä vuodenajasta riippuen välille 30–60 %. Tiloihin syötettävä tuloilmamäärä oli kummassakin kohteessa suhteellisen pieni, keskimäärin hieman yli 10 l/s.

Seinä- ja yläpohjarakenteista saatujen mittaustietojen perusteella olosuhteet eivät ole erityisen suosivia homekasvustolle, sillä rakenteiden huokosilman suhteellinen kosteus ylittää ainoastaan hetkittäin mikrobikasvuun vaadittavan 80–85 %:n rajan. Alapohjarakenteessa pintavalun puolivälin kosteus (kohde 1: 61 %; kohde 2: 71 %) on melko alhainen, mistä voidaan päätellä, että alapohjarakenteet toimivat suhteellisen moitteettomasti. Sisäilman alhainen suhteellinen kosteus on mahdollistanut kostean pintavalun tehokkaan kuivumisen ylöspäin kuivempaan sisäilmaan. Kantavan pohjalaatan puolivälistä mitattava suhteellinen kosteus on sitä vastoin korkea etenkin kohteen 2 osalta (92 %). Pohjalaa-

tan runsas kosteus ja yli 15 °C:een lämpötila voivat kiihdyttää mikrobikasvua ja vaikuttaa laatan alapuolella olevasta EPS-eristelevystä (styroksi) peräisin olevan 2-metyyliibutaanin sisäilmapitoisuuteen. Kohteiden alapohjarakenteet eivät kuitenkaan saavuttaneet tarkastelujaksolla tiivistymiskosteutta RH 100 %.

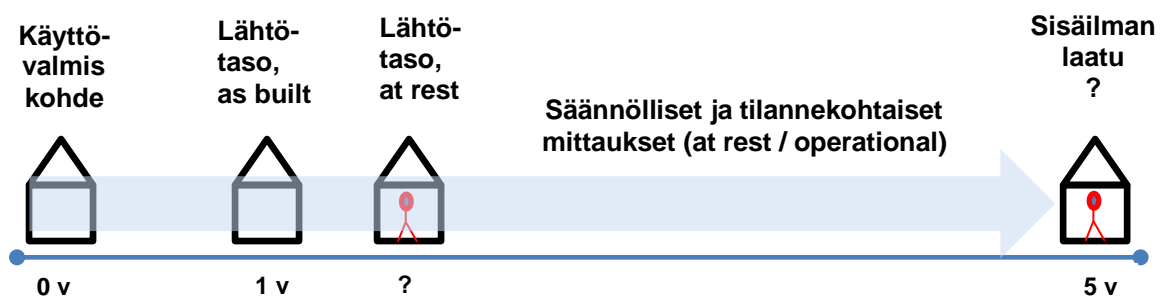
Kohteen 2 alapohjan lämpötilaprofiili voi aiheuttaa tällä hetkellä ylimääräistä kosteusrasitusta rakenteeseen, sillä alimpien kerrosten lämpötila on sisäilman lämpötilaa korkeampi (13 °C vr. 16 °C). Kosteusvaurioiden muodostumisen kannalta on merkittävää, johtuuko rakennekosteus vesihöyryn diffuusiosta vai huomattavasti haitallisemmasta veden kapillaarisesta noususta. Maaperässä olevan kosteuden kapillaariseen nousuun vaikuttavia tekijöitä ovat kapillaarikatkoeroksen ja EPS-eristekerroksen paksuus, salaojitus ja sääolosuhteet. Vesihöyryn diffuusio kosteasta ja lämmenteestä pohjamaasta on sen sijaan normaalia kaikissa rakennuksen vaiheissa, jolloin rakenteen toimintaan vaikuttaa ennen kaikkea lattiapinnoitteen vesihöyryn läpäisevyys. Koska maaperässä ja kapillaarikatkoissa esiintyy aina mikrobikasvua ja muita epäpuhtauksia, niiden pitoisuudet sisäilmassa riippuvat merkittävästi alapohjarakenteiden ilmatiiviydestä ja rakennuksen painesuhteista. (Leivo & Rantala 2006.)

Seinärakenteiden ja sokkeleiden mittaustulokset tukevat käsitystä, jonka mukaan pohjoispuolen rakenteet ovat ongelmallisimpia kosteusteknisen toimivuuden kannalta. Seinärakenteiden pohjoispuolen olosuhteissa havaittiin kuitenkin myös epämääräisiä ja laitehäiriöihin viittaavia mittauservoja. Ennen kyseisten mittauservojen tarkempaa tutkimista tulee varmistaa anturoinnin asianmukaisuus.

Rakenteiden toimintaa voidaan arvioida perusteellisemmin kohteiden normaalin käytön yhteydessä ja erilaisten sääolosuhteiden vallitessa. Normaalin käytön synnyttämän kosteuslisän puuttuessa ei kyetä todentamaan rakenteiden toimintaa ja esimerkiksi seinärakenteen höyrynsulun toimintavarmuutta sekä tehokkuutta. Alapohjan tasapainotilan saavuttaminen voi sitä vastoin kestää vuosia. Antureiden mittaustulosten tueksi voi olla aiheellista ottaa materiaalinäytteitä esim. tuulensuojalevyn tai eristekerrosten pinnoilta.

12 TOIMINTAOHJE SISÄILMAN LAADUN 5-VUOTISSEURANTAAN

Opinnäytetyön yksi tavoitteista oli laatia ohjeistus tutkimuskohteiden 5-vuotisseurantaan. Toimintaohjeessa on määritetty seurannan piiriin kuuluvat epäpuhtaudet ja fysikaaliset suureet sekä niihin liittyvät poikkeustilanteet. Kuvassa 18 on esitetty projektin sisäilmaseurannan eteneminen.



Kuva 18. Sisäilmaseuranta Turun ammattikorkeakoulun projektissa.

Sisäilmaan muodostuu eri lähteistä epäpuhtauksia, joiden pitoisuuksiin pyritään vaikuttamaan merkittävimmin ilmanvaihdolla, painesuhteilla, rakennetekniikalla ja epäpuhtauksien lähteitä kontrolloimalla. Näin ollen sisäilman seurannassa ja arvioimisessa tulee huomioida sisäilmamittausten lisäksi myös välillisesti ilman laatuun vaikuttavat fysikaaliset tekijät. Nykyaikaisissa tiiviissä ja kerroksellisissa rakenteissa korostuvat erityisesti oikeat painesuhteet ja rakenteiden tiiviys pitkällä aikavälillä. Seurauksena tiiviistä rakenteista voi aiheutua pitkäaikaisia tai hetkittäisiä painevaihteluita mm. ilmanvaihdon epätasapainoisuudesta, muuttuvista sääolosuhteista sekä liesituulettimen tai keskuspölyimurin käytöstä johtuen. Tällöin sisätilat voivat muuttua ajoittain ylipaineisiksi ulkoilmaan verrattuna.

Koska sisäilman laatuun vaikuttavissa tekijöissä tapahtuu jatkuvasti muutoksia, tulee olosuhteiden seurannan olla jatkuvaa tai vähintäänkin säännöllistä. Taulukoissa 13 ja 14 on listattu sisäilman laadun seurantaan kuuluvat välittömät ja välilliset indikaattorit.

Taulukko 13. Sisäilman laadun seurannan välittömät indikaattorit.

Indikaattori	Määrittäminen/mittaus	Seuranta-tiheys	Poikkeustilanteet ja -pitoisuudet
VOC	Aktiivinen näytteenotto Tenax TA -adsorbenttiin.	6 kk - 1 v (kesä /talvi)	200–300 µg/m ³ = keskimääräistä korkeampi ja mahdollisesti epäviihtyvyyttä aiheuttava pitoisuus. Pitoisuus >300 µg/m ³ = ongelman selvitys
Mikrobit	Aktiivinen 6-vaihe impaktorikeräys, 3 kasvatusalustaa Pintanäytteet tarvittaessa	1 krt./v. (talvi)	Poikkeaviin mikrobipitoisuuden tai -lajien havaintoihin on reagoitava. Yhteys mVOC-yhdisteisiin on huomioitava tulosten analysoinnissa.
Hiukkaset	Pitoisuudet (kpl/m ³) ja massapitoisuus (PM _{1,0} , PM _{2,5} ja PM ₁₀), kesto 3–7 vrk. Pölyn koostumus Tarvittaessa (kuidut)	6 kk (kesä/talvi)	Epänormaali I/O-suhde tai muutos aikaisempiin tuloksiin. Huomioitava puun pienpolton vaikutus mittauksiin (vuodenaika) 20 µg/m ³ (PM _{2,5}) ja 30 µg/m ³ (PM ₁₀) on osoitus merkittävistä sisä- tai ulkolähteestä = ongelman selvitys
CO₂	Makuuhuoneiden ja poistoilman anturit Tarvittaessa muista tiloista	Jatkuva	Mikäli pitoisuus ylittää toistuvasti arvon 1000 ppm, tulee suorittaa lisäselvitys etenkin iv-järjestelmän toiminnan osalta. Epänormaali pitoisuus tyhjässä asunnossa on huomioitava erikseen.
Otsoni ja typpidioksidi	Suoraan osoittava mittari tai tarkempi analyysi	Tarvittaessa	Tyypillinen pitoisuus on tavallisesti selvästi alle WHO:n ulkoilmalle asetaman raja-arvon. Yhteys TVOC- ja terpeenipitoisuuksiin huomioitava.
Ammoniakki	Laboratorioanalyysi	Tarvittaessa	Tavallista korkeampi pitoisuus >20 µg/m ³ = lisäselvitystarve
Formaldehydi	Laboratorioanalyysi	Tarvittaessa	Keskimääräistä korkeampi pitoisuus >20 µg/m ³ = lisäselvitystarve
Radon	STUK:n hyväksymä menetelmä	Tarvittaessa	Pitoisuuden ollessa >100 Bq/m ³ = lisäselvitystarve
Hiilimonoksidi ja PAH-yhdisteet	Suoraan osoittava mittari tai tarkempi analyysi	Tarvittaessa	Mitataan tutkittaessa puun pienpolton vaikutuksia sisäilman laatuun, etenkin pakkastalvina.

Taulukko 14. Sisäilman laadun seurannan välilliset indikaattorit.

Indikaattori	Määrittäminen/mittaus	Seuranta-tiheys	Poikkeustilanteet
Paine-ero (sisätilat vs. ulkoilma)		Jatkuva	Järjestelmälliset, normaalia suuremmat paine-vaihtelut tai pitkäaikainen sisäilman ylipaine tai huomattavan korkea alipaine (>30 Pa)
Ilmanvaihtojärjestelmä	Järjestelmissä ja rakenteissa olevat mittausanturit	Jatkuva	Riittämätön tuloilmamäärä asunnon käyttö huomioiden (vrt. CO ₂ -pitoisuus) ja ilman suodattimien epäkunto
Rakenteiden kosteus ja lämpötila		Jatkuva	Epänormaali kosteusrasitus (>70 RH) ja kosteuden tiivistyminen esim. eristekerroksen ulko-osissa
Sisäilman kosteus ja lämpötila		Jatkuva	Sisätilojen pitkäaikainen altistuminen korkealle ilmankosteudelle ja/tai lämpötilalle (>23 °C, >50 RH) sekä suuret lämpötilaerot
Rakenteiden ilmatiiviyys	Ilmavuotoluku, merkkiainetestaus tai lämpökuvitus	12–24 kk	Ilmatiiveyden heikkeneminen suunnitellusta tai uudesta rakennuksesta mitatusta arvosta tai poikkeavat havainnot muissa testeissä

Taulukoissa 13 ja 14 mainittujen poikkeustilanteiden viitearvojen valinnassa on huomioitu eri tahojen asettamat raja- ja ohjearvot sekä ongelmattomissa rakennuksissa tyypillisesti havaitut pitoisuudet. Tässä työssä suoritettujen mittausten tuloksia ei voida asettaa tavoitearvoiksi, mutta ko. pitoisuudet toimivat hyödyllisenä lähtötasona tutkimuksen jatkoon kannalta. Välillisten tekijöiden seuranta ja niissä tapahtuviin muutoksiin reagointia voidaan pitää sisäilman kannalta tärkeänä ongelmia ehkäisevänä toimenpiteenä, mikä vähentää myös sisäilmamittausten tarvetta. Varsinaiset sisäilmamittaukset muodostavat kuitenkin tärkeän roolin rakennuksen olosuhdeseurannassa, sillä ne kertovat enemmän hengittävän ilman laadusta kuin mitta-antureista saatu tieto.

Haasteen asuinrakennusten sisäilman pitkäaikaiseen seurantaan ja tulosten analysointiin luo olosuhteiden riippuvuus asukkaista ja heidän yksilöllisistä toiminnoistaan. Esimerkiksi sisäilman kaasumaiset yhdisteet ja mikrobipopulaatio ovat hyvin asukasriippuvaisia. Monitulkintaisuuden minimoimiseksi sisäilmamittaukset tulee suorittaa seurantajakson aikana pääsääntöisesti at rest -

käyttötilanteessa, jolloin voidaan keskittyä rakenteissa ja järjestelmissä tapahtuviin muutoksiin. Hiukkaspitoisuus tulee määrittää useamman vuorokauden kestävänä yhtäjaksoisena mittauksena, jolloin mittaukseen sisältyy käytännössä aina mittausjaksoja sekä at rest- että operational -tilanteissa.

Seurantamittaukset tulee suorittaa ajankohtana, joka minimoi poikkeustilanteiden kuten pintaremonttien tai epänormaalien toimintojen vaikutukset tuloksiin. Tarvittaessa suoritettavien testausten tarpeellisuuteen vaikuttavat jatkuvasti tai säännöllisesti kerättävät tutkimustulokset ja asukkaiden kokemukset sisäilman terveysvaikutuksista. Esimerkiksi ilmatiiveyden heikkeneminen, painesuhteiden vaihtelut tai rakenteiden epänormaali kosteus voivat aiheuttaa erilaisia riskejä sisäilman laadulle. Tällöin voi tulla aiheelliseksi määrittää sisäilman ammoniakki-, formaldehydi-, radon- tai mineraalikuitupitoisuus. Ongelmatapauksissa rutiinimittauksia voidaan täydentää huonetilojen vyöhykekohtaisilla hiilidioksidi-, mikrobi- ja VOC-määrityksillä. Kaikki poikkeukselliset seurantatulokset, niiden syyt ja mahdolliset pitkäaikaisvaikutukset sisäilman laatuun on arvioitava tilannekohtaisesti.

13 LOPUKSI

Kokonaisarviota sisäilman laadusta tai epäpuhtauksien pitoisuuksien kehittymisestä ei voida tehdä yksittäisen epäpuhtauden tai edes epäpuhtausryhmän perusteella. Ilmassa olevan eri epäpuhtauksista koostuvan seoksen yhteisvaikutusta voi olla hankala ennustaa ja ihmisten yksilölliset kokemukset ilman laadusta monimutkaistavat asiaa entisestään. Sisäilmaa tulee tarkastella kokonaisuutena, jossa yksittäisten epäpuhtauksien pitoisuudet vaihtelevat rakennuksen yleisen toimivuuden ja epäpuhtauslähteiden mukaan. Muuttuvien tekijöiden ja lukuisten eri epäpuhtauksien vuoksi sisäilman tutkimisen onkin sanottu olevan eräänlaista salapoliisityötä, jossa puhtaan tiedon, päättelykyvyn ja kokemuksen lisäksi voidaan tarvita myös ripaus onnea.

Opinnäytetyön tekeminen opetti ennen kaikkea riskien tunnistamisen tärkeyttä sisäilman laatua ja siihen vaikuttavia tekijöitä tutkittaessa. Riskikartoitus auttaa olennaisimpiin asioihin keskittymisessä. Ensimmäiset mittaukset voivat, kuten työssä havaittiin, tuottaa kaikesta huolimatta yllätyksiä. Tärkeintä onkin ottaa opiksi yllätyksistä ja virheratkaisuista. Tässä työssä em. seikat pyrittiin huomiomaan mahdollisimman hyvin tulevan viisivuotisseurannan toimintaohjeen laatimisessa.

Lopuksi haluan esittää lämpimän kiitoksen työtäni edesauttaneille tahoille ja henkilöille. Turun ammattikorkeakoululle sekä Juha Leimulle ja Erkki Tuomaa-lalle kiitokset työn ohjauksesta ja mahdollisuudesta osallistua tähän tärkeään tutkimushankkeeseen. Yhteistyöstä haluan kiittää erityisesti Turun yliopiston Aerobiologian yksikköä ja Anna-Mari Pessiä, sekä Työterveyslaitoksen Turun toimipisteen Hannu Koskelaa ja Mika Korvaa. Suurimmat kiitokset kuuluvat vaimolleni, joka olemassaolollaan tuo rakkautta ja viihtyisyyttä omaan sisäilmas-tooni.

LÄHTEET

Aalto-yliopisto. 2013. Yliopistot yhdessä homeongelman kimppuun. Viitattu 2.1.2016. http://eng.aalto.fi/fi/current/current_archive/news/2013-06-12-003/

Asumisterveysasetus. 2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyys vaatimuksista. Viitattu 10.7.2015. <http://stm.fi/documents/1271139/1408010/Asumisterveysasetus/>

Asumisterveysohje. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1, Sosiaali- ja terveysministeriö. Helsinki: Oy Edita Ab.

Asumisterveysopas. 1997. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen soveltamisopas. Ympäristö- ja Terveys –lehti. Pori: Ympäristö- ja Terveys-lehti.

Asumisterveysopas. 2009. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen soveltamisopas (STM:n oppaita 2003:1). 3.korjattu painos. Pori: Ympäristö- ja Terveys-lehti.

Barro, R.; Regueiro, J.; Llombartb, M. & Garcia-Jares, C. 2009. Analysis of industrial contaminants in indoor air: Part 1. Volatile organic compounds, carbonyl compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls. *Journal of Chromatography* 1216 (2009), 540–566.

Bernstein, JA.; Alexis, N.; Bacchus, H.; Bernstein, IL.; Fritz, P.; Horner, E.; Li, N.; Mason, S.; Nel, A.; Oullette, J.; Reijula, K.; Reponen, T.; Seltzer, J.; Smith, A. & Tarlo, SM. 2008. The health effects of non-industrial indoor air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 121 (2008), 585 - 591.

Cometto-Muñiz, E. & Abraham, MH. 2015. Compilation and analysis of types and concentrations of airborne chemicals measured in various indoor and outdoor human environments. *Chemosphere* 127 (2015), 70 - 86.

de Blas, M.; Navazo, M.; Alonso, L.; Durana, N.; Gomez, MC. & Iza, J. 2012. Simultaneous indoor and outdoor on-line hourly monitoring of atmospheric volatile organic compounds in an urban building: The role of inside and outside sources. *Science of the Total Environment* 426 (2012), 327 - 335.

Derbez, M.; Berthineau, B.; Cochet, V.; Lethrosne, M.; Pignon, C.; Riberon, J. & Kirchner, S. 2013. Indoor air quality and comfort in seven newly built, energy-efficient houses in France. *Building and Environment* 72 (2014), 173 - 87.

Derbez, M.; Berthineau, B.; Cochet, V.; Pignon, C.; Ribéron, J.; Wyart, G.; Mandin, C. & Kirchner S. 2014. 3-year follow-up of indoor air quality and comfort in two energy-efficient houses. *Building and Environment* 82 (2014), 288 - 299.

EN 15251:2007. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Comité Européen de Normalisation (CEN).

Euroopan unioni. Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council of 19 May on the energy performance of buildings. Viitattu 16.11.2015. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF>

European Collaborative Action (ECA). 1997. Indoor air quality & its impact on man. Total volatile organic compounds (TVOC) in indoor air quality investigations. Report No 19. Viitattu 12.1.2016. <http://www.fhi.no/dav/fb9b469003.pdf>

Forslund, G. & Forslund, J. 2012. Bästa inneklimat till lägsta energikostnad. Stockholm: Svensk byggtjänst.

Guerra-Santina, O. & Tweed, C. 2015. In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods. *Energy and Buildings* 93 (2015), 189 - 207.

Happo, M.; Markkanen, A.; Markkanen, P.; Jalava, P.; Kuuspallo, K.; Leskinen, A.; Sippula, O.; Lehtinen, K.; Jokiniemi, J. & Hirvonen, M-R. 2013. Seasonal variation in the toxicological properties of size-segregated indoor and outdoor air particulate matter. *Toxicology in Vitro* 27 (2013), 1550 - 1561.

Hurme, H. 2010. Sisäilman laadun vertailu painovoimaisen ja koneellisen ilmanvaihdon kohteissa. Itä-Suomen yliopisto, Kuopio. Aducate Reports and Books 8/2010. Kuopio: Kopijyvä Oy.

Hänninen, O. & Asikainen, A. 2013. Efficient reduction of indoor exposures. Health benefits from optimizing ventilation, filtration and indoor source controls. THL - Report 2/2013. Helsinki.

Ilmatieteenlaitos laitos. 2010. Turun seudun päästöjen leviämismalliselvitys - Energiantuotannon, teollisuuden, laivaliikenteen ja autoliikenteen typenoksidi-, rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöjen leviämislaskelmat. Ilmanlaadun asiantuntijapalvelut 2010. Viitattu 10.9.2015. http://www.turkuenergia.fi/files/1414/1448/6597/Esite_Turun_leviamismallilaskelmat.pdf

ISO 16000-5:2007. Indoor Air - Part 5: Sampling strategy for volatile organic compounds (VOCs).

Jia, C.; Batterman, S. & Relyea, G. 2012. Variability of indoor and outdoor VOC measurements: An analysis using variance components. *Environmental Pollution* 169 (2012), 152 - 159.

Järnström, H. 2007. Reference values for building material emissions and indoor air quality in residential buildings. VTT:n julkaisuja 672. Viitattu 11.7.2015. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2007/P672.pdf>

Järnström, H. 2005. Muovimattopinnoitteen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa. VTT:n julkaisuja 571. Viitattu 11.7.2015. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2005/P571.pdf>

Kastelli. 2015. Saumattomat ja energiatiiivit rakenteet. Viitattu 14.12.2015. <http://www.kastelli.fi/Rakentamisesta/Miksi-valita-Kastelli/Saumaton-energiatiivis/>

Langer, S.; Bekö, G.; Bloom, E.; Widheden, A. & Ekberg L. 2015. Indoor air quality in passive and conventional new houses in Sweden. *Building and Environment* 93 (2015), 92 - 100.

Lappalainen, S.; Salonen, H.; Lindroos, O.; Harju, R. & Reijula, K. 2008. Fungal species in mold-damaged and nondamaged office buildings in southern Finland. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health Supplements* 4 (2008), 18 - 20.

Lappalainen, M. 2010. Energia- ja ekologiakäsikirja. Suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Rakennustieto.

Leppäranta, V. 2015. Living lab - Huistuppulat. Tiedonkeruujärjestelmän määrittäminen. Turun ammattikorkeakoulun opinnäytetyö. Ympäristötekniikan koulutusohjelma.

Leivo, V. & Rantala, J. 2006. Maanvastaisten alapohjarakenteiden lämpö ja kosteus. Helsinki: Rakennusteollisuus RT ry.

Pientaloteollisuus PTT ry. 2013. Omakotitaloaloitukset Suomessa 2000 - 2013. Viitattu 17.7.2015. http://www.pientaloteollisuus.fi/fin/tietoa_pientaloista/?print=1

Puhakka, E. & Kärkkäinen, J. 1994. Rakentamisen tavoitteena puhdas sisäilmasto. Helsinki: Suomen sisäilmaston mittauspalvelu Oy.

Päkkilä, T. 2012. Mikrobin kulkeutuminen sisäilmaan paine-eron vaikutuksesta. Aalto-yliopiston diplomityö. Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 3.2.2016. <http://www.hometalkoot.fi/file/15826.pdf>

Rakennustietosäätiö RTS. 2015. Vähäpäästöisistä materiaaleista. Viitattu 10.8.2015. <http://m1.rts.fi/m1-vaatimukset-ja-luokiteltujen-tuotteiden-kaytto>

Rakennustietosäätiö RTS. 2016. Luettelo vähäpäästöisistä (M1) pintamateriaaleista. Viitattu 20.1.2016. <http://www.rtuotetieto.fi/rakennustuotteet/pintatuotteet>

RakMK D2. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2. Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Määräykset ja ohjeet 2012. Viitattu 10.8.2015. http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf

Rantamäki, J.; Kääriäinen, H.; Tulla, K.; Viitanen, H.; Kalliokoski, P.; Keskikuru, T.; Kokotti, H. & Pasanen, A-L. 2000. Rakennusten ja rakennusmateriaalien homeet. VTT tiedotteita 2030.

Rau, J. 1989. Composition and Size Distribution of Residential Wood Smoke Particles. *Aerosol Science and Technology* 10:1, 181-192.

Rudel, R. & Perovich, L. 2009. Endocrine disrupting chemicals in indoor and outdoor air. *Atmospheric Environment* 43 (2009), 170 - 181.

Salonen, H.; Lahtinen, M.; Lappalainen, S.; Holopainen, R.; Pietarinen, V-M.; Palomäki, E.; Karvala, K.; Tuomi, T. & Reijula, K. 2014. Kosteus- ja homevauriot - Ratkaisuja työpaikoille. Helsinki: Lönnberg Print & Promo.

Salonen, H.; Lappalainen, S.; Lahtinen, M.; Holopainen, R.; Palomäki, E.; Koskela, H.; Backlund, P.; Niemelä, R.; Pasanen, A-L. & Reijula, K. 2011. Toimiston sisäilmaston tutkiminen. Työterveyslaitoksen oppaita 2011. ISBN 978-952-261-048-5.

Schlink, U.; Rehwagen, M.; Damm, M.; Richter, M. & Borte, M. 2004. Seasonal cycle of indoor-VOCs: comparison of apartments and cities. *Atmospheric Environment* 38, 1181 - 1190.

Seppänen, O. 2007. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. 4. Painos. Suomen LVI-liitto Ry.

SFS-EN 779. 2012. Particulate air filters for general ventilation. Determination of the filtration performance.

Sisäilmastoluokitus 2008. Rakennustietosäätiö RTS. Rauma: Sisäilmayhdistys RY.

Sunesson, A-L.; Vaes, W.; Nilsson, C-A.; Blomquist, G.; Andersson, B. & Carlson, R. 1995. Identification of Volatile Metabolites from Five Fungal Species Cultivated on Two Media. *Applied Environmental Microbiology* 61 (1995), 2911 - 2918.

Säteilyturvakeskus. 2013. Radon Suomessa kunnittain. Viitattu 20.2.2016. http://eng.aalto.fi/fi/current/current_archive/news/2013-06-12-003/

Säteilyturvakeskus. 2015. Radon Suomessa. Viitattu 4.7.2015. <http://www.stuk.fi/aiheet/radon/radon-suomessa>

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2016. Puunpoltto. Viitattu 26.2.2016. <https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/ilmansaasteet/puunpoltto>

Terveydensuojelulaki. 19.8.1994/763.

Tiede-lehti. 2003. Hometalossa riehuvat mikrobijengit. Viitattu 16.10.2015. http://www.tiede.fi/artikkeli/jutut/artikkelit/hometalossa_riehuvat_mikrobijengit

Turun seudun ilmansuojelun yhteistyöryhmä. 2014. Turun kaupunkiseudun ilmanlaatu vuonna 2014. Viitattu 10.9.2015. http://www.turkuenergia.fi/files/7314/4774/5903/Ilmanlaatu_2014.pdf

Työterveyslaitos. 2010. VOC-yhdisteiden mittaus. Viitattu 12.1.2016. http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ ja_sisaymparisto/sisaymparistotekijat/sisailman_epapuh_taudet/voc/vocmittaus/sivut/default.aspx

Uhde, E. & Salthammer, T. 2007. Impact of reaction products from building materials and furnishings on indoor air quality - A review of recent advances in indoor chemistry. Atmospheric Environment 41 (2007), 3111 - 3128.

Vinha, J. & Käkälä, P. 2001. Vesihöyryn siirtyminen seinärakenteissa diffuusio ja konvektion vaikutuksesta. Tampereen teknillinen korkeakoulu, talonrakennustekniikka. Julkaisu 96.

Vinha, J.; Laukkarinen, A.; Mäkitalo, M.; Nurmi, S.; Huttunen, P.; Pakkanen, T.; Kero, P.; Maneilius, E.; Lahdensivu, J.; Köliö, A.; Lähdesmäki, K.; Piironen, J.; Kuhno, V.; Pirinen, M.; Aaltonen, A.; Suonketo, J.; Jokisalo, J.; Teriö, O. & Koskenvesa, A. 2012. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Tutkimusraportti 159.

Volatile News. 2015. Pentane and Isopentane. Viitattu 20.2.2016. <http://www.pati-air.com/news/volatile-news-pentane-and-isopentane>

Wennström, H. 2013. PID-laitteen sovellusmahdollisuudet rakennusten kunto- ja sisäilmatutkimuksessa. Vaasan Ammattikorkeakoulun insinööriyö. Tekniikan ja liikenteen koulutusohjelma.

Weschler, CJ & Schields, HC. 1997. Potential reactions among indoor air pollutants. Atmospheric Environment 31 (1997), 3487 - 3495.

WHO. 2005. Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. Viitattu 13.10.2015. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1

WHO. 2009. Guidelines for indoor air quality: dampness and mould. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. Viitattu 13.10.2015. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf

WHO. 2010. Guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. Viitattu 13.10.2015. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf

WHO. 2011. Environmental burden of disease associated with inadequate housing, Methods for quantifying health impacts of selected housing risks in the WHO European Region. Edited by Braubach, M.; Jacobs, D.E. & Ormandy D. Viitattu 13.10.2015. http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0003/142077/e95004.pdf

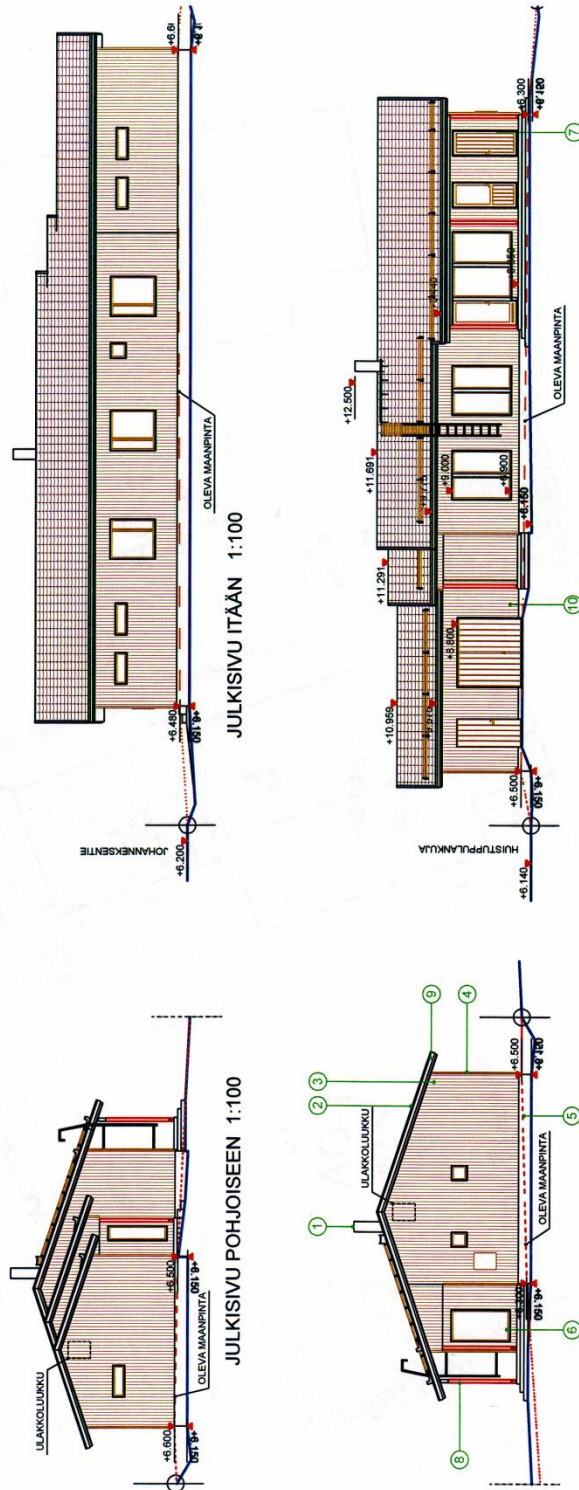
WHO. 2014. Ambient (outdoor) air quality and health. Viitattu 4.10.2015. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>

Wolkoff P. 1998. Impact of air velocity, temperature, humidity and air on long-term VOC emissions from building products. Atmospheric Environment 32 (1998), 2659 - 2668.

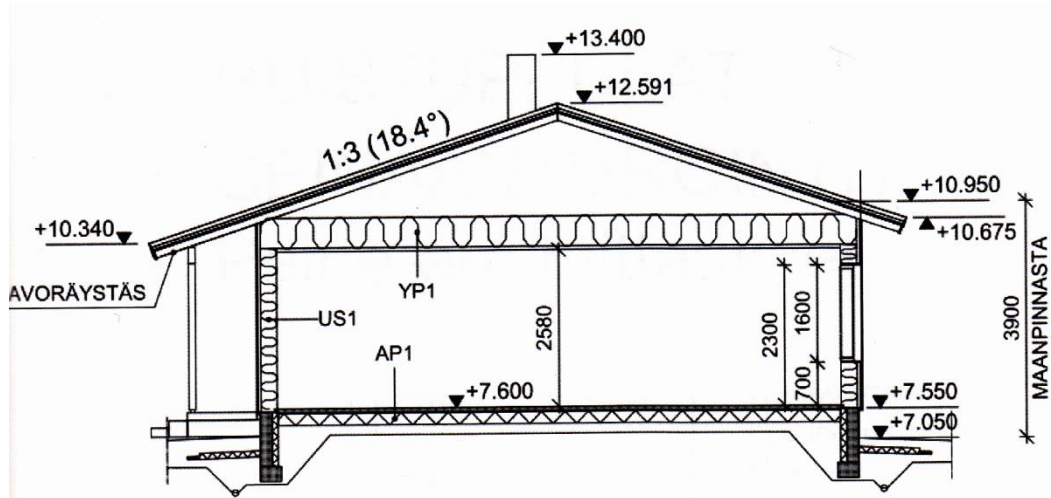
Wolkoff, P. & Nielsen, G. 2001. Organic compounds in indoor air - their relevance for perceived indoor air quality? Atmospheric Environment 35 (2001), 4407 - 4417.

Tutkimuskohteiden perustietoja

Julkisivupiirustus



Rakennetyyppien määrittely



RAKENNETYYPIT:

US 1 U-ARVO-VAATIMUS: 0,17W/m²K -
SUUNNITTELURATKAISU 0,16 W/m²K
KOKONAISPAKSUUS 338mm

- ULKOVERHOUSLAUTA
- TUULETUSRAKO/KYLMÄ ULLAKKOTILA
- TUULENSUOJALEVY GYPROC 9 mm
- RUNKO 48x197 k600
- MINERAALIVILLA 200 mm
- HÖYRYNSULKU
- VAAKAKOOLAUS 47x47 k600
- MINERAALIVILLA 45 mm
- SISÄVERHOUSKIPSILEVY

YP 1 U-ARVO-VAATIMUS: 0,09W/m²K -
SUUNNITTELURATKAISU 0,07 W/m²K
KOKONAISPAKSUUS 560mm + vesikatto

- VESIKATE
- RUOTEET
- TUULETUSRIMA/ALUSKATE
- RISTIKKO / YLÄPOHJAPALKIT
- LÄMMÖNERISTE MINERAALIVILLA 100mm +
- PUHALLUSVILLA 400mm
- HÖYRYNSULKU
- VAAKAKOOLAUS 47x47 k600
- SISÄVERHOUSKIPSILEVY

AP 1 U-ARVO-VAATIMUS: 0,16W/m²K -
SUUNNITTELURATKAISU 0,12 W/m²K
KOKONAISPAKSUUS n. 300mm + maarakenteet

- LATTIAPINNOITE
- TERÄSBETONILAATTA 60...100 mm
- LÄMMÖNERISTE 4x50 mm
- SORA MIN. 200 mm

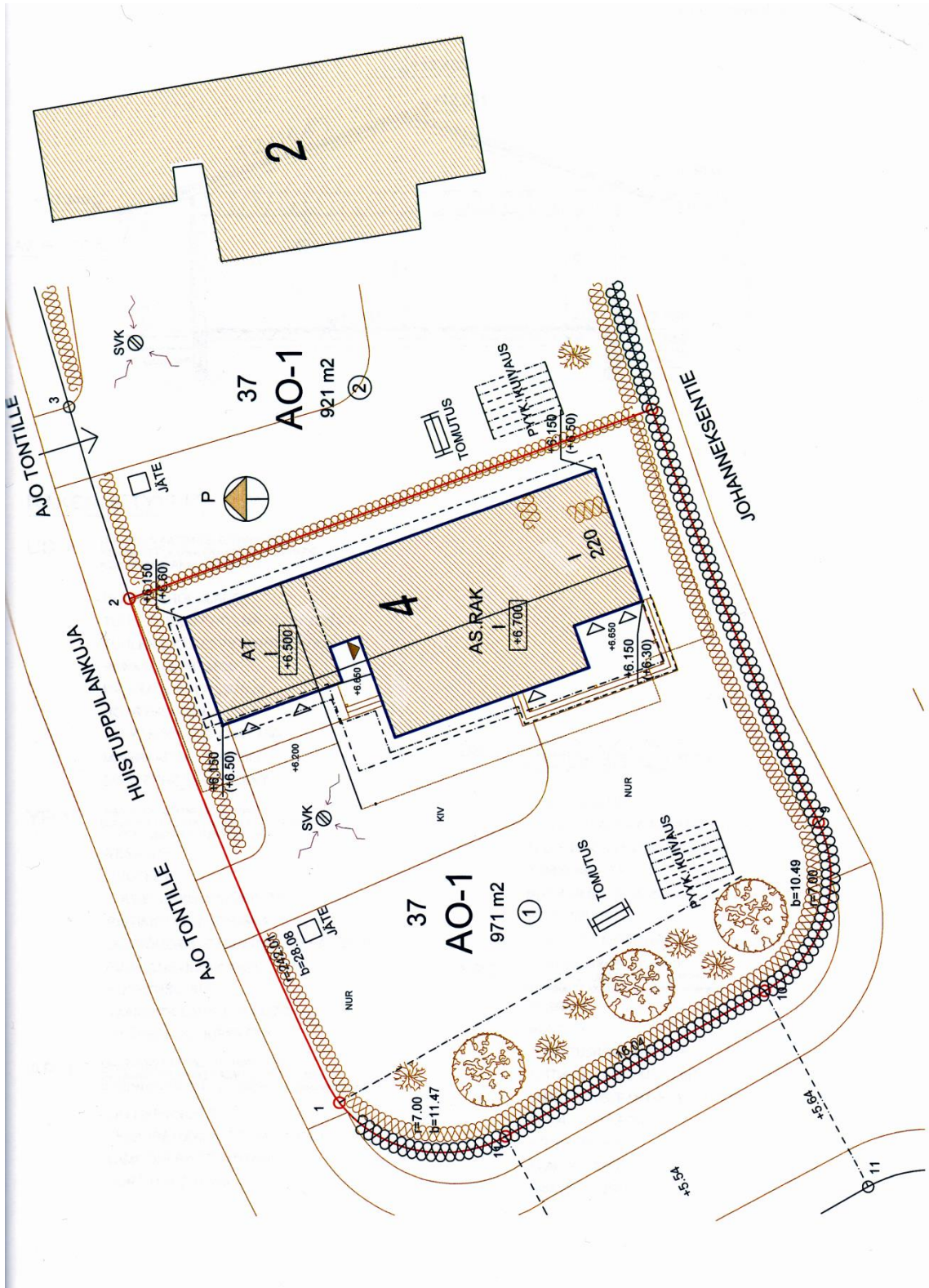
US 2 U-ARVO-VAATIMUS: 0,26W/m²K -
SUUNNITTELURATKAISU 0,20 W/m²K
KOKONAISPAKSUUS 293mm

- ULKOVERHOUSLAUTA
- TUULETUSRAKO/KYLMÄ ULLAKKOTILA
- TUULENSUOJALEVY GYPROC 9 mm
- RUNKO 48x197 k600
- MINERAALIVILLA 200 mm
- HÖYRYNSULKU
- SISÄVERHOUSKIPSILEVY

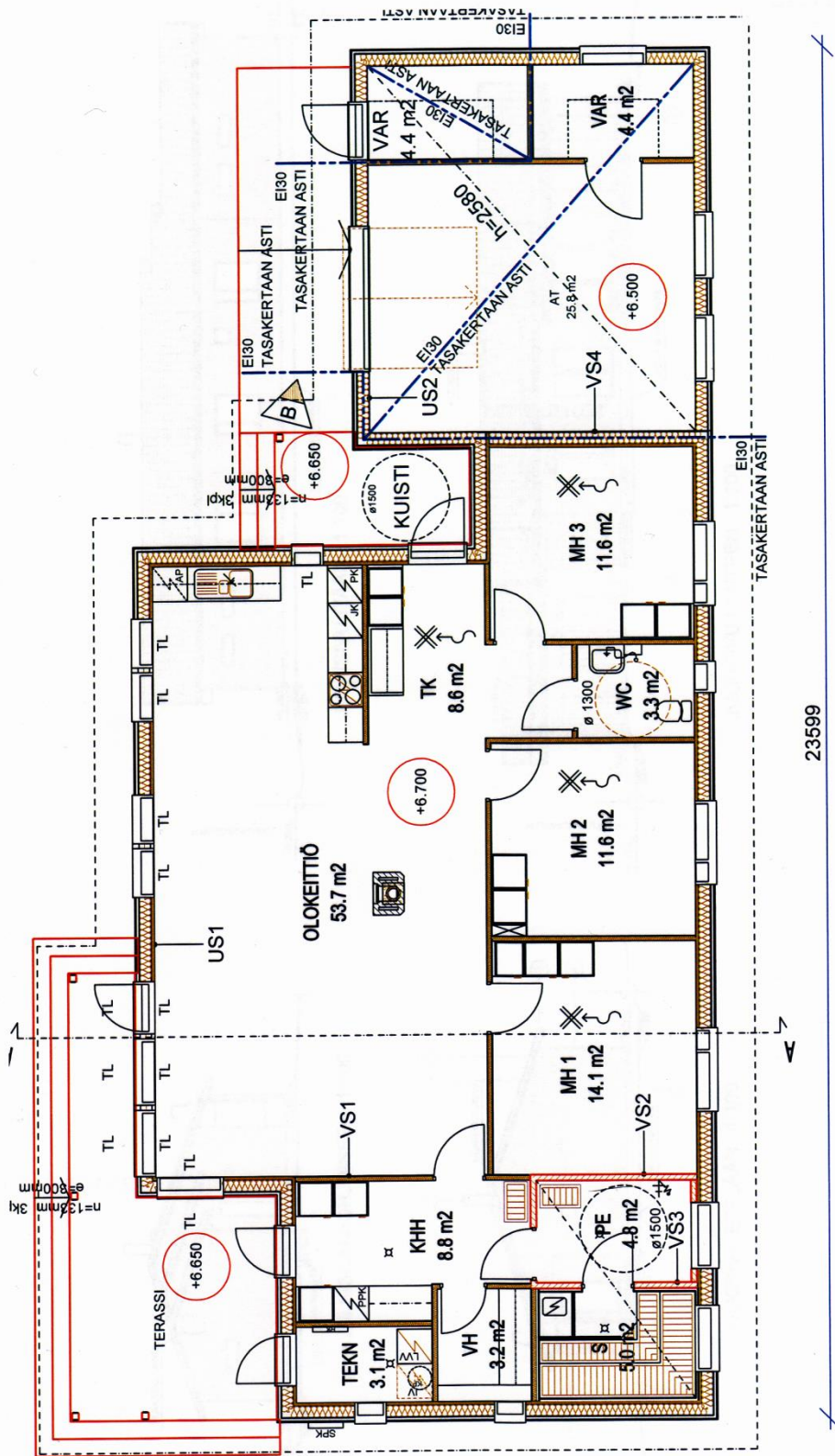
YP 2 U-ARVO-VAATIMUS: 0,14W/m²K -
SUUNNITTELURATKAISU 0,12 W/m²K
KOKONAISPAKSUUS 360mm + vesikatto

- VESIKATE
- RUOTEET
- TUULETUSRIMA/ALUSKATE
- RISTIKKO / YLÄPOHJAPALKIT
- LÄMMÖNERISTE MINERAALIVILLA 100mm +
- PUHALLUSVILLA 200mm
- HÖYRYNSULKU
- VAAKAKOOLAUS 47x47 k600
- SISÄVERHOUSKIPSILEVY

Asemapiirustus (2=Kohde 1; 4=Kohde 2)



Pohjapiirustus



VOC-yhdisteiden viitearvoja ja lähteitä

Yleisimpiä sisäilmassa tavattavia VOC-yhdisteitä tai -yhdisteryhmiä, niiden tyyppillisimpiä lähteitä ja ohjearvoja (Järnström 2007; Wolkoff 2001; De Blas ym. 2012; Cometto-Muniz & Abraham 2015; Asumisterveysasetus 2015; Salonen ym. 2011). Referenssipitoisuudet (Järnström 2007) on mitattu 12 kuukauden ikäisistä normaalissa käytössä olleista asunnoista. Asunnoissa on sovellettu Sisäilmastoluokituksen 2001 mukaisia rakentamiskäytäntöjä ja -materiaaleja (M1) sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisia vähimmäisilmavirtauksia.

Yhdisteryhmä	Normaali, 12 kk ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Epänormaali, 12 kk ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tyyppillisiä yhdisteitä asuinhuoneistoissa ja sisäilmassa (A/J- ja I/O-suhde)	Yleisiä lähteitä
Aromaattiset hiilivedyt	30 (Toimistot, kohonnut pitoisuus, TTL: >5)	40	Tolueeni (I/O=2,6) Styreeni ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ = Asumisterveysasetuksen 2015 toimenpideraja) Ksyleenit (A/J=2,8) Naftaleeni ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ = Asumisterveysasetuksen toimenpideraja) (K/J=2,3, I/O=15) 1,4-Diklooribentseeni (A/J=2,4, I/O=29) 1,2,4-Trimetyylibentseeni (TMB) (I/O=13)	PVC (esim. muovimatto), liimat, maalit, lakat, kumimatto, pinnoitteet, päällysteet, mikrobit, hyönteiskarkotteet, kipsilevy
Alifaattiset hiilivedyt (alkaanit)	25 (>5)	35	n-Nonaani (I/O=8,1) Trikloroeteeni (TCE) (A/J=12) Dodekaani (I/O=24) n-Dekaani n-Heptaani (I/O=3,4) Tri-dekaani (I/O=18) Dikloorimetaani 1-Penteeni (I/O>5) 2-Metyylipentaani (I/O>5)	Palamisreaktioiden tuotteet, bensiinihöyryt, liuottimet, lattia / seinäpinnoitteet, liimat, rakennusmateriaalit, pestisidit
Sykloalkaanit	10	15	Sykloheksaani Metyylisyklopentaani (I/O>5)	PVC, liimat, lakat, maalit, lastulevy
Alkoholit	35 (>5)	50	2-Etyyliheksanoli eli 2-EH ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ = Asumisterveysasetuksen toimenpideraja) 1-Butanoli (A/J=25, I/O=19) Fenoli 2-Propanoli (I/O=91) Etanoli (I/O=45)	Kosteusrasitus, mikrobit, liuottimena lakoissa, liimoissa jne., kiillotus-, puhdistus ja desinfiointiaineet, PVC-lattiarakenne (2-EH)
Aldehydit	35 >15 Formaldehydi (25)	50 30 Formaldehydi	Formaldehydi (A/J=3,6) Asetaldehydi Bentsaldehydi (I/O=3,1) Nonanaali (A/J=6, I/O=2,6) Heksanaali	Puutuotteet (esim. parketti), rakennuslevyt, kalusteet, pinnoitteet, ekolakat, mikrobit, hapetumisreaktiotuote →linoleum + öljyhappo, it-sesiliävät tekstiilit

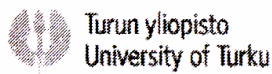
Yhdisteryhmä	Normaali, 12 kk ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Epä- normaali, 12 kk ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tyypillisiä yhdisteitä asuinhuo- neistoissa ja sisäilmassa (A/J- ja I/O-suhde)	Yleisiä lähteitä
Ketonit	10 (>5)	15	Asetoni (I/O=5,8) Asetofenoni Metyyli-isobutyliketoni (MIBK) (A/J=4,6, I/O=152)	Maalit, liimat, kulutustuot- teet, saumausaineet, kumimatto, lastulevy
Esterit	15 (>5)	20	Etyyliasetaatit (I/O=5,3) Butyyliasetaatit (A/J=2,2)	PVC, saumausaineet, maalit, mikrobit, raken- nusmateriaalit
Glykolit /Glykolieetterit	25 (>10)	35	TXIB ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ = Asumisterveys- asetuksen toimenpideraja) Metyyli tert butyyli eetteri MTBE (A/J=3,9)	PVC, maalit, saumausai- neet, vinyylituotteet (TXIB)
Terpeenit	70 (>5)	110	Limoneeni (A/J=2,7, I/O=25) a-Pineeni (A/J=2,8, I/O=14) b-Pineeni (I/O=21) Kareeni Campheeni	Puu ja puutuotteet (esim. parketti ja mäntylauta), huonekalut, kuiva- pesukemikaalit (myös PERC), kulutustuotteet, mikrobit
Hapot	10 (>10)	20	Etikkahappo (A/J=3,7) Karboksylihapot Rasvahapot	Lämpökäsitellyt puupoh- jaiset tuotteet, linoleum, PVC, Kosteusrasitus
TVOC	270 (>250)	400 (myös Asumister- veysase- tus)		
Ammoniakki*	45 (>25)	60	A/J = 2,0	Kosteusrasitus, maalit, lakat, puhdistus- ja pesu- aineet, ihmiset

A/J = asuinrakennuksissa ja julkisissa tiloissa havaittujen pitoisuuksien suhde.

I/O = sisä- ja ulkoilmassa havaittujen pitoisuuksien suhde.

*Ei kuulu VOC-yhdisteisiin, mutta kuului referenssipitoisuuksien tutkimukseen (Järnström 2007).

Mikrobinäytteiden testausseoste



TESTAUSSELOSTE

(1 / 7; liiteosa 2 ss.)

ilmanäyte 6-vaiheimpaktiokerääjällä

TYYK, Aerobiologian yksikkö

tunniste: Huistuppula_ILMA_Hakala_220116

Tilaja: Petri Hakala
Kannuskatu 12 F 75, 20880 Turku

Laskutus: sama

Raportin toim.os.: petri.hakala@suomi24.fi

Menetelmä: **Ilmanäyte 6-vaiheimpaktiokerääjällä.** Standardi: STM:n Asumisterveysohje 2003:1
Näytteen analysoinnissa ja tulosten tulkinnassa käytetään Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (2003) ja sitä soveltavan Asumisterveysoppaan (2009) menetelmäohjeita. Viljelyyn perustuva suku/lajitason tunnistus; viljelyyn perustuva menetelmä selvittää vain käytetyillä elatusalustoilla kasvavat elinkykyiset mikrobit.
Tulos ilmoitetaan cfu m⁻³ ilmaa (cfu = pmy, pesäkkeen muodostava yksikkö). Menetelmän tarkempi kuvaus on liitteessä.

Raportin sisältö: ilmanäytesarjoja 6 kpl

Tiedot näytteenotosta:

Impaktorityyppi: Andersen
Kohde: Huistuppula 2 ja 4
Näytteenottaja: Petri Hakala
Näytteenottopvm: 22.1.2016
Olosuhteet ulkona: Maanpinta jäässä, lumipeitteinen. Ulkolämpötila -15°C.
Saapumispvm: 22.1.2016

Keräyspaikat:

Sarjat 1.-3.	Hu2	<i>Lab. tunniste</i>
Sarjat 4.-6.	Hu4	<i>Ap495 - Ap497</i>
		<i>Ap498 - Ap500</i>

Analysoijat: Tuija Häkkinä, Raisa Ilmanen
/ Aerobiologian yksikkö, 20014 Turun yliopisto

Näytteenottoon liittyvät huomiot:

Laboratorioon toimitettu mittauspöytäkirja on talletettu laboratorion arkistoon.
Näytteenottokohde on pientalo taajamaympäristössä.

Laboratorion huomioita

Tämän testausseosteen näytteiden mittaustuloksia on verrattu Asumisterveysohjeen (2003) viitearvoihin. Mikäli kyseessä on muu kuin asuinrakennus/-huoneisto, ei näitä viitearvoja voi sellaisenaan soveltaa tuloksien tulkintaan kts. liite.

Testaus tulokset pätevät ainoastaan testatuille näytteille. Menetelmäbedot ja tulosten tulkintaperiaatteet ovat liitteessä.
Testausseosteen osittainen kopiointi tai kopiointi ilman siihen kuuluvaa liitettä on kielletty ilman laboratorion lupaa.

Postiosoite:
Aerobiologian yksikkö
Turun yliopisto

Puhelin:
(02) 333 6385

Sähköposti / Internet
aerobiologi@utu.fi
www.utu.fi/aerobiologi

Sarjat 1.-3. Hu2 (Ap495 - Ap497)

Näytteenotto:

THG: kerätty ilmamäärä 424,5 l, pienin havaittu pitoisuus 2 cfu/m³
 MA2: kerätty ilmamäärä 424,5 l, pienin havaittu pitoisuus 2 cfu m⁻³
 DG-18: kerätty ilmamäärä 424,5 l, pienin havaittu pitoisuus 2 cfu m⁻³
 Olosuhteet: lämpötila 19-20°C

Tulokset:

cfu m⁻³

Bakteerit (THG -elatusalusta)

Kokonaisbakteeripitoisuus (7 vrk):	5
Aktinomykeetti-itiöpitoisuus (14 vrk): * ^a	alle havaintorajan

Mesofiiliset sienet (MA2 -elatusalusta)

Sienilajisto

Homesienet:	<i>Penicillium</i>	7
	<i>Aspergillus versicolor</i> * ^a	2
	steriili rihma	2
Mesofiilisten sienien kokonaisitiöpitoisuus:		11

Kserofiiliset sienet (DG-18 -elatusalusta)

Sienilajisto

Homesienet:	<i>Aspergillus versicolor</i> * ^a	5
	<i>Penicillium</i>	2
Kserofiilisten sienien kokonaisitiöpitoisuus:		7

* Kosteusvaurioindikoiva ryhmä

* Toksinen mikrobiryhmä

Näytekohtainen tulkinta

Tutkitun tilan aktinomykeettipitoisuus alitti havaintorajan.

Tutkitun tilan mesofiilisten sienien kokonaisitiöpitoisuus oli matala eikä näytteessä tavattu merkittäviä määriä kosteusvaurioon viittaavaa lajistoa.

Tutkitun tilan kserofiilisten sienien kokonaisitiöpitoisuus oli matala eikä näytteessä tavattu merkittäviä määriä kosteusvaurioon viittaavaa lajistoa.

Tulkinnan perusteet, ks. liite.

Testausluokset pätevät ainoastaan testatuille näytteille. Menetelmätiedot ja tulosten tulkintaperiaatteet ovat liitteessä.
 Testausseosteen osittainen kopiointi tai kopiointi ilman siihen kuuluvaa liitettä on kielletty ilman laboratorion lupaa.

Sarjat 4.-6. Hu4 (Ap498 - Ap500)

Näytteenotto:

THG: kerätty ilmamäärä 424,5 l, pienin havaittu pitoisuus 2 cfu/m³
 MA2: kerätty ilmamäärä 424,5 l, pienin havaittu pitoisuus 2 cfu/m³
 DG-18: kerätty ilmamäärä 424,5 l, pienin havaittu pitoisuus 2 cfu/m³
 Olosuhteet: lämpötila 18°C

Tulokset:

cfu m⁻³

Bakteerit (THG-elatusalusta)

Kokonaisbakteeripitoisuus (7 vrk):	9
Aktinomykeetti-itiöpitoisuus (14 vrk): * ^a	alle havaintorajan

Mesofiilliset sienet (MA2-elatusalusta)

Sienilajisto		
Homesienet:	<i>Penicillium</i>	14
	<i>Cephalotrichum</i>	2
	<i>Arthrimum</i>	2
Hiivasienet:		2
Muut ryhmät:	steriili rihma	2
Mesofiillisten sienien kokonaisitiöpitoisuus:		22

Kserofiilliset sienet (DG-18-elatusalusta)

Sienilajisto		
Homesienet:	<i>Penicillium</i>	12
	<i>Aspergillus versicolor</i> * ^a	7
	<i>Paecilomyces variotii</i> * ^a	7
	<i>Aspergillus fumigatus</i> * ^a	2
	<i>Torulomyces</i>	2
Muut ryhmät:	steriili rihma	7
Kserofiillisten sienien kokonaisitiöpitoisuus:		37

* Kosteusvaurioindikoiva ryhmä

^a Toksinen mikrobiryhmä

Näytekohtainen tulkinta

Tutkitun tilan aktinomykeettipitoisuus alitti havaintorajan.

Tutkitun tilan mesofiillisten sienien kokonaisitiöpitoisuus oli matala eikä näytteessä tavattu selkeästi kosteusvaurioon viittaavaa lajistoa.

Tutkitun tilan kserofiillisten sienien kokonaisitiöpitoisuus oli matala. Näytteessä esiintyi pieniä määriä kosteusvaurioon viittaavaa lajistoa.

Tulkinnan perusteet, ks. liite.

Testausluokset pätevät ainoastaan testatuille näytteille. Menetelmätiedot ja tulosten tulkintaperusteet ovat liitteessä.
 Testauselosteen osittainen kopioiminen tai kopioiminen ilman siihen kuuluvaa liitettä on kielletty ilman laboratorion lupaa.

Lausunto näytekokonaisuudesta

Raporttiin sisältyvän näytteen tai näytteiden perusteella ei ole epäiltävissä, että näytekokonaisuuteen kuuluvassa rakennuksessa olisi mikrobikasvustoa. Tulkinta perustuu asuintiloista tai käytöltään ja rakennusteknisiltä ratkaisuiltaan asuintiloja vastaavista tiloista otettujen ilmanäytteiden tulkintaohjeisiin (Asumisterveysohje, 2003 ja Asumisterveysopas, 2009).

Muihin kuin asuintiloihin tai käytöltään ja rakennusteknisiltä ratkaisuiltaan asuintiloja vastaaviin tiloihin ei Asumisterveysohjeen (2003) ja Asumisterveysoppaan (2009) tulkintaohjeita voi käyttää suoraan (ks. Liite, 'Muut kuin asuintilat, s. 2).

Asuntojen sisäilman mikrobipitoisuuksien vaihtelu on yleensä voimakasta, mistä johtuen näytteitä tulisi ottaa useita (vähintään 2-3 näytettä). Matala mikrobipitoisuus ei sulje pois home- tai lahovauriota rakennuksessa. Muissa sisätiloissa kuin asunnoissa, esimerkiksi toimistoissa ja kouluissa, mikrobipitoisuudet ovat yleensä pienempiä kuin asunnoissa (Asumisterveysohje, 2003). Yksittäisessäkin näytteessä havaitun kohonneen pitoisuuden perusteella voidaan epäillä kosteusvauriota, jos muut ilmaan mikrobeja tuottavat virhelähteet voidaan sulkea pois (Asumisterveysopas, 2009).

Lopullinen analyysitulosten tulkinta, jossa on huomioitu siihen vaikuttavat tekijät (virhelähteet ja tilan erityispiirteet) sekä muuna ajankohtana tehdyt mittaukset ja muut tutkimukset, on näytteenottosuunnitelman tekijän, näytteenottajan tai tutkimuksen teettäjän vastuulla.

Turussa 9.2.2016

Sirkku Häkkinä
FM, rakennusterveysasiantuntija,
projektitutkija

Oskari Talvitie
laboratoriomestari

Testaus tulokset pätevät ainoastaan testatuille näytteille. Menetelmätiedot ja tulosten tulkintaperiaatteet ovat liitteessä.
Testausseosteen osittainen kopioiminen tai kopioiminen ilman siihen kuuluvaa liettä on kielletty ilman laboratorion lupaa.

ILMANÄYTTEIDEN ANALYYSISSÄ KÄYTETTY MENETELMÄ JA TULKINTAPERIAATTEET

Menetelmä

Käytetty menetelmä on ilmanäyte 6-vaiheimpaktiokerääjällä otettuna. Standardina on STM:n Asumisterveysohje 2003:1. Sisäilman mikrobimittauksilla selvitetään ovatko tutkitun tilan sisäilman mikrobipitoisuudet ja sienisuvusto tavanomaisia. Lisäksi sisäilman mikrobimittauksilla voidaan todeta, leviääkö muualla rakennuksessa, esimerkiksi porraskäytävässä tai kellaritulassa, esiintyvistä mikrobikasvustosta itiöitä tai mikrobisoluja rakennuksen muihin sisätiloihin.

Näytteenotto

Ilmanäytteen ottoon on käytetty 6-vaiheimpaktiokerääjää. Käytetyn keräimen yksityiskohtaisemmat tiedot ovat raportin sivulla 1.

Analysointi

Näytteen analysoinnissa ja tulosten tulkinnassa on käytetty Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeessa (2003) ja sen soveltamisoppaassa, Asumisterveysoppaassa (2009), esitettyjä ohjeita. Analyysimenetelmä on viljelyyn perustuva pitoisuuden määrittäminen, johon liittyy sienien osalta suku/lajitason tunnistus. Maljakohtaiset pesäkemäärät on korjattu käyttäen Somervillen ja Riversin (1994) menetelmää. Tulos ilmoitetaan cfu m⁻³ ilmaa (cfu = pesäkkeen muodostava yksikkö).

Käytetyt elatusalustat:

- tryptoni-hiivauute-glukoosiagar (THG); bakteerit, aktinomykeetit
- 2% mallasuuteagar (MA2); mesofiiliset hiiva- ja homesienet, basidiomykeetit
- dikloraani-18%-glyseroliagar (DG-18); kserofiiliset sienet. Kserofiiliset sienet kasvavat mesofiilisiä sieniä kuivemmissä olosuhteissa (materiaalin vesiaktiivisuusvaatimus on $a_w = 60-80$). Kserofiiliset sienet ovat tyypillisiä kosteusvaurion reuna-alueilla sekä kosteusvaurion alkuvaiheessa.

Kasvatusolosuhteet:

- inkubointilämpötila 25° C
- inkubointiaika 7 vrk (kokonaisbakteeri- ja sienikoloniamäärien laskenta), sienien määräitys 7-14 vrk, aktinomykeettien tyyppitys 10-14 vrk.

Tulokseen vaikuttavat tekijät

Ellei yksikön oma henkilökunta ole ottanut näytteitä, laboratorion lausunto koskee vain tutkittuja näytteitä ja lopullinen tulkinta, jossa on huomioitu tulokseen vaikuttavat tekijät on näytteenottajan vastuulla.

Tuloksen toistettavuus

Asuntojen sisäilman mikrobipitoisuuksien vaihtelu on yleensä voimakasta, mistä johtuen näytteitä tulisi ottaa useita (vähintään 2-3 näytettä). Mitattu matala mikrobipitoisuus ei sulje pois home- tai lahovaurion mahdollisuutta rakennuksessa. Muissa sisätiloissa kuin asunnoissa, esimerkiksi toimistoissa ja kouluissa, mikrobipitoisuudet ovat yleensä pienempiä kuin asunnoissa (Asumisterveysohje, 2003). Yksittäisessäkin näytteessä havaitun kohonneen pitoisuuden perusteella voidaan epäillä kosteusvauriota, jos muut ilmaan mikrobeja tuottavat virhelähteet voidaan sulkea pois (Asumisterveysopas, 2009).

Virhelähteet

Tulokseen mahdollisesti vaikuttavat tekijät tulisi huomioida virhelähteinä. Esimerkiksi jos asunnossa on runsaasti huonekasveja, lemmikkieläimiä, terraario, akvaario tai siellä varastoidaan polttopuita, ilmanäytteen tutkiminen ei todennäköisesti kuvaa luotettavalla tavalla rakennuksesta aiheutuvaa mikrobiologista tilaa. Maaseutuymäristössä on huomioitava maatalousrakennuksista peräisin oleva mikrobilajisto.

Ulkoilman vaikutus

Sulan maan aikaan analysoituja sisäilman mikrobipitoisuuksia tulisi verrata ulkoilmanäytteeseen, jolloin tulkinta perustuu ulkoilma- ja sisäilmanäytteiden mikrobisuvuston ja -määrän vertailuun.

Testausluokset pätevät ainoastaan testatulle näytteelle. Menetelmätiedot ja tulosten tulkintaperiaatteet ovat liitteessä. Testausselesteen osittainen kopioiminen tai kopioiminen ilman siihen kuuluvaa liitettä on kielletty ilman laboratorion lupaa.

Tulkinnan perusteet Sosiaali- ja terveysministeriön ohjeen mukaan

Pitoisuusalueet talviaikana (Asumisterveysohje, 2003)

- aktinomykeetti-itiöpitoisuus, yli 10 cfu m⁻³: kohonnut ja mikrobikasvustoon viittaava aktinomykeetti-itiöpitoisuus asunnon sisäilmassa, taajama-alueella sijaitseville rakennuksille.
- muiden bakteerien kuin aktinomykeettien kohonnut kokonaispitoisuus (> 4500 cfu m⁻³): asuntojen sisäilmassa ei viittaa sinällään kosteusvaurioon vaan se on osoitus puutteellisesta ilmanvaihdosta.
- sieni-itiöpitoisuus, yli 500 cfu m⁻³: kohonnut ja mikrobikasvustoon viittaava sieni-itiöpitoisuus taajama-alueella sijaitsevilla asunnoissa.
- sieni-itiöpitoisuus, 100 – 500 cfu m⁻³: kohonnut sieni-itiöpitoisuus taajama-alueella sijaitsevilla asunnoissa; jos lajistossa esiintyy samanaikaisesti poikkeavaa sienilajistoa, on mikrobikasvuston esiintyminen todennäköistä.

Muut kuin talviaikaan otetut näytteet (Asumisterveysohje, 2003)

Sulan maan aikaan analysoituja sisäilman mikrobipitoisuuksia tulisi verrata ulkoilmanäytteeseen, jolloin tulkinta perustuu ulkoilma- ja sisäilmanäytteiden mikrobisuvuston ja -määrien vertailuun.

Kosteusvauriota indikoiva lajisto (Asumisterveysopas, 2009)

Kosteusvaurioon viittaavina on tässä raportissa esitetty mikrobiryhmät, jotka Asumisterveysoppaan mukaisesti ovat tyypillisiä kosteusvauriolle. Kosteusvaurioon viittaava lajisto on yksilöity ryhmän, suvun tai lajin nimen perässä merkillä *. Näytekohtaisessa raportoinnissa on voitu lisäksi mainita mahdollinen muu poikkeava lajisto.

Yksittäisen kosteusvaurioon viittaavan mikrobin esiintyminen useassa asunnon eri tilassa otetussa näytteessä tai useiden eri indikaattorimikrobien esiintyminen samassa näytteessä on tavanomaisesta poikkeavaa. Tiettyjen kosteusvauriota indikoivien sienisukujen (esim. *Stachybotrys*, *Fusarium*, *Chaetomium*) itiöiden yksittäisiäkin pesäkehavaintoja ilmanäytteessä voidaan pitää poikkeavana johtuen niiden kasvu- tai irtoamistavasta.

Toksiset mikrobiryhmät (Asumisterveysopas, 2009)

Toksisina ryhminä on raportoitu mikrobiryhmät, jotka Asumisterveysoppaassa on lueteltu mahdollisesti toksisina eli myrkyjä tuottavina. Tämä merkitsee sitä, että mainitun mikrobiryhmän (esim. aktinomykeetit) tiedetään olevan toksinen tai sienisuvun joidenkin lajien tiedetään tuottavan mykotoksiineja rakennusmateriaaleilla. Toksinen lajisto on yksilöity ryhmän, suvun tai lajin nimen perässä merkillä #.

Muut tilat kuin asuintilat

Tuotannolliset tilat

Tuotannollisissa tiloissa on mahdollista, että tiloissa tehtävät toiminnot tuovat ilmaan poikkeavaa mikrobilajistoa ja nostavat sisäilman mikrobipitoisuuksia, ilman että ne johtuvat rakennuksen mikrobivauriosta. Kohonneiden pitoisuuksien ja poikkeavan lajiston merkitys on pohdittava tilannekohtaisesti.

Koulurakennukset

Selvitettäessä koulurakennusten kosteusvaurioita mikrobiologisin ilmanäytein voidaan tulosten tulkinnassa käyttää tukena KTL:n suositusta 'Koulurakennusten kosteus- ja homevauriot, opas ongelmien selvittämiseen' (Meklin ja muut, 2007). Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (2003) ja sitä täydentävän Asumisterveysoppaan (2009) mikrobiologiaan liittyvää ohjeistusta ei sellaisenaan voi soveltaa koulurakennuksille johtuen asuin- ja koulurakennusten erilaisesta koosta, käytöstä sekä rakennus- ja taloteknisistä ratkaisuista. Koska koulujen sisäilman sieni-itiöpitoisuudet ovat yleensä pienempiä kuin asunnoista otettujen näytteiden pitoisuudet, suositetaan KTL:n ohjeessa yksittäisten näytteiden sijaan näytekokonaisuuksien tulkintaa ja koko koulu-rakennuksen sisäilmatutkimukseen vähintään 10 – 12 rakennuksen eri tiloista otettua näytettä (Meklin ja muut, 2007). Koska nyt raportoitavissa tuloksissa ei tällaista näytekokonaisuutta ole, yksittäisten tilojen kohdalla tulkinta perustuu Asumisterveysohjeessa (2003) esitettyihin kriteereihin.

Testaus tulokset pätevät ainoastaan testatuille näytteille. Menetelmätiedot ja tulosten tulkintaperiaatteet ovat liitteessä. Testausseosteeseen osittainen kopiointi tai kopioinnin ilman siihen kuuluvaa lalettä on kielletty ilman laboratorion lupaa.

Toimistotilat

Toimistotiloissa mikrobipitoisuudet ovat yleensä pienempiä kuin asunnoissa (Asumisterveysopas, 2009). Työterveyslaitoksen tutkimustulosten perusteella yli 50 cfu m⁻³ sieni-itiöpitoisuus toimistoilmassa viittaa selvästi sisäilman epätavanomaiseen mikrobilähteeseen ja korkein normaaliksi katsottava taso toimistoilman bakteeripitoisuudelle on 600 cfu m⁻³ (*Kosteusvaurioityöryhmän muistio: Kosteusvauriot työpaikoilla*, 2009).

Sairaalat, puhdistilat ja muut poikkeavan korkean hygieniatason tilat

Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (2003) ja sitä täydentävän Asumisterveysoppaan (2009) mikrobiologiaan liittyvää ohjeistusta ei sellaisenaan voi soveltaa sairaalarakennuksiin, puhdistiloihin yms. rakennusten erilaisesta koosta, käytöstä sekä rakennusteknisistä ratkaisuista johtuen. Käytettäessä aerobiologisia ilmanäytteitä kontrolloimaan puhdistilojen mahdollisia kontaminaatioita verrataan tuloksia asumis-terveysohjeiden raja-arvojen sijasta nollatulokseen (steriiliin tilaan).

Rakennuksessa esiintyvän mikrobikasvun merkitys (Asumisterveysohje, 2003)

Rakennuksessa esiintyvistä mikrobikasvustosta voi kulkeutua sisäilmaan ilmapvirtausten ja ilmanvaihdon mukana mikrobeja (esimerkiksi itiöitä ja niiden osasia) sekä niiden hajoamis- ja aineenvaihduntatuotteita, joille sisätiloissa oleskelevat altistuvat. Ellei mikrobikasvustoa ole poistettu, se voi olla terveydelle haitallista vielä senkin jälkeen, kun rakennusmateriaali on kuivunut tai kuivatettu. Kosteusvaurio on välittömästi korjattava ja vaurioon johtaneet syyt poistettava.

Altistumisesta saattaa aiheutua silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytysoireita, yöskää tai erilaisia yleisoireita, esimerkiksi lämpöilyä. Oireet yleensä lievenevät tai katoavat, kun altistus keskeytyy tai lakkaa. Altistuksen seurauksena voi esiintyä myös toistuvia hengitystieinfektioita tai kehittyä pitkäaikaisraus, esimerkiksi astma. Altistuksen on havaittu lisäävän poskiontelo- ja keuhkoputkentulehduksen riskiä.

Lisätietoa

Asumisterveysoppaassa (2009) on lisätietoa kosteusvauriokuntoarviosta ja siihen liittyvistä mittauksista sekä korjausten yleisperiaatteista. Kosteusvaurioituneita rakenteita purettaessa vapautuu ympäristöön runsaasti mikrobeja, jotka voivat levitä muihin tiloihin ja aiheuttaa haittaa purkutyötä tekevien työntekijöiden terveydelle. Kosteusvauriorakenteiden korjauksesta ja purkutyöstä ja sen aikaisesta suojauksesta on ohjeita mm. RT-kortissa 80-10712 "*Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot, korjausrakentaminen*" ja Ratu-työmenetelmäkortissa 82-0239 "*Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku. Menetelmät.*"

Viitteet

- Asumisterveysohje. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaaita 2003:1. 93 ss.
 Asumisterveysopas. 3. korj. painos. Sosiaali- ja terveysministeriö (julk.). Ympäristö ja Terveys -lehti, Pori. 2009. 200 ss.
 Kosteusvaurioityöryhmän muistio: Kosteusvauriot työpaikoilla. Helsinki 2009. 82 s. Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 2009:18. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-00-2812-1>
 Meklin T, Putus T, Hyvärinen A, Haverinen-Shaughnessy U, Lignell U, Nevalainen A. 2007. Koulu- rakennusten kosteus- ja homevauriot. Opas ongelmien selvittämiseen. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja C 9/2007. 38 ss.
 Ratu 82-0239 -kortti: Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku. Menetelmät. Rakennustieto Oy. Helsinki. 2000.
 RT 80-10712 -kortti: Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot, korjausrakentaminen. Rakennustieto Oy. Helsinki. 1999.
 Somerville MC, Rivers JC. 1994. An alternative approach for the correction of bioaerosol data collected with multiple jet impactors. Am Ind Hyg Assoc J 55: 127-131

Testausulokset pätevät ainoastaan testatulle näytteelle. Menetelmätiedot ja tulosten tulkintaperiaatteet ovat liitteessä.
 Testausseosteen osittainen kopioiminen tai kopioiminen ilman siihen kuluuvaa liitettä on kielletty ilman laboratorion lupaa.

VOC-näytteiden analyysivastaus



ANALYYSIVASTAUS

Tilaus: 326645

22.02.2016

1 (4)

Turun ammattikorkeakoulu
Petri Hakala
Kannuskatu 12 F 75
20880 TURKU



VOC-analyysi ilmanäytteestä

Asiakasviite: HU2/4
Näytteen kerääjät: Petri Hakala
Analyysin kuvaus: Haihtuvat orgaaniset yhdisteet; ATD-GC-MS,
Tulopvm.: 17.02.2016
Käsittelijä(t): Kim Kuusisto, Jenni Sund

Analysointimenetelmä

Näytteet on kerätty Tenax TA- tai Tenax TA-Carbograph 5TD-adsorptioputkeen ja analysoitu kaasukromatografisesti käyttäen termodesorptiota ja massaselektiivistä ilmaisinta (TD-GC-MS). Yhdisteet on tunnistettu puhtaiden vertailuaineiden ja/tai Wiley- tai NIST-massaspektrietokannan avulla.

Näytteistä on määritetty haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) tolueeniekvivalenttina. TVOC on määritetty kromatogrammista n-heksaanin ja n-heksadekaanin väliseltä alueelta kyseiset aineet mukaan lukien. Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet on määritetty joko puhtaiden vertailuaineiden avulla tai tolueeniekvivalenttina.

Yksittäisiä yhdisteitä on kvantitoitu 1-40 kpl tai niin monta, että vähintään 2/3 TVOC-alueen piikkien yhteispinta-alasta on selvitetty.

Näytteistä on määritetty myös TVOC-alueen ulkopuolisten yhdisteiden kokonaispitoisuus tolueeniekvivalenttina ja TVOC-alueen ulkopuolisten yhdisteiden yksittäisiä pitoisuuksia, mikäli pitoisuudet ovat tulosten tulkinnan kannalta merkittäviä.

Tulokset ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) perustuvat laboratoriolle ilmoitettuun ilmamäärään/keräysaikaan. Analyysimenetelmän mittausepävarmuus ilman näytteenottoa (luottamusväli 95 %) on aktiivinäytteille 9-59 % yhdisteestä riippuen, keskimäärin 19 %. Passiivinäytteille mittausepävarmuus on vastaavasti 13-68 % yhdisteestä riippuen, keskimäärin 24 %. Tolueeniekvivalenttina määritettyjen yksittäisten yhdisteiden, samoin usein myös TVOC-alueen ulkopuolisten yhdisteiden mittausepävarmuudet ovat edellä mainittuja suurempia, ja niiden pitoisuusmääritys on semikvantitatiivinen. Menetelmän määrittäjä on yhdistekohtainen, ollen keskimäärin 4 ng/näyte eli $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 10 dm^3 :n aktiiviselle tai 15 vrk:n passiiviselle näytteelle.

Työterveyslaitos

PL 40, 00251 Helsinki, puh. 030 4741, Y-tunnus 0220266-9, www.ttl.fi, etunimi.sukunimi@ttl.fi

TYÖTERVEYSLAITOS

ANALYYSIVASTAUS

Tilaus: 326645

22.02.2016

CK16-00730-1 Näyte/keräin: 253551
 Mittauspaikka: Huistuppulankuja 2 & 4, 20900 Turku
 Mittauskohde: HU2
 Analysointipvm.: 190216/KKU
 Näytteenottoaika: 16.02.2016 10:53 - 16.02.2016 12:23
 Ilmamäärä: 9,37 dm³

Yhdiste	Tulos	Yksikkö
ALIFAATTISET HIILIVEDYT		
Heksaani	0,5	µg/m ³
2-Metyylibutaani** 1)	21	µg/m ³
Pentadekaani	0,6	µg/m ³
AROMAATTISET HIILIVEDYT		
Bentseeni	0,8	µg/m ³
1-Metyyli-4-isopropenylibentseeni**	1	µg/m ³
Ksyleenit (p,m)	0,8	µg/m ³
1-Metyyli-2-isopropylibentseeni**	3	µg/m ³
Tolueni	1	µg/m ³
TERPEENIT JA NIIDEN JOHDANNAISET		
3-Kareeni	12	µg/m ³
Limoneeni	2	µg/m ³
a-Pineeni	29	µg/m ³
b-Pineeni	1	µg/m ³
ALDEHYDIT		
Bentsaldehydi	0,6	µg/m ³
Heksanaali	4	µg/m ³
Heptanaali	1	µg/m ³
Nonanaali	7	µg/m ³
Oktanaali	1	µg/m ³
Pentanaali	1	µg/m ³
KETONIT		
Asetoni 2)	4	µg/m ³
HAPOT		
Etikkahappo 3)	10	µg/m ³
Heksaanihappo, kapronihappo	2	µg/m ³
HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET (TVOC)	80	µg/m ³

- 1) TVOC-alueen ulkopuolella.
Pitoisuus suuntaa-antava, yhdiste läpäisee keräimen helposti
- 2) TVOC-alueen ulkopuolella.
Pitoisuus suuntaa-antava, yhdiste läpäisee keräimen helposti
- 3) TVOC-alueen ulkopuolella.
Pitoisuus suuntaa-antava, yhdiste läpäisee keräimen helposti

Työterveyslaitos

PL 40, 00251 Helsinki, puh. 030 4741, Y-tunnus 0220266-9, www.ttl.fi, etunimi.sukunimi@ttl.fi

TYÖTERVEYSLAITOS**ANALYYSIVASTAUS**

Tilaus: 326645

22.02.2016

CK16-00730-2 Näyte/keräin: 253177
 Mittauspaikka: Huistuppulankuja 2 & 4, 20900 Turku
 Mittauskohde: HU4
 Analysointipvm.: 190216/KKU
 Näytteenottoaika: 16.02.2016 12:32 - 16.02.2016 14:02
 Ilmamäärä: 9,37 dm³

Yhdiste	Tulos	Yksikkö
ALIFAATTISET HIILIVEDYT		
2-Metyylibutaani** 1)	17	µg/m ³
AROMAATTISET HIILIVEDYT		
Bentseeni	0,5	µg/m ³
Tolueni	0,6	µg/m ³
TERPEENIT JA NIIDEN JOHDANNAISET		
3-Kareeni	5	µg/m ³
Limoneeni	0,5	µg/m ³
a-Pineeni	8	µg/m ³
b-Pineeni	0,6	µg/m ³
ALDEHYDIT		
Bentsaldehydi	0,8	µg/m ³
Heksanaali	3	µg/m ³
Heptanaali	0,8	µg/m ³
Nonanaali	5	µg/m ³
Oktanaali	0,9	µg/m ³
Pentanaali	1	µg/m ³
KETONIT		
Asetoni 2)	3	µg/m ³
HAPOT		
Etikkahappo 3)	10	µg/m ³
HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET (TVOC)	30	µg/m ³

- 1) TVOC-alueen ulkopuolella.
Pitoisuus suuntaa-antava, yhdiste läpäisee keräimen helposti
- 2) TVOC-alueen ulkopuolella.
Pitoisuus suuntaa-antava, yhdiste läpäisee keräimen helposti
- 3) TVOC-alueen ulkopuolella.
Pitoisuus suuntaa-antava, yhdiste läpäisee keräimen helposti

Työterveyslaitos

PL 40, 00251 Helsinki, puh. 030 4741, Y-tunnus 0220266-9, www.ttl.fi, etunimi.sukunimi@ttl.fi

TYÖTERVEYSLAITOS**ANALYYSIVASTAUS**

Tilaus: 326645

22.02.2016

Tulosten tarkastelu

Näytteet on kerätty Tenax TA-Carbograph STD -adsorptioputkiin.

Kahdella tähdellä (**) merkityt aineet on määritetty tolueeniekvivalenttina ja tunnistettu käyttäen Wileyn tai NISTin massaspektritietokantaa. Näiden aineiden pitoisuudet ovat semikvantitatiivisia.

ISO 16000-6 -standardin mukaan TVOC-pitoisuus määritetään tolueeniekvivalentteina (tolueenivasteina). Osa yksittäisistä yhdisteistä määritetään niiden omilla vasteilla, jotka voivat poiketa huomattavastikin tolueenin vasteesta. Tästä johtuen yksittäisten yhdisteiden summa saattaa olla suurempi kuin TVOC.

Näytteestä ilmoitetaan yhdisteen omalla vasteella lasketun pitoisuuden lisäksi pitoisuus tolueeniekvivalenttina niille yhdisteille, joiden pitoisuus tolueeniekvivalenttina määritettynä on lähellä tai ylittää ns. asumisterveysasetuksen [1] toimenpiderajan.

[1] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista.

Työterveyslaitos Asiakasratkaisut on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T013 , SFS-EN ISO/IEC 17025.

Näytteenottoa ei ole akkreditoitu.

Työympäristön kehittämisspalvelut

Hanna Hovi
asiantuntija
Helsinki

Kim Kuusisto
laboratorioanalyttikko
Helsinki

Tämän lausunnon osittainen julkaiseminen on sallittu vain Työterveyslaitoksen antaman kirjallisen luvan perusteella.

Työterveyslaitos

PL 40, 00251 Helsinki, puh. 030 4741, Y-tunnus 0220266-9, www.ttl.fi, etunimi.sukunimi@ttl.fi