

Anne Bergman

ILMALÄMPÖPUMPPUJEN HYGIENIATUTKIMUS

Opinnäytetyö
Ympäristöteknologia

Toukokuu 2012



MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

ALKUSANAT


Opinnäytetyöni toimeksiantaja oli Mikkelin Seudun Ympäristöpalvelut, jonka puolesta työtä ohjasivat terveystarkastaja Hannu Hulkkonen, sekä terveystarkastuksen johtaja Arja Holopainen. Mikkelin ammattikorkeakoulusta ohjaavana opettajana toimi lehtori Martti Pouri. Tahdon kiittää edellä mainittuja henkilöitä, sekä Mikkelin ammattikorkeakoulun Ympäristölaboratorion henkilökuntaa, saamistani neuvoista ja ohjauksesta.

Tahdon osoittaa lämpimät kiitokseni myös aviomiehelleni Tommille, sekä lapsillemme Petterille ja Konstalle. Olette jaksaneet suhtautua opiskeluuni kannustavasti hektisen arjen keskellä. Erityiskiitos kuuluu myös äidilleni monipuolisesta tuesta, jota perheemme on häneltä saanut koko opintojeni ajan.


Mikkelissä 20.4.2012

Anne Bergman

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences	Opinnäytetyön päivämäärä 3.5.2012	
Tekijä Anne Bergman	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Ympäristötekniologia	
Nimeke Ilmalämpöpumppujen hygieniatutkimus		
Tiivistelmä <p>Ilmalämpöpumppu on rakennusten lämmityksessä ja jäähdytyksessä käytettävä laitteisto, joka ei toimi ilmanvaihtolaitteena, mutta laitteissa olevilla suodattimilla pyritään puhdistamaan ilmasta epäpuhtauksia. Suomessa on viimeisen viiden vuoden aikana asennettu kymmeniä tuhansia uusia ilmalämpöpumppuja joka vuosi. Samalla rakennusalan ja asumisterveyden asiantuntijat ovat olleet huolissaan ilmalämpöpumppujen mahdollisista haittavaikutuksista sekä rakennuksille, että ihmisten terveydelle. Haittoja epäillään syntyvän, mikäli laitteiden asennusta, käyttöä tai huoltoa ei hoideta asianmukaisesti.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä selvitettiin ilmalämpöpumppujen hygieenisyyttä ja vaikutusta sisäilman mikrobiologiseen laatuun. Tutkimushypoteesi oli, että puhdistamattoman sisäyksikön rakenteisiin kertyvä pöly, yhdessä kylmille pinnoille kondensoituneen kosteuden kanssa, voi toimia kasvualustana mikrobeille, ja että nämä mikrobit voivat levitä huonetiloihin sisäyksikön läpi kiertävän ilman mukana. Tutkimuksella haettiin myös vastausta kysymykseen, voiko ilmalämpöpumpun vääränlainen käyttö heikentää sisäilman mikrobiologista laatua siinä määrin, että se aiheuttaa terveyshaittaa.</p> <p>Ilmalämpöpumppujen hygieenisyyttä selvitettiin sisäyksiköiden ilmanotto- ja ulospuhallusaukoilta otetuilla pintahygienianäytteillä, sekä vastaavista tiloista otetuilla sisäilmanäytteillä. Näytteistä tutkittiin bakteerit ja sienet. Näytteitä kerättiin 19 ilmalämpöpumpun sisäyksiköiltä.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena todettiin, että bakteereja ja sieniä kasvoi sekä ilmanotto- että ulospuhallusaukoilla. Tulokset viittaavat siihen, että mikrobiologiset epäpuhtaudet voivat levitä ilmalämpöpumpun kautta virtaavassa ilmassa huonetilaan. Joissakin tapauksissa ulospuhallusaukon pitoisuudet olivat ilmanottoaukon pitoisuuksia suurempia, mikä viittaa ilman likaantumiseen sisäyksiköllä. Toisaalta ilmanottoaukoilla sienikasvustoa ei ollut lainkaan seitsemässä tapauksessa, kun ulospuhallusaukoilta täysin puhtaita näytteitä saatiin yksitoista. Bakteerien kohdalla tilanne oli samanlainen, sillä ilmanottoaukoilta saatiin kolme täysin puhdasta näytettä, ja ulospuhallusaukoilta viisi. Suurin osa tutkituista ilmalämpöpumpuista siis puhdistaa ilmaa mikrobiologisista epäpuhtauksista, mutta joidenkin laitteiden tilanne vaatisi tarkempia tutkimuksia toimintaan liittyvien epäkohtien, ja mahdollisen rakenteissa olevan mikrobikasvun havaitsemiseksi.</p>		
Asiasanat (avainsanat) sisäilma, ilmanlaatu, lämmönvaihtimet, ilma – epäpuhtaudet, lämpöpumput		
Sivumäärä 75 s. + liitteet 26 s.	Kieli suomi	URN URN:NBN:fi:mamk-opinn2012A6079
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Martti Pouru	Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin Seudun Ympäristöpalvelut	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 3.5.2012
Author Anne Bergman	Degree programme and option Environmental Engineering	
Name of the bachelor's thesis A Hygiene Study of Air Source Heat Pumps		
Abstract <p>Air source heat pump (ASHP) is an apparatus which can be used to cool and heat the interior of a building. Air source heat pump is not ventilation equipment; it only circulates indoor air through its indoor unit. In Finland tens of thousands of new ASHP's have been installed each year during the last five years. Some experts have expressed their concern about ASHP's effect on indoor air and building structures. Negative effects are feared to occur when installation, use and maintenance of ASHP's are not handled appropriately.</p> <p>The object of this Bachelor's Thesis was to examine the hygiene of ASHP's and to study the effect that ASHP's have on microbiological quality of indoor air. Hypothesis was that domestic dust in unclean inner units, together with condensed water, can provide growth medium for microbes, which could diffuse to other areas of a dwelling along the circulating air. It was also evaluated whether inappropriate use of ASHP's can impair indoor air quality enough to cause health hazards.</p> <p>Hygiene of ASHP's was studied by swab based tests taken from both air intake and exhaust orifices. Bacteria and fungi were examined of samples taken from 19 ASHP's. Air samples were also taken to study the microbiological quality of indoor air in study locations.</p> <p>Results of sampling show bacterial and fungal growth in both air intake and exhaust orifices. In some cases the concentrations of bacteria and fungi were larger on exhaust orifice, which suggests that air has been contaminated when passing through indoor unit. On the other hand, there was no fungal growth on air intake orifices in seven cases, whereas on exhaust orifices there were eleven completely clean samples. The trend was the same with bacteria, for there was no bacterial growth on three air intake orifices, whereas on exhaust orifices there were five completely clean samples. Final conclusion is that in most cases air filters of indoor units did remove microbiological impurities from air, but in some cases further studies should be carried out to indicate the source of bacteria and fungi on exhaust orifice.</p>		
Subject headings, (keywords) indoor air, air quality, heat exchanger, air - impurities, heat pumps		
Pages 75 + 26	Language Finnish	URN URN:NBN:fi:mamk-opinn2012A6079
Remarks, notes on appendices		
Tutor Martti Pouru	Bachelor's thesis assigned by Mikkelin Seudun Ympäristöpalvelut	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ILMALÄMPÖPUMPUT	2
2.1	Yleistä ilmalämpöpumpuista	2
2.2	Ilmalämpöpumppujen määrät Suomessa	3
2.3	Ilmalämpöpumppuja koskeva lainsäädäntö	5
2.4	Muut lämpöpumpputyypit	7
3	ILMALÄMPÖPUMPUN TOIMINTA JA TEKNIikka.....	8
3.1	Lämmönsiirtymisen perusteita.....	8
3.1.1	Lämmön johtuminen.....	8
3.1.2	Konvektio eli lämmön kulkeutuminen.....	8
3.1.3	Lämpösäteily.....	8
3.1.4	Kondensoituminen	9
3.2	Ilmalämpöpumpun toiminta.....	9
3.2.1	Lämmitys	9
3.2.2	Jäähdytys.....	11
3.3	Ilmalämpöpumpun keskeisten osien toiminta	12
3.3.1	Kylmäaineet	12
3.3.2	Lauhdutin	13
3.3.3	Höyrystin.....	13
3.3.4	Kompressori.....	14
3.3.5	Paisuntaventtiili.....	14
3.3.6	Nelitieventtiili	14
3.3.7	Jäätymisenesto-tekniikka	14
3.3.8	Ilman suodattimet.....	15
3.4	Lämpökerroin	17
3.5	Kondenssivesi ja sulatusjaksot	18
3.6	Ilmalämpöpumpun puhdistus.....	19
4	SISÄILMA	20
4.1	Sisäilmasto ja sisäilma.....	20
4.2	Vaatimukset sisäilman mikrobiologiselle laadulle	21
4.3	Sisäilman mikrobiologiset epäpuhtaudet.....	22
4.3.1	Homesienet	23

4.3.2	Hiivat.....	26
4.3.3	Bakteerit.....	26
4.3.4	Aktinomykeetit	28
4.3.5	Virukset.....	29
4.4	Epäpuhtauksien kulkeutuminen ilmassa.....	30
5	MIKROBIEN TUNNISTAMINEN	31
6	TUTKIMUSVÄLINEET JA -MENETELMÄT	33
6.1	Yleistä tutkimusmenetelmistä.....	33
6.2	Kysely ilmalämpöpumppujen käyttäjille	33
6.3	Sisä- ja ulkoilmanäytteet.....	33
6.3.1	Elatusalustat	36
6.4	Pintahygienianäytteet.....	36
6.4.1	Elatusalustat ja laimennusliuos	38
6.5	Vertailunäytteet.....	39
7	KOhteiden perustiedot	39
8	NÄYTTEIDEN ANALYSOINTI	42
8.1	Sisäilmanäytteet	42
8.2	Ulkoilmanäytteet.....	44
8.3	Pintahygienianäytteet.....	44
8.4	Mikrobien tunnistaminen.....	46
8.4.1	Homesienet	46
8.4.2	Aktinomykeetit	47
9	TULOKSET	48
9.1	Sääolot	48
9.2	Sisäilman mikrobipitoisuudet	49
9.3	Pintahygienianäytteiden mikrobipitoisuudet	53
9.4	Lajitarkastelu	56
9.5	Ulkoilmanäytteiden tulokset.....	57
9.6	Tulosten luotettavuuden arviointi	58
9.6.1	Puhdasviljelmät.....	58
9.6.2	Rinnakkaisnäytteet ja kenttänoilat	60
9.6.3	Virhelähteet.....	61
10	TULOSTEN TARKASTELU	61

10.1 Ilmanotto- ja ulospuhallusaukkojen mikrobikasvun määrällinen ja lajistollinen vertailu.....	62
10.2 Pintahygienianäytteiden ja sisäilmanäytteiden lajistojen vertailu	63
10.3 Varsinaisten näytteiden ja vertailunäytteiden vertailu.....	64
10.4 Näytteissä esiintyneiden mikrobien ja lajisuhteiden tyypillisuus sisäilmassa	64
10.5 Mahdollisen terveyshaitan syntyminen	65
11 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	65
LÄHTEET	68

LIITTEET

1 Kyselylomake

2 Tulokset

1 JOHDANTO

Ilmalämpöpumppujen suosio on kasvanut maassamme vuosi vuodelta. Viimeisen viiden vuoden aikana asennettujen ilmalämpöpumppujen määrä on lisääntynyt kymmenillä tuhansilla joka vuosi (SULPU 2012; Tilastokeskus 2011). Ilmalämpöpumppuja asennetaan koteihin, kesämökeille, sekä julkisiin tiloihin, joissa niitä käytetään tilojen lämmityksessä sekä jäähdytyksessä.

Ilmalämpöpumppujen tekniikkaa ja varustelua on kehitetty monenlaisiin tiloihin sopivaksi, sekä vastaamaan erilaisten ilmasto-olojen vaatimuksiin. Ilmalämpöpumppuihin on kehitetty suuri määrä erilaisia suodattimia, joilla pyritään puhdistamaan ilmasta muun muassa huonepölyä, allergeeneja, hajuja ja mikrobeja. Osaltaan suodattimet suojaavat laitteen tekniikkaa, mutta useimmat on suunniteltu erityisesti puhdistamaan terveydelle haitallisia epäpuhtauksia huoneilmasta. Jotta ilmalämpöpumppu toimisi energiankulutuksen ja ilman suodatuksen kannalta mahdollisimman tehokkaasti, tulee ilmalämpöpumpun puhdistuksesta huolehtia säännöllisesti. (Perälä 2009, 98 - 99.)

Ilmalämpöpumppuja mainostettaessa painotetaan usein niiden myönteistä vaikutusta sisäilman laatuun. Jotkin asiantuntijat ovat kuitenkin esittäneet huolensa siitä, miten ilmalämpöpumpulla voidaan mahdollisesti heikentää sisäilman laatua ja aiheuttaa vahinkoa rakennuksille. Aiheesta onkin kaivattu lisää tutkimustietoa. Sisäilmaongelmien lähteenä ilmalämpöpumppua pidetään tilanteessa, jossa laitteen puhdistusta on laiminlyöty. Myös joidenkin ilmalämpöpumppujen tuottamasta otsonista ollaan huolissaan. Ilmalämpöpumppujen mahdollisista rakennuksille aiheuttamista vahingoista erityisesti rakenteisiin tiivistyvä kosteus, ja ulkoyksikön kondenssivesien pääsy rakenteisiin, ovat herättäneet keskustelua. (YLE Etelä-Karjala 2011; Korhonen 2010.)

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan ilmalämpöpumpun hygieenisyyttä, ja vaikutusta sisäilman mikrobiologiseen laatuun. Työ on rajattu koskemaan vain ilma-ilmalämpöpumppuja. Tutkimushypoteesi on, että puhdistamattoman sisäyksikön rakenteisiin kertyvä pöly, yhdessä kylmille pinnoille kondensoituneen kosteuden kanssa, voi toimia kasvualustana mikrobeille, ja että nämä mikrobit voivat levitä huonetiloihin sisäyksikön läpi kiertävän ilman mukana. Kuvatut olosuhteet voivat syntyä kun ilmalämpöpumppua käytetään jäähdytykseen, jolloin sisäyksikön lämmönvaihtimen pinnat jäähtyvät, ja ilmassa oleva kosteus kondensoituu laitteessa vedeksi. Tutkimuksella

haetaan myös vastausta kysymykseen, voiko ilmalämpöpumpun vääränlainen käyttö heikentää sisäilman mikrobiologista laatua siinä määrin, että se aiheuttaa terveyshaittaa. Tulosten tarkastelun yhteydessä arvioidaan myös tutkimuksessa käytetyn menetelmän soveltuvuutta tutkimustehtävän käsittelyyn.

2 ILMALÄMPÖPUMPUT

2.1 Yleistä ilmalämpöpumpuista

Ilmassa on lämpöenergiaa aina absoluuttiseen nollapisteeseen (n.- 273°C) saakka. Ilmalämpöpumppu on laitteisto, jolla tuota lämpöenergiaa voidaan siirtää sisä- ja ulkoilman välillä. (Happonen 2010, 17.) Ilmalämpöpumppu koostuu kylmäaineputkien yhdistämisestä ulko- ja sisäyksiköistä. Ilmalämpöpumppujen tekniikka mahdollistaa laitteiston käytön sekä lämmitykseen että jäähdytykseen. Ilmalämpöpumput eivät ole ilmanvaihtolaitteita, mutta sisäyksiköissä olevilla suodattimilla pyritään puhdistamaan ilmasta epäpuhtauksia. Kuvassa 1 on tyypilliseen paikkaan, eli laipion läheisyyteen, asennettu ilmalämpöpumpun sisäyksikkö.

Suomen oloissa ilmalämpöpumppu ei voi olla ainoa lämmitysmuoto, sillä nykyisellä käytettävissä olevalla tekniikalla varustetut ilmalämpöpumput eivät toimi ulkoilman lämpötilan ollessa alhaisempi kuin -20°C . Ilmalämpöpumppua voidaan siis käyttää varsinaisen lämmitysjärjestelmän ohella, jolloin se oikein käytettynä pienentää rakennuksen lämmityskustannuksia. Jäähdytykseen käytettäessä ilmalämpöpumppu kuluttaa sähköä lisäten asumiskustannuksia, mutta lisää asumismukavuutta helteillä. (Motiva 2008, 3 - 5.) Ilmalämpöpumppua hankkiessa on tärkeä tiedostaa laitteen pääasiallisen käyttötarkoitus, koska sillä on merkitystä tekniikaltaan ja ominaisuuksiltaan sopivimman laitteen valinnassa (Ilmalämpöpumput tuovat lämpöä ja viileyttä 2012; Happonen 2010, 47).

Ilmalämpöpumppuja myydään alan erikoisliikkeissä, rautakaupoissa sekä postimyynnissä. Laitteen voi hankkia joko asennettuna, tai ilman asennusta. Ilmalämpöpumppua ei kuitenkaan saa asentaa itse, vaan ilmalämpöpumpun asentajalla tulee olla Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (TUKES) myöntämä pätevyys. TUKES:n mukaan ilmalämpöpumpun mukana on toimitettava käyttöohjeet, joista tulee selvittää ne ilmalämpö-

pumpun käyttöönottoon, käyttöön ja huoltoon liittyvät toimet, jotka käyttäjä saa tehdä itse. (TUKES 2012.)



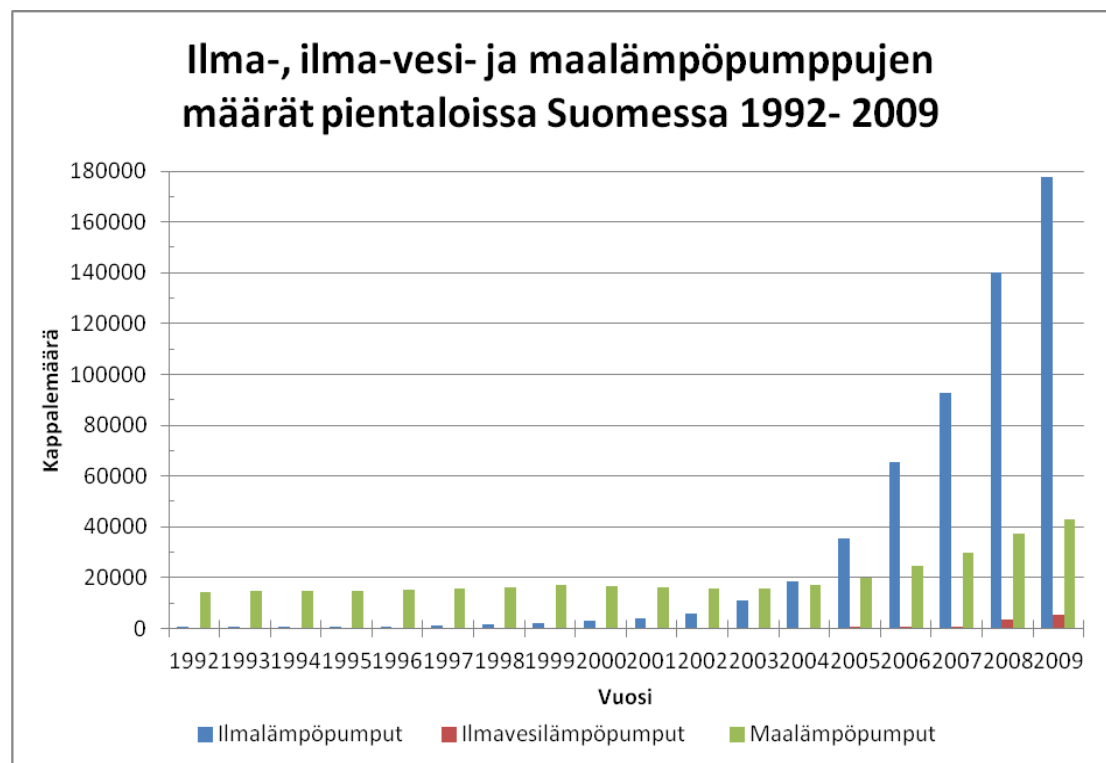
KUVA 1. Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö. (Bergman 2012)

2.2 Ilmalämpöpumppujen määrät Suomessa

Ilmalämpöpumppujen määrät maassamme ovat kasvaneet voimakkaasti viime vuosina. Asiaa voidaan tarkastella Tilastokeskuksen ja Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU ry:n kokoamista tilastotiedoista. Suomessa vuosina 1992 – 2009 pientaloihin asennettujen ilmalämpöpumppujen määrät, ja niiden lämmön tuotantokapasiteetti, on esitetty taulukossa 1. Samassa taulukossa on vertailun vuoksi myös ilma-vesilämpöpumppujen ja maalämpöpumppujen määrät kyseisenä ajanjaksona. Lämpöpumppujen määrät on esitetty vertailun helpottamiseksi myös kaaviona kuvassa 2. Tilastoista käy ilmi, että ilmalämpöpumput ovat kasvattaneet suosiotaan selvästi ilma-vesi- ja maalämpöpumppuja voimakkaammin. (Tilastokeskus 2011, 60.)

TAULUKKO 1. Pientalojen ilmalämpöpumppujen määrät, ja niiden lämmön tuotantokapasiteetti, sekä ilma-vesi- ja maalämpöpumppujen määrät Suomessa vuosina 1992- 2009. (Tilastokeskus 2011)

	Ilmalämpöpumput	Ilmalämpöpumppujen kapasiteetti	Ilma-vesilämpöpumput	Maalämpöpumput
Vuosi	(kpl)	(MW)	(kpl)	(kpl)
1992	10	0	-	14 387
1993	50	0	-	14 697
1994	100	0	-	14 803
1995	250	1	-	14 909
1996	500	2	-	15 172
1997	950	5	-	15 592
1998	1 650	8	-	16 324
1999	2 200	10	-	17 264
2000	3 000	14	-	16 835
2001	3 953	19	-	16 376
2002	5 843	28	-	15 708
2003	10 803	51	-	15 696
2004	18 753	89	-	16 953
2005	35 603	169	10	20 073
2006	65 353	311	410	24 551
2007	92 603	441	860	29 698
2008	139 903	666	3360	37 336
2009	177 880	847	5179	42 996



KUVA 2. Ilma-, ilma-vesi- ja maalämpöpumppujen määrät pientaloissa Suomessa vuosina 1992- 2009. (Tilastokeskus 2011)

Suomen Ilmalämpöpumppuyhdistys SULPU ry:n hallitus on arvioinut vuonna 2010 ja 2011 asennettujen lämpöpumppujen määrät, sekä laatinut ennusteen asennettujen lämpöpumppujen määristä vuosina 2015 ja 2020. Arviot maa-, poistoilma-, ilmavesi- ja ilma-ilmalämpöpumppujen määristä on esitetty taulukossa 2 (SULPU 2011). Arviossa vuosittain asennettujen ilmalämpöpumppujen määrän arvioidaan saavuttaneen huippunsa, mutta laitteiden lisääntymisen arvioidaan olevan runsasta jatkossakin. Ilmalämpöpumppujen suosioon vaikuttanevat edullisen lämmöntuotannon lisäksi myös helteiset kesät, jolloin ilmalämpöpumpuilla halutaan viilentää asuntoja ja muita oleskelutiloja (SULPU 2012).

TAULUKKO 2. SULPU: n hallituksen arvio vuosittain asennettujen lämpöpumppujen määristä vuosina 2010 – 2020. (SULPU 2011)

	Maalämpöpumput	Poistoilmalämpöpumput	Ilma-vesilämpöpumput	Ilma- ilmalämpöpumput
Vuosi	(kpl)	(kpl)	(kpl)	(kpl)
2010	8091	1988	1150	53 821
2011	11 000	2000	3000	60 000
2015	15 000	3000	5000	50 000
2020	20 000	4000	6000	40 000

2.3 Ilmalämpöpumppuja koskeva lainsäädäntö

Lainsäädännöllä puututaan lähinnä siihen, kuka saa asentaa ja huoltaa ilmalämpöpumppuja. Asiasta säädetään Ympäristönsuojelulaissa (86/2000) sekä Valtioneuvoston asetuksessa otsonikerrosta heikentäviä aineita ja eräitä fluorattuja kasvihuonekaasuja sisältävien laitteiden huollosta (452/2009).

Ympäristönsuojelulain 180a §:n toisessa momentissa todetaan seuraavaa:

Jäähdytys-, ilmastointi- ja lämpöpumppulaitealalla henkilön tulee osoittaa pätevyytensä näyttötutkinnossa siten kuin ammatillisesta aikuiskoulutuksesta annetussa laissa säädetään sekä opetussuunnitelmaperusteisessa ammatillisessa perustutkinnossa siten kuin ammatillisesta koulutuksesta annetussa laissa säädetään.

Ilmalämpöpumpun saa asentaa vain henkilö, jolla on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (TUKES) myöntämä pätevyys. **Ilmalämpöpumpun asennusta ei siis saa tehdä**

itse, eikä teettää epäpätevällä henkilöllä. TUKES ylläpitää kylmäalan pätevyysrekisteriä niistä asentajista, joilla on pätevyys asentaa ja huoltaa ilmalämpöpumppuja, sekä henkilöistä joilla on pätevyys toimia kylmäalan liikkeessä vastuuhenkilönä. Valtioneuvoston asetuksen 452/2009 8§:n mukaan vastuuhenkilö vastaa siitä, että kylmäalan liikkeen toiminnassa noudatetaan asetettuja ympäristönsuojeluvaatimuksia ja asennus- ja huoltohenkilöstö täyttää pätevyysvaatimukset. Lisäksi ne liikkeet ja toiminnanharjoittajat, joille on myönnetty kylmälaiteliikkeen todistus, ovat TUKES:n urakoitsijarekisterissä. Urakoitsijarekisterissä on tiedot liikkeen mahdollisesta sähköurakointioikeudesta. Maininta sähköurakointioikeudesta on lisätty rekisteriin, sillä ilmalämpöpumpun asennuksessa tarvittavat sähkötyöt saa tehdä vain oikeutettu sähköurakoitsija. Rekisterit pätevistä kylmäalan asentajista ja toiminnanharjoittajista ovat TUKES:n internet- sivuilla. Ilmalämpöpumppua hankkiva henkilö voi siis itse varmistaa rekisterin avulla, että hankkii ilmalämpöpumpun asennuksen pätevältä taholta. (TUKES 2012.)

Valtioneuvoston asetuksessa 452/2009 säädetään lisäksi tiettyjä kylmäaineita sisältävien jäädytys-, ilmastointi- ja lämpöpumppulaitteiden sekä sammutuslaitteistojen tarkastusväleistä. Lakisääteiset tarkastukset koskevat määrättyjä kylmäaineita yli kolme kiloa sisältäviä laitteita.

Lainsäädännössä myös Asunto-osakeyhtiölaki puuttuu ilmalämpöpumppujen asennuksiin. Asunto-osakeyhtiölain 5. luvun 2 §:ssä todetaan seuraavaa:

Osakkeenomistajan on ilmoitettava muutostyöstä etukäteen kirjallisesti hallitukselle tai isännöitsijälle, jos se voi vaikuttaa yhtiön tai toisen osakkeenomistajan vastuulla olevaan kiinteistön, rakennuksen tai huoneiston osaan taikka yhtiön tai toisen osakkeenomistajan osakehuoneiston käyttämiseen.

Ilmalämpöpumpun asennus katsotaan ilmoitettavaksi muutostyöksi, joten asunto-osakeyhtiölaki velvoittaa osakkeenomistajaa tekemään ilmoituksen ilmalämpöpumpun asennuttamisesta yhtiön hallitukselle tai isännöitsijälle. Ilmalämpöpumpun käyttö voi vaikuttaa kiinteistössä sijaitsevien muihin huoneistoihin muun muassa ulkoyksikön aiheuttaman melun tai tärinän muodossa. Tähän voidaan kuitenkin vaikuttaa myönteisesti oikein tehdyllä asennuksella. Asennuksen yhteydessä on tärkeää huomioida myös kondenssivesien johtaminen pois laitteelta niin, ettei vesi aiheuta kosteusvauriota ra-

kennukseen. Ilmalämpöpumpun ulkoyksikkö vaikuttaa myös rakennuksen julkisivuun, joten joissain tapauksissa lupaa asennukseen joudutaan pyytämään kunnan rakennusvalvonnasta. (Pylsy 2011.)

2.4 Muut lämpöpumpputyypit

Ilma-ilmalämpöpumppujen lisäksi on olemassa maalämpöpumppuja, vesi-ilmalämpöpumppuja ja poistoilmalämpöpumppuja. Maalämpöpumput hyödyntävät nimensä mukaisesti maaperässä olevaa lämpöä, josta osa on maan sisäosan geotermistä energiaa, ja osa auringon säteilystä maahan kertynyttä lämpöä. (Perälä 2009, 61.) Maaperän keskilämpötila on ilman keskilämpötilaa korkeampi (Seppänen & Seppänen 1996, 144). Maalämpöpumppu kerää lämmön maahan upotetussa lämmönkeruuputkessa kiertävään nesteeseen, joka taas luovuttaa lämmön kompressorin ja lauhduttimen kautta pattereissa tai lattialämmityksessä kiertävään veteen. Maalämmöllä voidaan siis lämmittää huoneiloja, mutta sitä voidaan hyödyntää myös käyttöveden lämmityksessä. (Perälä 2009, 61- 64; Senera Oy 2010.) Joissain tapauksissa maalämpöpumpun lämmönkeruuputket voidaan sijoittaa myös vesistön pohjalle (Perälä 2009, 61).

Ilma-vesilämpöpumpuissa hyödynnetään samaa tekniikkaa kuin ilma-ilmalämpöpumpuissa, mutta ilma-vesilämpöpumpuissa lämpöenergia siirretään huoneilman sijasta vesivaraajalle. Tätä vesivaraajan lämmitettyä vettä voidaan käyttää sekä käyttövetenä, että vesikiertoon perustuvan lämmitysjärjestelmän tarpeisiin. Ilma-vesilämpöpumppuja ei voida käyttää rakennusten jäähdytykseen. (Perälä 2009, 73.)

Poistoilmalämpöpumput keräävät lämpöenergiaa rakennuksen koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän poistoilmasta. Kerättyä energiaa voidaan käyttää rakennuksen lämmitykseen lämmittämällä joko huoneisiin puhallettavaa tuloilmaa, tai lämmitysjärjestelmässä kiertävää vettä. Poistoilmasta saatua energiaa voidaan hyödyntää myös käyttöveden lämmityksessä. Joitakin poistoilmalämpöpumppuja voidaan käyttää myös huoneilojen jäähdytykseen. (Perälä 2009, 77 - 81; Motiva 2011.)

3 ILMALÄMPÖPUMPUN TOIMINTA JA TEKNIikka

3.1 Lämmönsiirtymisen perusteita

Ilmalämpöpumppujen toiminnassa hyödynnetään lämmön eri siirtymismuotoja. Kondensoitumista taas tapahtuu kun ilmankosteus tiivistyy sisä-/ulkoyksikön kylmille pinnoille.

3.1.1 Lämmön johtuminen

Lämmön johtumisessa lämpöenergiaa siirtyy kappaleen lämpimämmästä osasta viileämpään osaan. Lämpöenergia siirtyy ainoastaan tasoittumaan pyrkivän lämpötilaeron takia. Lämmön johtumisessa aineen molekyylien liike-energian siirtyy molekyylistä toiseen keskinäisten voimien ja törmäilyjen välityksellä. Eri aineilla on erilainen lämmönjohtavuus, eli kyky siirtää lämpöä. (Happonen 2010, 18; Aittomäki 2008, 35.) Ilmalämpöpumpun kylmäaineputkissa käytetyn kuparin lämmönjohtavuus on 400 W/(m*K), ja sisä- ja ulkoyksikön kennoissa käytetyn alumiinin 237 W/(m*K). Kuparin ja alumiinin lämmönjohtavuudet ovat hyvät verrattuna moniin muihin metalleihin ja metalliseoksiin. (Kervinen & Parkkila 2005, 72 - 73.)

3.1.2 Konvektio eli lämmön kulkeutuminen

Konvektio, eli lämmön kulkeutuminen, on lämmön siirtymistä nesteen tai kaasun virtauksen mukana. Kun aine virtaa kiinteän pinnan ohi, ja pinnan ja aineen välillä on lämpötilaero, lämpöenergiaa siirtyy myös pintaan tai pinnasta pois. Konvektio voi olla pakotettua tai luonnollista. Konvektion ollessa pakotettua, tapahtuu aineen virtaus ulkoisen paine-eron aikaansaamana, kuten aineen virratessa esimerkiksi putkistossa. Luonnollisessa konvektiossa paine-ero syntyy painovoiman takia, lämpimän ja viileän aineen tiheyserojen seurauksena. (Aittomäki 2008, 37.)

3.1.3 Lämpösäteily

Lämpösäteily on kappaleen lähettämää sähkömagneettista säteilyä, jossa energia siirtyy valon nopeudella fotoneina. Lämpösäteilyä lähettävät kaikki kappaleet, joiden lämpötila on absoluuttisen nolapisteen yläpuolella. Lämpösäteilyllä on kappaleen

lämpötilasta ja pinnan ominaisuuksista riippuva energiajakautuma eri aallonpituuksilla. Kappaleen lämpötilan noustessa sen lähettämä energia siirtyy lyhyempään aallonpituuteen. (Aittomäki 2008, 39.)

3.1.4 Kondensoituminen

Kun kappaleen pinnan lämpötila on alle kastepisteen, tiivistyy ilmassa oleva vesihöyry kappaleen pinnalle, eli kondensoituu. Kondensoitumisessa ilmasta siirtyy lämpöä kappaleeseen, kun veden höyrystymislämpö vapautuu ilmiössä. (Aittomäki 2008, 41.)

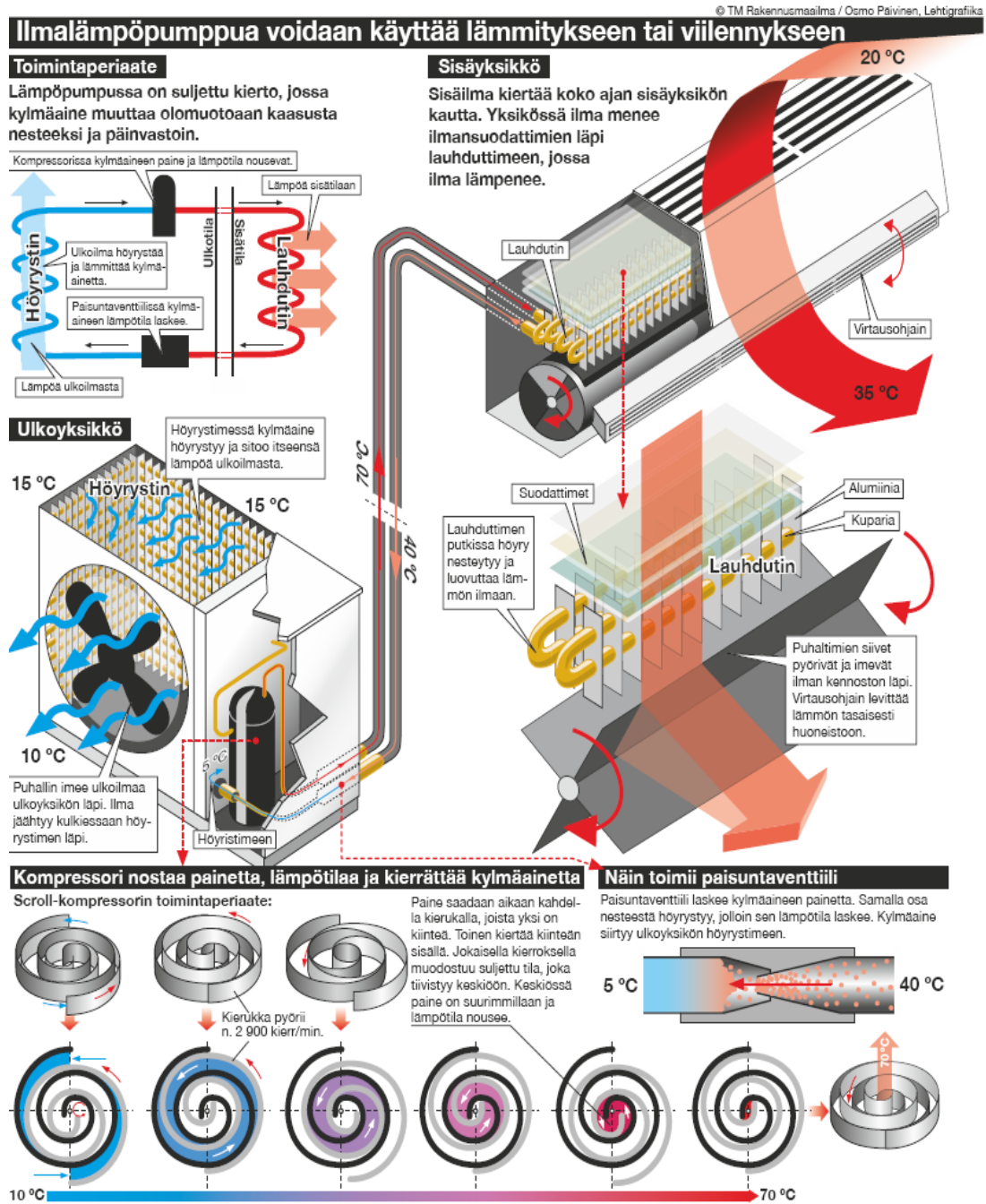
3.2 Ilmalämpöpumpun toiminta

3.2.1 Lämmitys

Ilmalämpöpumpun toimintaperiaatetta kuvataan kuvassa 3. Ilmalämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen kiertoon lämmönvaihtimien, eli lauhduttimen ja höyrystimen välillä. Nämä osat on yhdistetty kupariputkilla, joissa kylmäaine kiertää.

Kun ilmalämpöpumppua käytetään lämmitykseen, sidotaan ulkoilmassa olevaa lämpöenergiaa kylmäaineeseen ulkoyksikön höyrystimessä. Kun kylmäaine saapuu höyrystimelle, ovat sen paine ja lämpötila matalat. Kiertäessään höyrystimen putkissa, kerää kylmäaine itseensä lämpöenergiaa putkien seinien lävitse. Kylmäaine höyrystyy lämpötilan noustessa. Höyrystimeltä kylmäaineen kierto jatkuu kompressorille, jossa kylmäaine puristetaan korkeaan paineeseen, jolloin sen lämpötila nousee samalla lähes +100 °C:een. Kompressorilta kylmäaine siirtyy putkissa sisäyksikön lauhduttimelle, jossa kylmäaineen sitoma lämpöenergia siirtyy sisäyksikön läpi kierrätettävään huoneilmaan. Sisäyksikön lämmönvaihdin koostuu kylmäaineputkien ja alumiinilamellien muodostamasta kennostosta. Lämmennyt ilma siirretään huonetilaan puhaltimella, niin että ilmanvirta suuntautuu huoneen viileämpiin alaosiin. Lauhduttimella lämpönsä luovuttava kylmäaine tiivistyy jäähtyessään jälleen nesteeksi. Nesteytyneen kylmäaineen kierto jatkuu lauhduttimelta paisuntaventtiilille, jolla kylmäaineen painetta lasketaan voimakkaasti ennen sen siirtymistä höyrystimelle. Paisuntaventtiilin läpi kulkevan kylmäaineen lämpötila laskee paineen mukana, alimmillaan noin - 20°C:een.

Höyrystimelle palaava kylmäaine jatkaa kiertoaan laitteistossa kompressorin kierrättämänä. (Happonen 2010, 42.)

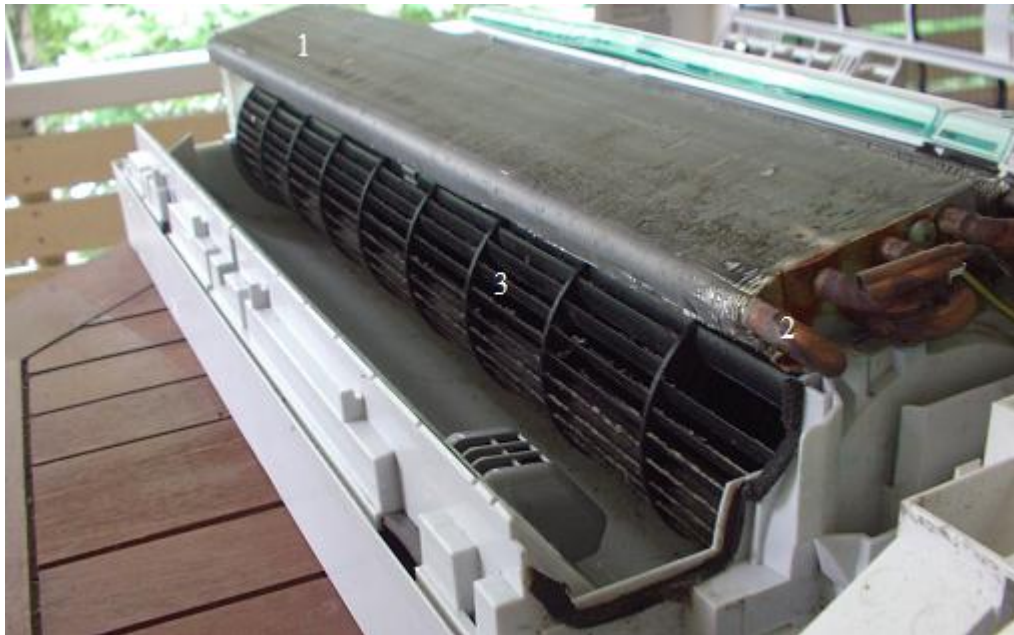


KUVA 3. Ilmalämpöpumpun toiminta. (Päivinen 2010)

Kuvassa 4 on ilmalämpöpumpun sisäyksikkö ilman kansiosaa. Kuvaan on merkitty seuraavat osat:

- 1) kennosto
- 2) kupariset kylmäaineputket

3) puhallin



KUVA 4. Ilmalämpöpumpun sisäyksikön osia. (Bergman 2011)

Ulkoilman lämpötila vaikuttaa laitteista saatavaan käyttötehoon, niin että ulkolämpötilan laskiessa myös käyttöteho laskee. Lisäksi sulatusjaksot vaikuttavat lämmöntuoton tehokkuuteen. Kannattaa siis tarkkaan arvioida missä vaiheessa talvea ilmalämpöpumpun käyttö lämmitykseen on vielä taloudellisesti kannattavaa. Rakennuksen pääasiallinen lämmitysjärjestelmä onkin suunniteltava sellaiseksi, että se on riittävä hoitamaan lämmityksen myös silloin, kun ilmalämpöpumppu ei osallistu lämmitykseen. (Perälä 2009, 55.) Kun kovilla pakkasilla siirrytään muihin lämmitysmuotoihin, voi ilmalämpöpumppua yhä käyttää tuuletintoiminnolla. Tämä toiminto löytyy ainakin osasta lämpöpumppumalleja. Tuuletintoiminnolla ilmalämpöpumppu ei osallistu rakennuksen lämmitykseen tai viilennykseen, vaan se ainoastaan kierrättää ilmaa puhaltimen avulla. Tuuletintoimintoa käyttämällä voidaan siirtää esimerkiksi puunpoltolla aikaansaatu lämpö tasaisesti huonetiloihin. (Perälä 2009, 55 - 56.)

3.2.2 Jäähdytys

Jäähdytyskäytössä kylmäaineen kierto on päinvastainen lämmityskäyttöön nähden, ja lauhdutin ja höyrystin vaihtavat toiminnallisesti paikkoja. Jäähdytyskäytössä nelitieventtiili on asennossa, jossa kompressorin aiheuttama höyrystimenä toimiva sisäyksikön putkiin alipaineen. Kiertäessään sisäyksikön putkissa, kylmäaine sitoo huoneil-

masta lämpöenergiaa, jolloin kupariputkien ja alumiinilamellien muodostaman kennoston pinta viilenee. Puhallin siirtää kennoston läpi virranneen, ja samalla jäähtyneen ilman huoneilmaan. Sisäyksiköllä lämmennyt kylmäaine siirtyy kompressorin kautta lauhduttimena toimivalle ulkoyksikölle, jossa kylmäaineeseen sitoutunut lämpöenergia siirtyy ulkoilmaan. Samalla kylmäaine tiivistyy nestemäiseen muotoon. Tämän jälkeen kylmäaineen kierto jatkuu paisuntaventtiilin kautta jälleen sisäyksikölle. (Happonen 2010, 43.) Jäähdytyskäytössä oleva ilmalämpöpumppu poistaa huoneilmasta lämmön lisäksi kosteutta (Motiva 2008, 6).

3.3 Ilmalämpöpumpun keskeisten osien toiminta

3.3.1 Kylmäaineet

Kylmäaineet ovat nesteytettyjä kaasuja, jotka muuttavat olomuotoaan sitoessaan tai luovuttaessaan lämpöenergiaa. Luovuttaessaan energiaa ympäristöönsä kylmäaine nesteytyy, ja ottaessaan energiaa ympäristöstään se kaasuuntuu. Ilmalämpöpumpuissa sisä- ja ulkoyksikön välillä kiertävää kylmäainetta käytetään lämpöenergian siirtäjänä. Ilmalämpöpumpuissa kylmäaine kiertää sisä- ja ulkoyksikön välillä kylmäaineputkissa. (Happonen 2010, 22.)

Kylmäaineet ovat pääsääntöisesti hiilivetyjä, joiden vetyatomeja on korvattu halogeenimolekyyleillä (Happonen 2010, 23). Nykyisin ilmalämpöpumpuissa käytetään yleisesti HFC-yhdisteitä (Hydro-Fluoro-Carbon), jotka sisältävät vetyä ja fluoria (Happonen 2010, 24, 33). Aikaisemmin käytetyt otsonia tuhoavat CFC-yhdisteet (Chloro-Fluoro-Carbon) eli freonit, sekä HCFC-yhdisteet (Hydro-Chloro-Fluoro-Carbon) ovat poistuneet käytöstä (Happonen 2010, 23). Nykyisin käytetyt HFC-kylmäaineet eivät aiheuta otsonikatoa, mutta ovat kuitenkin ympäristölle haitallisia, sillä ne ovat kasvihuonekaasuja (Happonen 2010, 33). Ympäristöystävällisenä kylmäaineena pidetään hiilidioksidia, joka on paitsi myrkytöntä ja palamatonta, myös edullista. Hiilidioksidin käyttö aiheuttaa kuitenkin tiettyjä vaatimuksia laitteistolle, sillä hiilidioksidi vaatii jopa 100 baarin käyttöpaineen. Hiilidioksidin käyttö ei ole tällä hetkellä kovin yleistä lämpöpumpuissa. (Perälä 2009, 50.)

3.3.2 Lauhdutin

Lauhdutin on se ilmalämpöpumpun osa, jossa lämpöenergiaa vapautuu ympäristöön. Lämmityskäytössä olevan ilmalämpöpumpun lauhduttimena toimii sisäyksikkö. Jäähdytyskäytössä kierto on päinvastainen ja tällöin lauhduttimena toimii ulkoyksikkö. (Happonen 2010, 39.) Sisäyksiköllä lauhduttimen muodostavat kupariputket joissa kylmäaine kiertää, sekä niihin liitetyt alumiinilamellit. Nämä yhdessä muodostavat ns. kennoston tai patteriston.

Tarkastellaan tilannetta jossa ilmalämpöpumppu on lämmityskäytössä, ja lauhduttimena toimii siis sisäyksikkö. Lauhduttimelle saapuessa kylmäaineen lämpötila ja paine ovat korkeat (Happonen 2010, 39). Kaasumaisessa muodossa oleva kylmäaine kiertää lauhduttimena toimivan sisäyksikön kennostossa, jossa kupariputkien läpi vapautuva lämpö siirretään huoneilmaan puhaltimen avulla. Lauhduttimella lämpöenergian sa luovuttava kylmäaine tiivistyy taas nesteeksi ja jatkaa kiertoaan paisuntaventtiilille. (Happonen 2010, 42.)

3.3.3 Höyrystin

Höyrystin on se ilmalämpöpumpun osa, jossa lämpöenergiaa sidotaan ympäristöstä kylmäaineeseen. Lämmityskäytössä olevan ilmalämpöpumpun höyrystimenä toimii ulkoyksikkö. Päinvastaisessa jäähdytyskäytössä höyrystimenä toimii sisäyksikkö. Ulkoyksikössä höyrystimen muodostavat kupariputket joissa kylmäaine kiertää, sekä tyypillisesti alumiiniset lamellit. (Happonen 2010, 38.)

Tarkastellaan tilannetta, jossa ilmalämpöpumppu on lämmityskäytössä, ja höyrystimenä toimii siis ulkoyksikkö. Höyrystimelle saapuessa kylmäaineen lämpötila ja paine ovat matala. Höyrystimenä toimivassa ulkoyksikössä kylmäaine kiertää kennoston kupariputkissa. Lämmityskäytössä lämpöenergia siirtyy ulkoyksikön läpi puhaltimella kierrätettävästä ilmasta kupariputkien lävitse kylmäaineeseen. Kylmäaine höyrystyy sitoessaan lämpöenergiaa. Muodostunut höyry imetään kompressorilla lauhduttimelle. (Happonen 2010, 38.)

3.3.4 Kompressori

Kompressori on ilmalämpöpumpun kylmäainetta kierrättävä osa. Kompressorissa kylmäaineen paine ja lämpötila nousevat, kun kylmäaine puristetaan pienempään tilavuuteen. Ilmalämpöpumpuissa käytetään sekä kierukka- että mäntäkompressoreja. Kompressoria pyörittää sähkömoottori. (Happonen 2010, 11; Perälä 2009, 46 - 47.) Kompressorin käymistä voidaan ohjata joko ON/OFF- säädöllä, jossa kompressori kytkeytyy päälle kun huonetilan lämpötila laskee/nousee asetuksien ylä-/alapuolelle, tai vaihtoehtoisesti invertteriohjauksella. Invertteriohjaus muuttaa kompressorin kierrosnopeutta portaattomasti, jolloin toistuvat pysähdykset ja käynnistykset jäävät pois. Invertteri siis muuttaa vaihtosähkön taajuutta ja kompressorin käyntinopeutta niin, että kompressori pyörii sopivalla nopeudelle käytössä oleviin asetuksiin nähden. (Perälä 2009, 50 - 51; Happonen 2010, 11.)

3.3.5 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiilin tehtävä on päästää riittävästi kylmäainetta höyrystimeen ja säädellä paine-eroa höyrystimen ja lauhduttimen välillä. Lämmityskäytössä lauhduttimena toimivalta sisäyksiköltä tuleva kylmäaine siirtyy paisuntaventtiilin ohittaessaan ilmalämpöpumpun matalapainepuolelle. Paisuntaventtiilillä muodostuvan painehäviön vuoksia alkaa nestemäinen kylmäaine välittömästi höyrystyä. (Happonen 2010, 39.)

3.3.6 Nelitieventtiili

Nelitieventtiili on kylmäainepiiriin kytketty vaihteventtiili, jolla kylmäaineen virtaus-suunta voidaan muuttaa. Tällöin höyrystin ja lauhdutin vaihtavat toiminnallisesti paikkaa sisä- ja ulkoyksikön välillä. Nelitieventtiili siis mahdollistaa ilmalämpöpumppujen käytön sekä lämmitykseen että jäähdytykseen. (Happonen 2010, 41.)

3.3.7 Jäätymisenesto-tekniikka

Pohjoisen ilmastossa ilmalämpöpumppujen ulkoyksiköt (kuva 5) ovat usein alttiina lumelle ja pakkaselle. Pohjoisiin oloihin suunnitelluissa ilmalämpöpumppu- malleissa voi olla sulatusautomaatiikan lisäksi muita käyttövarmuutta lisääviä ominaisuuksina, muun muassa kompressorin lämmitin ja kondenssiveden sulanapitokaapeli (Pa-

nasonic). Ulkoyksikön suojaksi myydään koteloita, jotka suojaavat laitetta muun muassa lumelta ja roskilta. Kotelon tulee kuitenkin olla sellainen, ettei se estä ilman vapaata kiertoa ulkoyksiköllä (Perälä 2009, 95).



KUVA 5. Ilmalämpöpumpun ulkoyksikkö. (Bergman 2012)

3.3.8 Ilman suodattimet

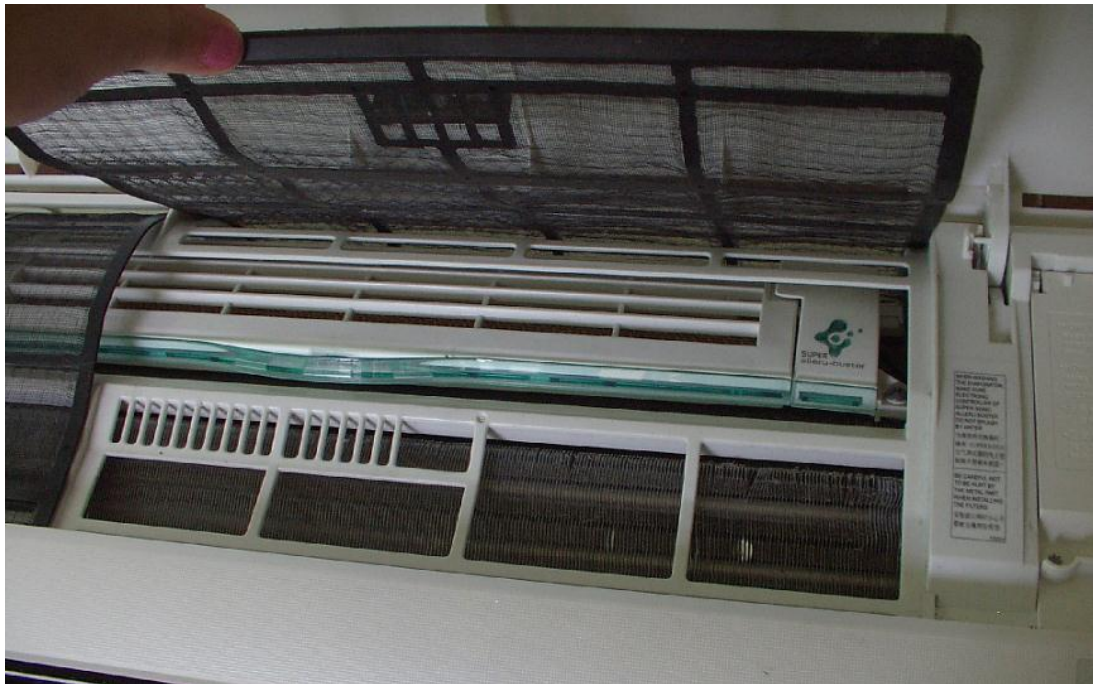
Uusimpien ilmalämpöpumppujen sisäyksiköihin on saatavilla suuri määrä erilaisia suodatinominaisuuksia, sekä toimintoja, joilla pyritään parantamaan sisäilman laatua. Valmistajien ja maahantuojien esitteissä kerrotaan suodatinten mm. ehkäisevän homekasvua, neutralisoivan viruksia sekä poistavan bakteereja, allergeenejä ja hajuja. Koska toimintaperiaatteeltaan samanlaisista suodattimista käytetään valmistajasta riippuen eri kaupallista nimeä, on erimerkkisten laitteiden ominaisuuksien vertailu melko hankalaa. Sisäyksikön suodattimia on kuvassa 6.

Kaikkien ilmalämpöpumppujen sisäyksiköissä on vähintään karkeasuodatin (kuva 7), joka kerää itseensä ilmassa olevaa pölyä. Pölyn suodattaminen suojelee kennostoa likaantumiselta ja ylläpitää näin ilmalämpöpumpun tehoa. (Perälä 2009, 59, 99.)

Eräs ilmalämpöpumpuissa usein käytetty suodatintyyppi on elektrostaattinen suodatin. Huoneilman laadun parantaminen elektrostaattisella suodattimella perustuu ilmalämpöpumpun sisäyksiköstä vapautuviin negatiivisiin ioneihin, jotka muuttavat ilmassa leijuvien, positiivisesti varautuneiden hiukkasmaisten epäpuhtauksien varaukset negatiivisiksi. Negatiivisesti varautuneet epäpuhtaudet jäävät positiivisen varauksen omaavalle suodattimelle ilman kiertäessä sisäyksikön läpi. Elektrostaattinen suodatin siis poistaa sisäilmasta pölyä. (Panasonic Finland; Fujitsu General Ltd.) Sisäyksikön läpi kiertävän sisäilman puhdistamiseen käytetään myös titaani-apatiittifotokatalyyttistä ilmansuodatinta. Sillä pyritään suodattamaan ilmasta mikroskooppisia pölyhiukkasia, homeita, bakteereja ja jopa viruksia. (Happonen 2010, 45.)

Ilmalämpöpumppujen suodatustehoa voidaan jatkossa parantaa ottamalla käyttöön myös HEPA-tason suodattimet, joita on käytössä jo muun muassa pölynimureissa ja kannettavissa ilmanpuhdistimissa. HEPA-tason suodattimilla ilmasta voidaan poistaa muun muassa home-itiöitä, bakteereja, huone- ja siitepölyä, sekä muita hiukkasmaisia epäpuhtauksia. (Sublett 2011; Tietoa ostajalle 2012.)

Varsinaisten suodatinten ohella, on ilmalämpöpumpuissa alettu käyttää ultraviolettivaloa ja otsonointia ilman puhdistamiseen. Ilman puhdistaminen ultraviolettivalolla perustuu sen kykyyn estää mikrobien kasvua ja lisääntymistä vaikuttamalla niiden DNA:han (Hengitysliitto 2011a). Otsonoinnin on tarkoitus tappaa huoneilmasta homeita ja bakteereita, sekä poistaa hajuja. Otsonoinnin käytöstä ilmalämpöpumpuissa ollaan montaa mieltä, sillä otsonin tiedetään olevan kemiallisesti hyvin reaktiivinen hengitysteihin vaikuttava kaasu. Otsonia syntyy jonkin verran myös elektrostaattisen ilmanpuhdistuksen yhteydessä. (Hengitysliitto 2011b; Puhakka 1996, 54.)



KUVA 6. Ilmalämpöpumpun sisäyksikön ilmansuodattimia. (Bergman 2011)

Valmistajat ovat tiedostaneet mikrobikasvulle suotuisien olosuhteiden syntymisen jäähdytyskäytössä olevien ilmalämpöpumppujen sisäyksiköihin, joten ilmaa puhdistavien suodatinten lisäksi sisäyksiköihin on lisätty ominaisuuksia, joilla voidaan estää mikrobikasvu myös itse laitteissa. Joidenkin laitevalmistajien uusimmissa ilmalämpöpumppumalleissa on sisäyksikön kuivaustoiminto, jonka voi käynnistää, kun laite on kytketty pois päältä. Kuivaustoiminnolla poistetaan jäähdytyskäytön aikana sisäyksiköön kondensoitunut kosteus, joka olisi muutoin mikrobien käytössä. Kuivaustoimintoon voidaan yhdistää myös sisäyksikköä puhdistava otsonointitoiminto. (Fujitsu General Ltd.) Ilmalämpöpumppujen sisäyksiköt voidaan myös käsitellä sellaisiksi, että mikrobit eivät pysty tarttumaan niihin (Mitsubishi Heavy Industries Ltd. 2011).

3.4 Lämpökerroin

Ilmalämpöpumpun tehokkuutta kuvaamaan käytetään lämpökerrointa, eli COP-arvoa (coefficient of performance). COP-arvo ilmaisee lämpöpumpun teoreettisen lämmöntuottokyvyn suhteessa laitteiston itsensä kuluttamaan energiaan. Esimerkiksi COP-arvon ollessa 4, tuottaa ilmalämpöpumppu neljän kilowattitunnin edestä lämpöä yhtä kuluttamaansa kilowattituntia kohden. Jäähdytyskäytössä ilmalämpöpumpun tehokkuutta kuvataan EER-arvolla (energy efficiency ratio), joka kuvaa laitteen energiate-

hokkuutta jäädytyksessä vastaavasti kuin COP-arvo lämmityskäytössä. (Motiva 2009.)

Teoreettiset lämpökertoimet ovat usein liian korkeita suhteessa laitteen todelliseen tehoon, sillä laskukaavoissa oletetaan esimerkiksi kompressorin ja muiden apulaitteiden toimivan 100 %:n hyötysuhteella. Ilmalämpöpumpun tehokkuus, ja näin ollen myös COP-arvo, on sitä parempi mitä pienempi lämpötilaero ulko- ja sisäilman välillä on. Pakkasilla laitteen teho laskee merkittävästi niin, että ulkolämpötilan ollessa n. -15 - 20 °C, rakennuksen lämmittäminen ilmalämpöpumpulla ei ole enää järkevää. Pohjoisiin oloihin suunnitellut Nordic-malliset ilmalämpöpumput säilyttävät tehokkuutensa pidempään lämpötilan ollessa pakkaslukemilla. Ilmalämpöpumpun käytön taloudellisuutta arvioitaessa on huomioitava myös sulatusjaksojen vaikutus laitteesta saatavaan hyötysuhteeseen. (Happonen 2010, 44 - 45; Motiva 2009; Perälä 2009, 31 - 32.) Myös likaiset suodattimet laskevat laitteen tehoa (Perälä 2009, 99).

3.5 Kondenssivesi ja sulatusjaksot

Lämmityskäytössä olevan ilmalämpöpumpun ulkoyksikön kylmille pinnoille tiivistyy ilmasta kosteutta, eli kondenssivettä. Mikäli höyrystimen pinnan lämpötila on alle 0 °C, voi kosteus härmistyä suoraan jääksi. Jäätyminen voi alkaa jo ennen pakkaskelejä, muutamassa lämpöasteessa. Jäätyminen ei välttämättä ole suuri ongelma kovilla pakkasilla, sillä silloin ilmassa on vähän kosteutta. Höyrystimen pintaan kertyvä jää eristää lämpöä, ja heikentää näin lämmön siirtymistä höyrystimellä kiertävään kylmäaineeseen. Laite ei siis tällöin pysty toimimaan tehokkaasti. (Perälä 2009, 57.)

Jään sulattamiseksi ilmalämpöpumppu täytyy olla varustettu toiminnolla, jossa kylmäaineen kiertosuunta muuttuu, eli laite siirtyy jäädytykselle. Tällöin höyrystimen pinta lämpenee ja jää sulaa. (Perälä 2009, 57.) Sulatus voidaan hoitaa myös sähkövastuksilla (Motiva 2008,6). Ulkoyksikölle kertynyt, tai sulatuksen yhteydessä syntynyt vesi tulee kerätä viemäriin tai keräysastiaan, tai ohjata putkella riittävän kauas rakennuksesta kosteusvaurioiden ehkäisemiseksi (Happonen 2010, 48). Jäänsulatusta voidaan tarvita kelistä riippuen jopa useita kertoja vuorokaudessa. Pohjoisiin oloihin suunnitellut ilmalämpöpumput onkin varustettu automaattisella sulatustoiminnolla. (Perälä 2009, 57.) Sulatusjaksojen aikana rakennuksen lämmitys keskeytyy, joten ne vaikuttavat lämmöntuoton tehokkuuteen (Happonen 2010, 43).

Kun ilmalämpöpumppu on jäähdytyskäytössä, toimii sisäyksikkö höyrystimenä. Tällöin sisäyksikön kennoston pinta viilenee kylmäaineen sitoessa itseensä lämpöenergiaa sisäilmasta. Huoneilman kosteus tiivistyy höyrystimen kylmille pinnoille vedeksi. Tämä kondenssivesi johdetaan sisäyksiköltä joko putkea pitkin suoraan viemäriin, tai erillisellä putkella ulkoyksikön kautta maahan. (Perälä 2009, 57.)

3.6 Ilmalämpöpumpun puhdistus

Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö tulee puhdistaa säännöllisesti. Mikäli kuluttaja ei tee liikkeen kanssa puhdistukset kattavaa huoltosopimusta, on laitteen puhdistus käyttäjän itsensä vastuulla. Säännöllistä puhdistamista vaativat lähinnä suodattimet. Osa suodattimista tulee myös vaihtaa uusiin tarpeen mukaan. Likaiset suodattimet eivät puhdistaa ilmaa tehokkaasti, jolloin sisäilman laatu kärsii. Likaiset suodattimet heikentävät myös ilmalämpöpumpun tehoa, estämällä ilman kiertoa sisäyksiköllä. (Perälä 2009, 98.) Mikäli pölyä pääsee kertymään sisäyksikköön paljon, voi kondenssiveden poistoletku tukkeutua liasta ja tällöin vesi kertyy sisäyksikön pohjalle. Myös kondenssivesiputken puhtaudesta täytyy siis huolehtia. (Costella Oy 2012.)

Yleisesti sisäyksikön karkeasuodatin suositellaan imuroitavan aina muun kodin siivouksen yhteydessä tai noin kahden viikon välein. Joidenkin laitteiden karkeasuodattimet voidaan puhdistaa myös vesipesulla, kuten kuvassa 7. Muiden suodattimien kohdalla suositellut puhdistusvälit vaihtelevat valmistajasta ja laitteesta riippuen muutamasta viikosta parin kertaan vuodessa. Myös suodatinten suositellut vaihtovälit vaihtelevat. Ilmalämpöpumpun puhdistus ei vaadi juuri muita työvälineitä kuin imurin ja vesisuihkun, mutta saatavilla on puhdistuksen helpottamiseksi tarkoitettuja välineitä, kuten imureissa käytettäviä imusuulakesarjoja, kondenssivesipumppuja ja erityisiä pesuaineita. (Perälä 2009, 98 - 99; Costella Oy 2012) Ulkoyksikön puhdistus koostuu lähinnä roskien, kuten lehtien ja oksien, sekä kertyneen jään poistamisesta (Motiva 2008, 7).



KUVA 7. Ilmalämpöpumpun karkeasuodattimen puhdistus voidaan hoitaa imu-roimalla tai vesipesulla. (Bergman 2011)

4 SISÄILMA

4.1 Sisäilmasto ja sisäilma

Sisäilma on ilmaa, jota rakennuksissa hengitetään. Se on siis suppeampi käsite kuin sisäilmasto, joka kattaa sisäilman lisäksi rakennuksen sisällä vaikuttavat ilmanvirtaus-, lämpötila-, säteily-, kosteus-, valaistus- ja ääniolosuhteet. (Puhakka ym. 1996, 15.) Aikuisen ihmisen keuhkotuuletus on noin kuusi litraa minuutissa, joten vuorokaudessa ihminen hengittää noin 10 000 litraa ilmaa, fyysisessä rasituksessa paljon enemmän (Bjälje ym. 1998, 300 - 301). Koska ihminen viettää suurimman osan ajasta sisätiloissa, Pohjois-Amerikassa ja Pohjois-Euroopassa jopa 90 % vuorokaudesta, on suurin osa hengittämästämme ilmasta sisäilmaa (Puhakka ym. 1996, 15). Sisäilman laadulla on näin ollen suuri merkitys ihmisten terveyden kannalta.

Sisäilmassa on aina epäpuhtauksia. Sisäilman laatua heikentävät muun muassa rakennusmateriaalien kaasumaiset ja hiukkasmaiset päästöt, polttoperäiset hiukkaset, tupakansavu, VOC:t, mikrobit ja sisäilmakemian tuotteet. Epäpuhtauksien lähteitä ovat

muun muassa ehjät ja vaurioituneet rakennusmateriaalit, kalusteet, kulutustuotteet, ilmanvaihtojärjestelmät, ihmisen toiminta, sekä rakennusten kosteusvaurioista aiheutuvat home- ja laho-ongelmat. Ihminen on myös yksi sisäilman epäpuhtauksien lähde, samoin kuin eläimet. Lisäksi epäpuhtauksia siirtyy sisäilmaan ulkoilmasta. (Puhakka ym. 1996, 16; Hahkala & Säteri 2012, 131.) Sisäilmaston fysikaaliset tekijät, kuten lämpöolot, kosteus ja säteilyolosuhteet, vaikuttavat siihen, miten epäpuhtaudet ilmenevät sisäilmassa. Myös epäpuhtauksista aiheutuvat terveyshaitat voivat vaihdella samoissa pitoisuuksissa, kun lämpötila- ja ilmankosteusolot ovat erilaiset. (Puhakka ym. 1996, 113.)

4.2 Vaatimukset sisäilman mikrobiologiselle laadulle

Terveydensuojelulain (763/1994) 26§:ssä sanotaan asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä oloista seuraavaa:

Asunnon ja muun sisätilan sisäilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden, melun, ilmanvaihdon, valon, säteilyn ja muiden vastaavien olosuhteiden tulee olla sellaiset, ettei niistä aiheudu asunnossa tai sisätilassa oleskeleville terveyshaittaa.

Asunnossa ja muussa oleskelutilassa ei saa olla eläimiä eikä mikrobeja siinä määrin, että niistä aiheutuu terveyshaittaa.

Terveydensuojelulain 1§:n mukaan terveyshaitalla tarkoitetaan asuin-/oleskeluympäristössä olevasta tekijästä tai olosuhteesta ihmiselle aiheutuvaa sairautta tai sairauden oiretta, tai sellaisen tekijän tai olosuhteen esiintymistä, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyyttä (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009,10; Terveydensuojelulaki 763/1994).

Terveydensuojelulain 26§:n toisen momentin mukaan asunnossa tai oleskelutilassa ei saa olla eläimiä eikä mikrobeja *siinä määrin*, että niistä aiheutuu terveyshaittaa. Sisäilmassa on aina epäpuhtauksia, joista osa on mikrobiologisia. Ihmisen terveyden kannalta on merkitystä epäpuhtauden laadulla ja pitoisuudella, altistumisajalla, muiden epäpuhtauksien esiintymisellä, sekä ympäristön olosuhteilla (Puhakka ym. 1996, 17). Lisäksi henkilökohtaisilla ominaisuuksilla on merkitystä siinä, aiheutuuko sisäilman epäpuhtauksista terveyshaittaa. Terveyshaitoille altistavia tekijöitä ovat muun

muassa allergiat, atopia, aiempi altistuminen, hengitystiesairaudet, ikä ja mahdollinen tupakointi. (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2008.) Tyypillisiä sisäilmassa esiintyvien haitallisten mikrobien aiheuttamia terveyshaittoja ovat silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytysoireet, sekä yleisoireet, kuten kuumeilu, pahoinvointi, päänsärky, ja väsymys. Sisäilman haitallisille mikrobeille altistuminen voi aiheuttaa myös toistuvia hengitysteiden infektioita, ja jopa kroonisen sairauden, kuten astman tai kroonisen keuhkoputken tulehduksen. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 152.)

Koska rakennuksessa esiintyvän kosteuden, siihen liittyvän mikrobikasvun, ja mikrobikasvun aiheuttamien terveyshaittojen välillä olevaa yhteyttä ei ole voitu määrittää tarkasti, ei sisäilman mikrobiologisille epäpuhtauksille ole toistaiseksi voitu asettaa absoluuttista raja-arvoa, jonka alle jääviä pitoisuuksia voitaisiin pitää turvallisina (Heseltine & Rosen 2009, 15; Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2008). Asumisterveysoppaassa esitetyt, ja laajalti sovelletut, sisäilman mikrobiologiselle laadulle annetut ohjeet perustuvat Kansanterveyslaitoksen tutkimuksiin, aikaisemmin terveydenhoitolain nojalla julkaistuihin suosituksiin, terveydensuojeluviranomaisten valvontatyöstä hankkimaan kokemuksiin ja päätöksiin, sekä kansainvälisiin julkaisuihin (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 10).

4.3 Sisäilman mikrobiologiset epäpuhtaudet

Sisäilman mikrobiologisia epäpuhtauksia ovat bakteerit, virukset ja sienet, joihin kuuluvat homeet ja hiivat. Näistä epäpuhtauksista puhutaan yhteisnimellä mikrobit. Sieniä ja bakteereja on kaikkialla elinympäristössämme, ja ne ovat oleellinen osa luontoa ja sen kiertokulkua, jopa elämälle välttämättömiä. Jotkin mikrobit ovat kuitenkin terveydelle haitallisia, ja siksi niiden esiintyminen sisäilmassa on ei-toivottua. (Putus 2012.) Sisäilmaan mikrobit voivat siirtyä esimerkiksi ulkoilmasta, maakellarista, polttopuista, rakennuksen kosteus- tai lahovauriosta, asukkaista ja lemmikkieläimistä, sekä päivittäisten toimintojen, kuten ruoanlaiton tai siivouksen seurauksena (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 157).

Mikrobit vaativat kasvaakseen sopivat lämpö- ja kosteusolot, ravintoa, sekä aikaa. Kasvuun vaikuttavat osaltaan myös ympäristön pH, hapellisuus, hapetus- pelkistyspotentiaali (redox -potentiaali) sekä kasvualustan koostumus (Salkinoja-Salonen 2002, 191). Asuinrakennusten lämpötila on mikrobikasvulle sopiva ja happea on saatavilla,

joten mikäli pinnoilla tai rakenteissa esiintyy vielä riittävästi kosteutta, on olemassa kaikki edellytykset mikrobikasvulle (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 105). Kosteus voi tulla rakenteisiin monista lähteistä, kuten putki- tai vesikattovuodoista, kondensoitumalla kylmille pinnoille tai kapillaarisen nousun seurauksena (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 149). Rakennuksessa kosteus on käytännössä ainoa kasvuedellytys, joka mikrobeilta voidaan evätä kasvun rajoittamiseksi (Husman ym. 2002, 18).

4.3.1 Homesienet

Homeet ovat nimensä mukaisesti sienten alaryhmä (Husman ym 2002, 17). Sienet hajottavat luonnossa eloperäistä materiaalia, saattaen sen muotoon, joka on helpommin muiden eliöiden käytettävissä. Homeiden rakenne on rihmamainen, ja ne voivat nopeasti muodostaa silmin havaittavia pesäkkeitä. (Puhakka ym. 1996, 73 - 75.) Tuomallisina sienet voivat lisääntyä suvuttomasti jakautumalla, tai suvullisella lisääntymisellä, joka käynnistyy kahden solun yhtymisestä. (Salkinoja-Salonen 2009, 245.) Sienet leviävät uusille kasvupaikoille muodostamiensa itiöiden avulla. Itiöt ovat hyvin kestäviä, sillä ne voivat selvitä homeiden kasvun kannalta epäsuotuisissa olosuhteissa jopa vuosia. Homeet voidaan tunnistaa suku- ja lajitasolle rihmaston ja itiöiden ulkonäön perusteella. (Puhakka ym. 1996, 73 - 75.)

Useat sienet ovat käyttämänsä ravinnon suhteen hyvin vaatimattomia. Ne saavat tarvitsemansa ravinteet useimmista rakennusmateriaaleista (esim. betoni, tasoitteet, laasti, lastu-/kipsilevy, muovi, lattiapäällysteet, tapetti) ja jopa tavallisesta huonepölystä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 146; Pönkä 2006, 105; Husman ym. 2002, 18.) Sienet vaativat kasvaakseen myös kosteutta. Kosteuden tulee olla sienten käytössä kasvualustan kautta. Vesiaktiivisuus (a_w) kuvaa sitä kasvualustassa olevan kosteuden määrää, joka on mikrobien käytettävissä. Vesiaktiivisuuden arvo saadaan jakamalla kasvualustassa olevan vapaan veden höyrynpaine puhtaan veden höyrynpaineella. Rakennusten rakenteissa olevaa kosteuden määrää kuvaamaan käytetään myös suhteellista tasapainokosteutta (ERH), jolloin $ERH = a_w * 100$. (Puhakka ym. 1996, 81 - 82)

Mikrobiryhmillä on erilaiset vaatimukset vesiaktiivisuuden suhteen. Homeiden kasvu on mahdollista kasvualustan tasapainokosteuden ollessa noin 70 - 80 %, mutta suuri osa homesuvuista vaatii tätä suuremman kosteuspitoisuuden. Sinistäjä- ja lahottajasie-

net vaativat kasvualustaltaan pitkäaikaisen, jopa 95 %:n tasapainokosteuden. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 146; Puhakka ym. 1996, 82.) Sisäilman kosteus ei ole suoraan mikrobien käytössä, vaan kylmille pinnoille tiivistymisen kautta (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 147). Ilmankosteudesta tiivistynyt vesi sisältää myös mikrobien tarvitsemia ravinteita, jotka ovat peräisin rakennuksen sisäilmasta (Salkinoja-Salonen 2009, 248).

Ulkoilmassa esiintyy sienten itiöitä aina sulan maan aikaan, mutta niiden pitoisuus on korkeimmillaan loppukesällä ja syksyllä. Ulkoilman merkittävimpiä itiölähteitä ovat maaperä, kasvit, erilaiset pistelähteet (esim. sahat, myllyt, sellu- ja rehutehtaat) ja vesi. (Reiman 1998, 41 - 42.). Suomessa yleisimmät ulkoilmassa esiintyvät homesuvut ovat *Cladosporium*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Aureobasidium* ja *Botrytis*. Lisäksi ulkoilmassa esiintyy niin ikään sieniin kuuluvia hiivoja ja basidiomykettejä, eli lakkisieniä. (Putus 2010, 58 - 59.)

Koska ulkoilma on merkittävin sisäilman homeiden lähde, esiintyy sisäilmassa samoja sukuja kuin ulkoilmassa. Yleisin ja runsaimmin sisäilmassa esiintyvä sienisuku on *Penicillium*. (Putus 2010, 58; Pönkä 2006, 104.) Muita sisäilmassa tyypillisesti esiintyviä sienisukuja ovat *Aspergillus* ja *Cladosporium*. Lisäksi sisäilmassa todetaan usein hiivoja. (Pönkä 2006, 104 - 105.) Sekä sisä- että ulkoilmassa esiintyy myös niin kutsuttuja steriilejä sieniä, jotka eivät muodosta itiöitä kasvualustalla, vaan kasvattavat yleensä vaaleaa rihmastoaa. Nämä sienet jäävät itiöitä muodostavien lajityypillisten rakenteiden puuttuessa tunnistamatta, eikä niillä siis ole nimeä. (Reiman 1998, 46.)

Mikäli ympäristön olosuhteet ovat suotuisat homeen kasvulle, kasvattaa homesieni rihmastoaan, mutta ei välttämättä tuota itiöitä. Itiöinti kiihtyy kun olosuhteet muuttuvat homesienen kasvun kannalta epäsuotuisiksi, jolloin sieni itiöinnin avulla pyrkii siirtymään paremmalle kasvualustalle. Itiöinnin kiihtymiseen vaikuttaa muun muassa ravinnon tai kosteuden puute. Pienet sisäilman itiöpitoisuudet eivät siis poissulje kosteusvauriota tutkimuskohteessa, ja toisaalta, jo kuivuneiden kosteusvaurioiden yhteydessä voidaan sisäilmasta mitata suuriakin itiöpitoisuuksia. (Puhakka ym. 1996, 83; Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 149.)

Sisäilman homeet voivat aiheuttaa toisille monenlaisia terveyshaittoja, kun taas jotkut homeille altistuneet eivät oirehdi lainkaan. Yleisimpiä homesienten aiheuttamia yleis-

oireita ovat päänsärky, väsymys, kuumeilu ja pahoinvointi. Lisäksi esiintyy erilaisia ärsytysoireita, kuten nenän tukkoisuus ja nuha, silmien ärsytys, nielun ärsytys ja kurkkukipu, käheys sekä yskä. Homesienille altistuminen voi lisätä hengitystietulehduksia, kuten poskiontelo- korva- ja keuhkoputkentulehduksia (Pönkä 2006, 108). Lisäksi homealtistus voi aiheuttaa allergisia sairauksia, kuten allergista nuhaa, allergista silmätulehdusta ja astmaa. Homeille allergisoituneelle henkilölle voi aiheutua oireita jo hyvin pienistä homeitiöpitoisuuksista. (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2008.)

Oireiden aiheuttajina toimivat itiöt, sienirihmaston kappaleet, mikrobien osat, aineenvaihdunnasta syntyvät haihtuvat orgaaniset yhdisteet (MVOC), sekä eräiden homeiden tuottamat allergeenit ja mykotoksiinit (Pönkä 2006, 107; Seuri ym. 1996, 32 - 34). Homeallergeenit ovat tyypillisesti homeiden soluliman valkuaisaineita, jotka ovat säilyneet aikojen saatossa useimmissa homelajeissa. Saman valkuaisaineen esiintyminen selittää sen, miksi yhdelle homelajille herkistynyt henkilö saa oireita muistakin lajeista. (Seuri ym. 1996, 32 - 34.)

Mykotoksiinit ovat eräiden homeiden tuottamia myrkyllisiä yhdisteitä, joista osa on myrkyllisiä ihmisille ja eläimille. Kasvualusta vaikuttaa homeiden toksiinien tuotantoon. Eräs hyvin tunnettu mykotoksiini on *Penicillium*-homeen tuottama penisilliini, joka on voimakas antibiootti. Jotkin mykotoksiinit ovat karsinogeenisiä, kuten joidenkin *Aspergillus*-lajien tuottama aflatoksiini. (Douwes 2009, 18.) Mykotoksiineja tuottavia lajeja on myös *Cladosporium*, *Acremonium*, *Alternaria*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Paecilomyces* ja *Chaetomium*-suvuissa. Toksinen *Stachybotrys chartarum*-laji viihtyy rakennusmateriaaleissa, joissa se kasvaa limaisina pesäkkeinä. *Stachybotrys chartarum*:n itiöt pääsevät pesäkkeistä sisäilmaan huonosti, joten pienetkin pitoisuudet sisäilmassa tulkitaan haitallisiksi. (Ositum Oy 2012a.)

Homeiden tuottamiin haihtuviin orgaanisiin yhdisteisiin, eli MVOC:hin (Microbial Volatile Organic Compound), kuuluu muun muassa alkoholeja, aldehydejä, estereitä ja hiilivetyjä. MVOC-yhdisteitä tunnetaan jo yli 200 erilaista. MVOC:t ovat osin samoja yhdisteitä kuin teollisissa kemikaaleissa esiintyvät VOC:t (Volatile Organic Compounds). (Douwes 2009, 19.) Sisäilmassa olevista VOC-päästöistä noin puolet on peräisin rakennusmateriaaleista, ja puolet mm. huonekaluista, tekstiileistä, puhdistusaineista, kosmetiikasta, sekä ihmisten ja eläinten aineenvaihdunnasta. Mikäli rakennusmateriaali pääsee kostumaan, voivat sen aiheuttamat VOC-päästöt muuttua ja/tai

lisääntyä kemiallisten reaktioiden tai mikrobiologisen aineenvaihdunnan seurauksena. MVOC-mittauksien yhteydessä tulosten tulkintaa vaikeuttaa se, että myös täysin virheettömistä materiaaleista haihtuu MVOC-yhdisteitä. VOC-päästöjen aiheuttamia tyypillisiä oireita ovat erilaiset silmien, nenän, kurkun ja ihon ärsytysoireet. (Metiäinen 2011, 2.) MVOC:t aiheuttavat mikrobikasvun yhteydessä usein havaittavan homeen hajun (Pönkä 2006, 107).

4.3.2 Hiivat

Hiivat ovat yksisoluisia sieniä, joiden rakenne on muita sieniä yksinkertaisempi (Tirri ym. 2001, 239; Puhakka ym. 1996, 76). Hiivojen ulkonäkö poikkeaa merkittävästi homeista, sillä hiivat eivät muodosta rihmastoja ja kasvavat yleensä irrallaan muista hiivasoluista. Hiivat lisääntyvät homeiden tapaan joko jakautumalla tai kuroutumalla, mutta myös osa hiivoista lisääntyy myös suvullisesti. Hiivat eivät tuota itiöitä. (Salakinoja-Salonen 2009, 245 – 246.)

Hiivat vaativat yleensä kasvaakseen jonkin verran korkeamman lämpötilan kuin homeet. Lisäksi ne hiivojen kasvu edellyttää yleensä hyvin korkeaa kosteutta. Rakennusmateriaaleissa kasvavien hiivojen katsotaan olevan merkki kosteusvauriosta. (Putus 2010, 64.) Ilmanäytteissä hiivojen pitoisuudet ovat olleet samaa suuruusluokkaa sekä vaurio- että vertailurakennuksissa (Taskinen 2001).

Hiivojen ei tiedetä tuottavan toksineja, mutta ne voivat aiheuttaa pitkälti samoja sairauksia kuin homesienet (Putus 2010, 64 - 66). Hiivat ovat allergisoivia ja aiheuttavat infektioita limakalvoilla ja iholla, sekä muissa kudoksissa. Hiivat voivat myös aiheuttaa vakavia sairauksia, kuten alveoliittia, eli keuhkorakkulatulehdusta. (Putus 2010, 66.) Hiivan aiheuttamaa alveoliittia esiintyy harvoin, mutta sairastumisriski liittyy muun muassa ilmastokostuttimien käyttöön (Putus 2010, 67).

4.3.3 Bakteerit

Bakteerit ovat pienimpiä ja yksinkertaisimpia solurakenteisia organismeja. Ne ovat esitumaisia, eli niillä ei ole aitotumaisten eliöiden tapaan selvärajaisia tumaa. Bakteerien solurakenne on muutenkin monin paikoin alkeellinen. Bakteerit lisääntyvät yleensä suvuttomasti jakautumalla. (Tirri ym. 2001,73.) Joillakin bakteereilla on kyky

muodostaa itiöitä, jotka kestävät muuta bakteerisolua paremmin mm. kuivuutta, lämpöä ja säteilyä (Reiman 1998, 39). Itiö on bakteerin säilymismuoto, silloin kun olosuhteet eivät ole kasvulle suotuisat. Kun olosuhteet muuttuvat jälleen kasvua suosiviksi, muuttuvat itiöt jakautumiskykyisiksi bakteerisoluiksi. Itiöitä muodostavia bakteereita esiintyy paljon maaperän mullassa sekä vesistöissä. Jotkin bakteerit tuottavat lisääntyessään myrkyllistä ainetta, eli toksiniä. (Elintarviketurvallisuusvirasto 2012.)

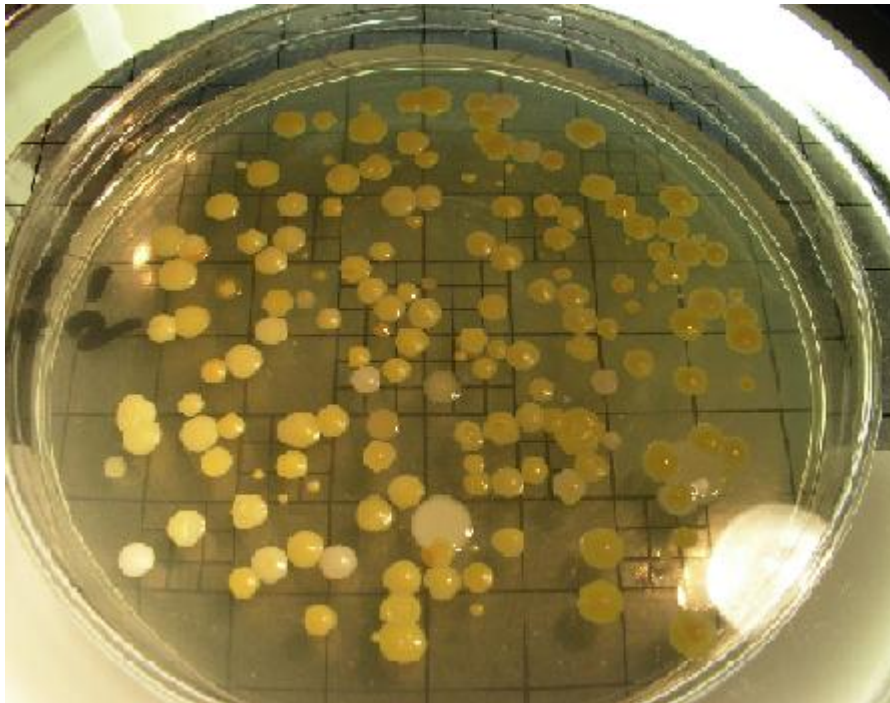
Bakteerit pystyvät kasvamaan erilaisissa lämpötiloissa. Kylmiin oloihin (0 - +25 °C) sopeutuneita bakteereita kutsutaan psykrofiileiksi, tasalämpöisten eläinten ja ihmisten ruumiin lämpötilassa (+30 - +37 °C) viihtyviä mesofiileiksi ja lämpimissä olosuhteissa (+45 - +65 °C) viihtyviä termofiileiksi. Myös bakteerien hapentarve vaihtelee niin, että osa bakteereista tarvitsee happea kasvaakseen, ja osa vaatii hapettomat elinolosuhteet. Happea tarvitsevia bakteereja kutsutaan aerobeiksi, ja hapettomissa eläviä anaerobeiksi bakteereiksi. Sekä hapellisissa että hapettomissa olosuhteissa lisääntymään kykeneviä bakteereita kutsutaan fakultatiivisiksi bakteereiksi. Elinympäristön kosteuden suhteen bakteerit ovat vaativia, ne tarvitsevat kasvaakseen enemmän vettä kuin muut mikrobit. (Elintarviketurvallisuusvirasto 2012.)

Sisäilmassa olevat bakteerit ovat yleensä lähtöisin ihmisistä ja eläimistä, vain harvoin rakennuksesta tai sen laitteista (Seppänen & Seppänen 1996, 33; Kontturi 1996, 26). Bakteereiden merkitys kosteusvaurioiden yhteydessä tosin tunnetaan huonommin kuin esimerkiksi homesienten (Pönkä 2006, 111). Ihmisestä bakteerit joutuvat ilmaan iholta irtoavien hiukkasten mukana, sekä hengitysteistä. Iholta irtoavien hiukkasten mukana ilmaan päätyy mm. *Staphylococcus*-, *Micrococcus*- ja *Corynebacterium*-sukujen bakteereita. (Puhakka ym. 1996, 77; Seppänen & Seppänen 1996, 33.)

Sisäilmassa esiintyvien bakteerien aiheuttama terveyshaitta riippuu niiden taudinaiheuttamiskyvystä ja pitoisuudesta (Seppänen & Seppänen 1996, 33). Taudinaiheuttamiskykyiset bakteerit voivat homeiden ja hiivojen lailla aiheuttaa terveyshaittoja, kuten tulehdustauteja, allergisia reaktioita ja toksisia, eli myrkyvaikutuksia. Ehkä tunnetuin ilman välityksellä leviävän bakteerin aiheuttama tulehdustauti on legionelloosi, jonka aiheuttaja on *Legionella pneumophila*-bakteeri. Legionelloosi eli legioonalaistauti on vakava keuhkotulehdus, jota esiintyy usein pieninä epidemioina laitoksissa tai hotelleissa, joissa on ilmastoinnin jäähdytys tai kostutus. *Legionella pneumophila* voi kasvaa mm. ilmastointilaitteissa ja lämminvesivaraajissa. Sisäilman bakteerit aiheut-

tavat tartuntatauteja myös päiväkodeissa, joissa sisäilman bakteerikuormitus on suuri. (Pönkä 2006, 112 - 113.)

Koska vain osa bakteereista on taudinaiheuttamiskykyisiä, ei kohonnut sisäilman bakteeripitoisuus ole välttämättä terveyshaitan merkki. Asumisterveysoppaassa yli 4500 pmy/m³ pitoisuudet tulkitaan puutteellisen ilmanvaihdon merkiksi, mikäli tilassa ei esiinny myös aktinomykettejä (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 171). Huoneilman bakteeripitoisuutta voidaan siis pitää eräänlaisena sisäilman hygienian mittana (Seppänen & Seppänen 1996, 33). Sisäilmanäytteessä esiintyneitä bakteerikasvustoja on kuvassa 8.



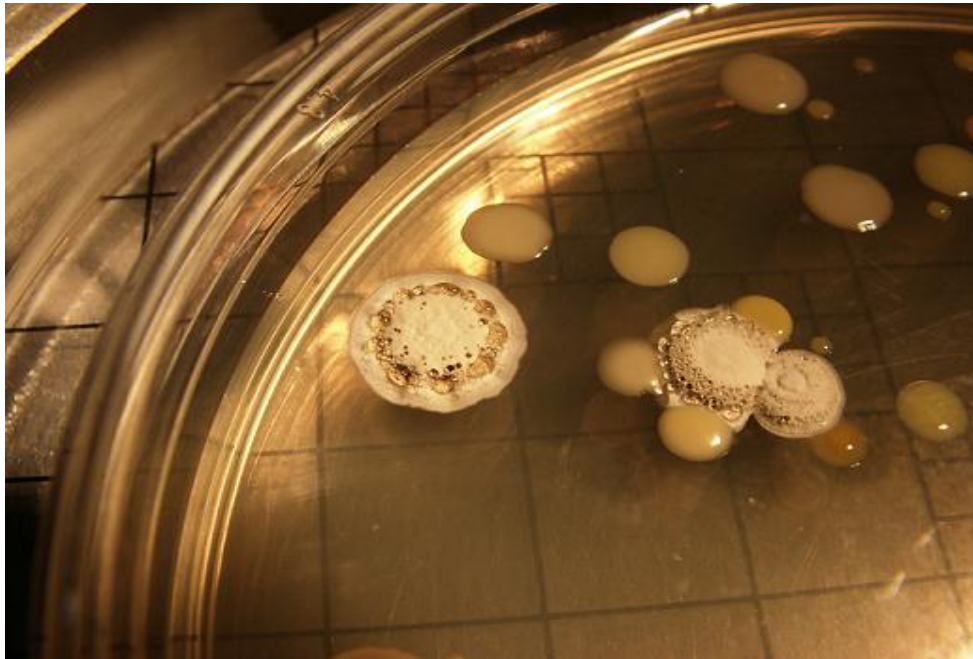
KUVA 8. Sisäilmanäytteen bakteerikasvustoja PCA- agarilla. (Bergman 2011)

4.3.4 Aktinomykeetit

Aktinomykeetit ovat gram-positiivisia bakteereita, vaikka niitä harhaanjohtavasti kutsutaan myös sädesieniksi. Aktinomykeetit muodostavat homeiden lailla rihmastoja ja itiöitä, mutta aktinomykeettien muodostamat rihmastot ovat homerihmastoihin verrattuna hentoja. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 144; Puhakka ym. 1996, 81). Aktinomykeettipesäkkeet poikkeavat ulkonäöltään muista bakteeripesäkkeistä (kuva 9). Luonnossa aktinomykettejä esiintyy maaperässä, ilmassa ja vesissä. Ne pystyvät ha-

jottamaan sellaisia orgaanisia yhdisteitä, joita muut hajottamikrobit eivät pysty käsittelemään. (Puhakka ym. 1996, 81.)

Sisäilmassa aktinomykeettejä esiintyy enemmän maaseudulla kuin kaupunkiympäristössä. Aktinomykeettien esiintyminen sisäilmassa voi viitata kosteusvaurioon rakennuksessa, varsinkin talviaikaan. Aktinomykeettejä on todettu päätyneen sisäilmaan myös huonosti puhdistetuista ilmastokostuttimista. (Puhakka ym. 1996, 81.) Aktinomykeetit aiheuttavat ilmaan voimakkaan, perunakellarimaisen tai multamaisen hajun (Pönkä 2006, 111). Aktinomykeettien aiheuttamat terveyshaitat liittyvät niiden kykyyn tuottaa toksineja. Lisäksi aktinomykeettien itiökoko on niin pieni, että ne voivat aiheuttaa alveoliittia. Aktinomykeetit voivat myös allergisoida niille altistuneen henkilön. (Putus 2012.)



KUVA 9. Aktinomykeettien (3kpl kuvan keskellä) ulkonäkö poikkeaa muista bakteeripesäkkeistä. (Bergman 2011)

4.3.5 Virukset

Virukset ovat RNA:ta tai DNA:ta sisältäviä partikkeleita, jotka tarvitsevat eläkkeen isäntäsolun. Virukset eivät siis kasva bakteeri- ja sieniviljelyyn käytetyillä elatusalustoilla. Virukset loisivat soluissa vapauttamalla geneettisen materiaalinsa isäntäsolun sisään, jossa materiaali monistuu, ja muodostuu uusia viruspartikkeleita. Kun isäntäsolu tuhoutuu, valmiit viruspartikkelit vapautuvat ympäristöön. Virukset aiheuttavat

usein sairauksia eliöissä. Virukset jaetaan yleensä bakteeriviruksiin, eläinviruksiin ja kasvivirusiin. (Tirri ym. 2001, 772.)

Sisäilmassa voi esiintyä viruksia, jotka ovat bakteerien lailla peräisin ihmisestä. Virukset eivät pysty elämään kauaa huoneilmassa, eivätkä ne lisäänty isäntäsolun ulkopuolella. (Seppänen & Seppänen 1996, 33; Kontturi 1996, 26.) Virusten esiintymisestä rakennusten kosteusvaurioiden yhteydessä on vähän tietoa, mutta on arvioitu, että korkea ilmankosteus pitkittää virusten selviytymistä sisäilmassa. Tällöin myös riski altistua sisäilmassa oleville viruksille kasvaa. (Douwes 2009, 18.) Joidenkin virusten aiheuttamien tautien tiedetään voivan tarttua ihmisestä toiseen ilmassa leijuvien virusten kautta. Tällaisia tauteja ovat muun muassa influenssa ja vesirokko. Yleensä virukset leviävät ilmassa liittyneinä itseään suurempiin aerosolihiukkasiin, kuten aivastuksessa ilmaan pääseviin vesipisaroihin. (Hiukkastieto 2010c.)

4.4 Epäpuhtauksien kulkeutuminen ilmassa

Huoneilman pöly sisältää mm. savi- ja hiekkahiukkasia, nokea, siitepölyjä, sieniitiöitä, bakteereja, viruksia, tekstiilikuituja, hilsehiukkasia ja paperipölyä. Joskus sisäilmassa esiintyy myös mineraalivilla- ja asbestikuituja. (Puhakka & Kärkkäinen 1996, 17.) Ilmassa olevien epäpuhtauksien koko vaikuttaa siihen, miten ne käyttäytyvät ilmassa, hengityselimissä ja ilmanpuhdistuslaitteissa (Seppänen 1996, 259).

Ilmassa esiintyvät hiukkaset liikkuvat pääasiassa ilmavirtausten mukana. Hiukkasen kyky seurata ilmavirtausta riippuu sen inertiaasta, eli massan hitaudesta niin, että mitä pienempi hiukkanen, sitä herkemmin se reagoi ilmavirtauksen muutoksiin. Ilmassa oleviin hiukkasiin kohdistuu aina alaspäin suuntautuva painovoima. Hiukkasen liikkessa ilmavirtausta vastaan, siihen kohdistuu lisäksi ilmanvastusvoima (drag force), joka jarruttaa hiukkasen liikettä. Hiukkaseen vaikuttavien voimien ollessa tasapainossa, hiukkasen laskeutumisenopeus on vakio, jolloin puhutaan asettumisnopeudesta. Koska aerosolihiukkaset ovat massaansa nähden pieniä, ne saavuttavat hetkessä asettumisnopeuden, joka riippuu vahvasti hiukkasen halkaisijasta: 100 μm :n kokoinen hiukkanen putoaa keskimäärin nopeudella 25 cm/s, 10 μm :n kokoinen nopeudella 3 mm/s ja 1 μm :n kokoinen hiukkanen enää nopeudella 0,03 mm/s. (Hiukkastieto 2010a.) Alle 0,1 μm :n hiukkaset käyttäytyvät kuten kaasumolekyylit, niillä ei ole mitattavaa laskeutumisenopeutta. Käytännössä 0,1 - 1 μm kokoisten partikkeleiden laskeutumisenopeus on jo niin pieni, ettei sillä ole merkitystä. 1 - 10 μm :n kokoisten

hiukkasten laskeutumisnopeudella on vielä merkitystä, mutta nekin liikkuvat pääasiassa ilmanvirtausten mukana. (Seppänen 1996, 259.)

Ilmassa olevia alle 10 µm:n hiukkasia kutsutaan hengitettäviksi hiukkasiksi. Pääosaa tätä suuremmista hiukkasista ei päädy ihmisen hengityselimistöön. (Hiukkastieto 2010b.) Ilmakehän pölyssä olevista hiukkasista 99 % on alle 1 µm:n kokoisia. Siitepölyhiukkaset ovat tähän nähden suuria, sillä ne ovat kokoluokaltaan 10 - 100 µm. Mikrobit ovat siitepölyhiukkasia huomattavasti pienempiä. Sieni-itiöt ovat kooltaan 0,5 - 10 µm, bakteerit 0,4 - 5 µm ja virukset vain 0,005 - 0,1 µm. Bakteerit ja virukset kiinnittyvät yleensä muihin hiukkasiin ja muodostavat suurempia ryhmiä. (Seppänen 1996, 259.) Joka tapauksessa mikrobit ovat kooltaan niin pieniä, että ne kulkevat ilmanvirtausten mukana ja pysyvät ilmassa pitkiä aikoja. (Seppänen 1996, 259; Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö 2009, 148.) Sisätiloissa homeitiöt voivat kulkeutua rakennuksissa kerrosten välillä (Reiman 1998, 43). Ilmalämpöpumpuissa käytettävien suodattimien pitäisi poistaa ilmasta pienimpiäkin hiukkasia, eli homeitiöitä, bakteereja ja jopa viruksia. (Perälä 2009, 59).

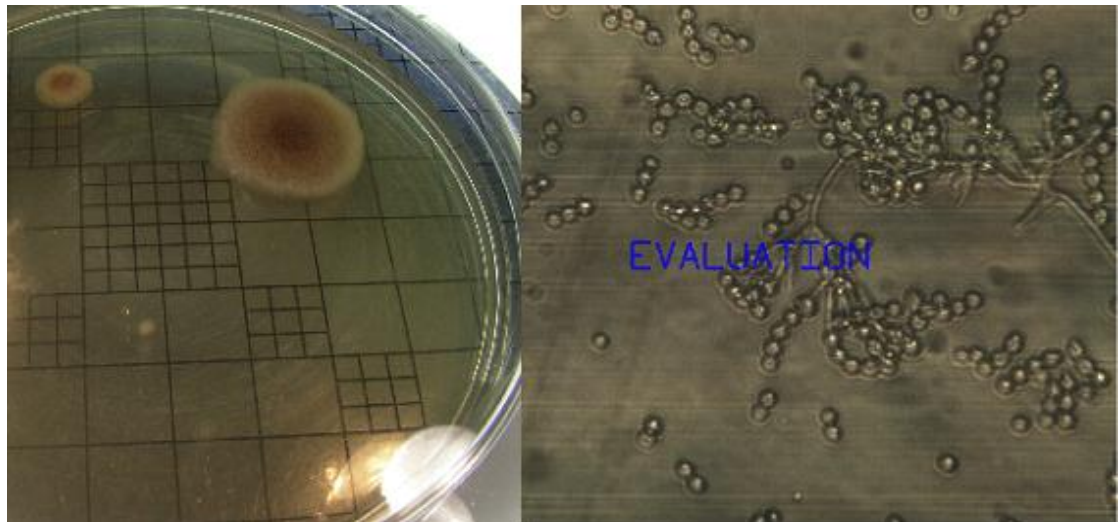
5 MIKROBIEN TUNNISTAMINEN

Perinteinen tapa tutkia mikrobeja, on niiden viljelyyn perustuvat menetelmät. Viljeltävät mikrobit voidaan kerätä elatusalustalle suoraan näytteenottokohteesta, esimerkiksi ilmasta, tai siirrostaa kerätystä näytteestä myöhemmin laboratorio- olosuhteissa. Kaikki ympäristössä esiintyvät mikrobit eivät välttämättä kasva tutkimuksessa käytetyillä elatusalustoilla. Erään arvion mukaan viljelyyn perustuvilla tekniikoilla saadaan esiin vain 1 - 10 % mikrobisoluista (Putus 2010,12.) Rakennuksessa olevan mikrobikasvun toteamiseksi ei ole tarkoituksenmukaistakaan onnistua kasvattamaan ja tunnistamaan kaikkia mikrobeja, vaan yleensä keskitytään kosteusvaurioindikaattorien etsimiseen. Kaikkien mikrobien tunnistaminen olisikin lähes mahdotonta, sillä erilaisia sienilajeja on kymmeniätuhansia, joista tunnettuja homeita ja hiivoja on tuhansia. Alan asiantuntijatkaan tunnistavat harvoin enemmän kuin joitain kymmeniä lajeja. (Seuri & Reiman 1996, 29.)

Viljeltyjen homeiden tunnistaminen perustuu pesäkkeiden makroskooppisten ja mikroskooppisten rakenteiden tarkasteluun (kuva 10). Makroskooppisessa tarkastelussa

tutkitaan mm. pesäkkeen rakennetta, väriä ja pinnan laatua. Tunnistamisessa huomoidaan käytetyn elatusaineen ja viljelmän iän vaikutus pesäkkeen ulkonäköön. Mikrokooppisista rakenteista tarkastellaan lähinnä itiöiden muodostumistapaa. Itiöt voivat muodostua joko suoraan sienirihmastosta, esimerkiksi silmikoitumalla, tai erikoistuneista sienirihmaston osista, itiönkannattimista (konidiofori). Itiöiden koko, muoto ja mahdolliset väliseinät ovat myös tarkastelun kohteena. Joillekin lajeille on tyypillistä itiöiden esiintyminen ketjuissa. Sisäilmassa esiintyy myös ns. steriilejä homeita, jotka eivät tuota itiöitä. Tämä piirre vaikeuttaa kyseisten homeiden tunnistamista, tehden sen jopa mahdottomaksi. Homeita mikroskopoitaessa tulee kiinnittää huomiota myös rihmaston paksuuteen, väriin ja mahdollisiin ritsoideihin, eli ”valejuuriin”. (Kontturi 1996, 6 - 11; Barnett ym. 1972; Samson 1988.)

Mikrobeja voidaan tunnistaa viljelyyn perustuvien menetelmien lisäksi PCR-menetelmällä. PCR-menetelmä hyödyntää homeille, bakteereille ja sädesienille ominaisia DNA-jaksoja, joiden avulla ne pystytään tunnistamaan. PCR-menetelmän etu viljelymenetelmiin nähden on se, että sillä voidaan tunnistaa myös kuolleet itiöt. PCR on myös viljelymenetelmiä nopeampi tapa tunnistaa mikrobit. (Ositum Oy 2012b.) PCR- menetelmän käyttöön liittyy kuitenkin vielä monia kehitystarpeita (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 174).



KUVA 10. Kaksi *Scopulariopsis*- pesäkettä 2%- mallasuuteagarilla ja valomikroskoopilla otettu kuva pesäkkeen mikrokooppisista rakenteista. (Bergman 2011)

6 TUTKIMUSVÄLINEET JA -MENETELMÄT

6.1 Yleistä tutkimusmenetelmistä

Ilmalämpöpumppujen hygieenisyyttä selvitettiin sisäyksiköiden ilmanotto- ja ulospuhallusaukoilta otetuilla pintahygienianäytteillä. Näytteistä tutkittiin bakteerit ja sienet. Näytteenottopinnoiksi valittiin ilmanotto- ja ulospuhallusaukot, sillä näytteenotoilla haluttiin selvittää muuttuuko ilman mikrobipitoisuus tai -lajisto ilman virratessa sisäyksikön läpi. Ilman mikrobipitoisuudessa tai lajistossa tapahtuvan muutoksen pitäisi ilmetä ulospuhallusaukon tuloksista.

Tutkimuskohteiden sisäilman mikrobiologisen laadun selvittämiseksi, otettiin kohteista sisäilmanäytteet. Vastaavalla tavalla kerättyjä ulkoilmanäytteitä otettiin tutkimusjakson aikana useita, jotta saatiin selville mitkä sisäilman epäpuhtaudet ovat mahdollisesti peräisin ulkoilmasta.

6.2 Kysely ilmalämpöpumppujen käyttäjille

Tutkimuskohteina olleisiin yksityisasuntoihin ja liikehuoneistoon lähetettiin ennen näytteenottoja kysely (liite 1), jolla kartoitettiin mm. laitteen/laitteiden merkki ja malli, tiedot asennuksesta, pääasiallinen käyttötarkoitus, sekä puhdistusväli. Lisäksi kysyttiin havaintoja ilmalämpöpumpun käyttömukavuudesta ja -varmuudesta, sekä millainen on koettu vaikutus sisäilman laatuun. Tutkimuskohteena olleen julkisen rakennuksen osalta taustatiedot kerättiin haastatteleamalla rakennuksen kiinteistönhoitajaa.

6.3 Sisä- ja ulkoilmanäytteet

Sisä- ja ulkoilmanäytteet otettiin Andersen- tyypisillä 6 -vaiheimpaktoreilla, eli Andersen tyypisillä keräimillä. Keräimiä oli käytössä kaksi (kuva 11). Käytetty alipainepumppu mahdollisti molempien keräinten liittämisen pumppuun samanaikaisesti, joten näytteet kerättiin yhtä aikaa sekä sieni- että bakteerimaljoille.



KUVA 11. Näytteenotossa käytetyt Andersen -tyyppiset 6 -vaiheimpaktorit ja pumppu. (Bergman 2011)

Keräin koostuu kuudesta siivilätasosta (kuva 12), jotka on numeroitu yhdestä kuuteen (1 - 6) niin, että mitä suurempi numero sitä pienemmät reiät tasossa on. Siivilätasot järjestetään torniksi niin, että malja numero yksi on ylimmäisenä ja loput tasot nousevassa järjestyksessä sen alla. Jokaisen siivilätason väliin asetetaan petrimalja, jolle on valettu haluttu elatusaine. Kun keräin kytketään alipainepumppuun, virtaa ilma keräimen sisällä tornin alaosaan kohti. Ilmassa olevat mikrobit jäävät petrimaljoille eri vaiheissa, riippuen mikrobien hiukkaskoosta. Keräimen toiminta jäljittelee ihmisen hengitysteitä, joissa yhtä lailla pienimmät ilman epäpuhtaudet pääsevät syvimmälle hengityselimissä. (Andersen 1958.)



KUVA 12. Andersen- tyyppisen 6 -vaiheimpaktorin siivilätasoja. (Kuva Bergman 2011)

Näytteenotossa käytettiin Asumisterveysoppaan ohjetta sisäilmanäytteenottoon. Keräimen osat puhdistettiin 70 %:lla etanolilla ennen jokaista näytteenottoa. Keräimeen liitettävän pumpun tilavuusvirraksi säädettiin 28,3 l/min. Näytteenottopaikka valittiin mahdollisuuksien mukaan sellaiseksi, ettei lähellä ollut näytteenottoa häiritseviä tekijöitä (esim. ruukkukasveja). Näyte otettiin kaikissa kohteissa 1,2 – 1,5m korkeudelta. Asumisterveysoppaan ohjeen mukaan näytteenottotilassa tulisi välttää näytteen laatua häiritseviä toimintoja, sekä näytteenoton aikana että paria tuntia aikaisemmin. Näytettä häiritseviä toimintoja ovat mm. imurointi, ruoanvalmistus ja tulisijan käyttö, jotka aiheuttavat ilmaan epäpuhtauksia. Lisäksi keräimen välittömässä läheisyydessä oleskelua tulisi välttää näytteenoton aikana. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 159.) Osassa kohteissa näytteenoton aikaisiin toimintoihin ei voitu vaikuttaa, joten mahdolliset näytteen laatuun vaikuttaneet tekijät on mainittu tulosten yhteydessä. Näytteenoton aikainen huonetilan lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus mitattiin Vaisalan HM34C-mallisella kannettavalla lämpötila- ja kosteusmittarilla.

Sisäilmanäytteet inkuboitiin Asumisterveysoppaan ohjeen mukaisesti $+25 \pm 3^{\circ}\text{C}$:ssa 7 vrk. THG -agareita inkuboitiin yhteensä 14 vrk mahdollisten aktinomykeettien vuoksi (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 165).

6.3.1 Elatusalustat

Elatusalustoina käytettiin tryptoni-hiivauute-glukoosiagarua (THG) bakteereille, ja 2% mallasuuteagarua homeille ja hiivoille. Elatusalustat valmistettiin Mamk:n ympäristölaboratoriossa. Agarien koostumukset on esitetty alla.

Plate Count Agar (THG) (valmistaja LAB M Ltd.)

5,0 g tryptonia
2,5g hiivauutetta
1,0g glukoosia
15,0g agaria
1000ml deionisoitua vettä
0,2g natamysiiniä

2% MALT (2 % mallasuuteagar) (valmistaja LAB M Ltd.)

20g mallasuutetta
15 agaria
1000ml deionisoitua vettä
100mg kloramfenikolia

6.4 Pintahygienianäytteet

Pintahygienianäytteet otettiin ilmalämpöpumppujen sisäyksiköiden ilmanotto- ja ulospuhallusaukoilta. Ilmanottoaukkojen näytteet otettiin aukkoa suojaavan muovisen ritiliikön pinnoilta. Ulospuhallusaukoilta näytteet otettiin ilmanohjaimen siltä pinnalta, joka kääntyy osoittamaan sisäyksikön sisään laitteen ollessa pois käytöstä. Näytteet otettiin sivelymenetelmällä pinta- alaltaan 50 cm^2 :n kokoiselta alueelta. Näytteenottopintojen muoto, sekä hankala sijainti, estivät sapluunan käytön näytteenottopinnan

rajaamisessa. Näytteenottopinnan määrittämisessä käytettiin työntömittaa, jonka sai asetettua myös ilmanottoaukkojen ritilöiden kapeisiin väleihin.

Näyte otettiin sivelemällä näytteenottopinta laimennusliuoksessa (5ml) kostutetulla steriilillä pumpulipuikolla kolmeen kertaan. Näytteiden viljely tehtiin laboratoriossa joko samana päivänä, tai viimeistään seuraavana päivänä. Mikäli viljely tehtiin vasta näytteenotosta seuraavana päivänä, säilytettiin näytteitä jääkaappilämpötilassa yön yli. Jokaisesta näytteestä tehtiin laboratoriossa laimennossarjat 10^{-2} , 10^{-3} ja 10^{-4} . Laimennossarja 10^{-1} on alkuperäinen laimennusliuos, joka siis viljeltiin myös. Laimennossarjat viljeltiin THG- ja 2% mallasuuteagareille pintaviljelytekniikalla. Kaikki näytteiden kanssa kosketuksissa olleet työvälineet oli autoklavoitu kontaminaation estämiseksi. Näytteitä inkuboitiiin Asumisterveysoppaan ohjeen mukaan $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$:ssa 7 vrk. THG-agareita inkuboitiiin yhteensä 14 vrk mahdollisten aktinomykeettien vuoksi. Pintahygienianäytteiden viljelemisessä käytettyjä työvälineitä on kuvassa 13.



KUVA 13. Pintahygienianäytteiden viljelemisessä käytettyjä työvälineitä. (Bergman 2011)

Kuvassa 14 on kattomallinen ilmalämpöpumppu, joka oli yksi tutkimuskohteista. Kuvassa laitteen oikealla reunalla oleva tiheä ritilikkö on ilmanottoaukon suojana. Vasemmalla reunalla näkyy ulospuhallusaukko, jonka ilmapirranohjaimet ovat kuvassa

auki -asennossa. Näytteenotto laipioon kiinnitetystä laitteesta oli haastavaa, etenkin kun näytteenottopinnat olivat ilmanottoaukoilla erittäin kapeat.



KUVA 14. Tutkimuskohteena ollut kattomallinen ilmalämpöpumppu. (Bergman 2011)

6.4.1 Elatusalustat ja laimennusliuos

Pintahygienianäytteille käytettiin samoja elatusalustoja kuin sisäilmanäytteille, eli tryptoni-hiivauute-glukoosiagarria (THG) bakteereille, ja 2% mallasuuteagarria homeille ja hiivoille.

Pintahygienianäytteenotossa laimennusliuksena käytettiin LAB M Ltd.:n Maximum Recovery Diluent:ia, jonka koostumus on esitetty alla. Laimennusliuos valmistettiin ja annosteltiin koeputkiin Mamk:n ympäristölaboratoriossa.

Maximum Recovery Diluent (valmistaja LAB M Ltd.)

peptonia 1g

natriumkloridia 8,5g

1000ml deionisoitua vettä

6.5 Vertailunäytteet

Vertailunäytteitä otettiin kahdesta tilasta, jotka sijaitsevat samassa julkisessa rakennuksessa kuin Tilat 1 - 11. Vertailunäytetilat ovat Tila 12 ja Tila 13. Näytteet otettiin sisäilmasta, samoin kuin varsinaisissa tutkimuskohteissa, jonka lisäksi otettiin pintahygienianäyte yhdeltä pinnalta kummastakin vertailunäytetilasta. Pintahygienianäytteet otettiin sisätiloja erottavien seinien ikkunoiden alakarmeilta.

Vertailunäytetiloissa ei ole ilmalämpöpumppuja. Tilat vastaavat käyttötarkoitukseltaan useimpia samassa rakennuksessa sijaitsevia varsinaisia tutkimuskohteita, eli tilan käytöstä sisäilmaan aiheutuva kuormitus on samankaltainen. Vertailunäytteet otettiin, jotta saataisiin kuva rakennuksen sisäilman mikrobiologisesta laadusta sellaisissa tiloissa, joissa ei ole ilmalämpöpumppua.

7 KOHTEIDEN PERUSTIEDOT

Kaikki tutkimuskohteet sijaitsivat kaupunkiympäristössä, Mikkelin kaupungin taajama-alueella. Tutkimuskohteina olleista ilmalämpöpumpuista neljä sijaitsi yksityisasunnoissa, kaksi liikehuoneiston myymälätalassa ja 13 ilmalämpöpumppua julkisen rakennuksen tiloissa.

Julkisen rakennuksen tiloissa sijaitsevien ilmalämpöpumppujen merkit ja mallit on esitetty taulukossa 3. Julkisen rakennuksen ilmalämpöpumput sijaitsivat hygieenisiltä vaatimuksiltaan erilaisissa tiloissa. Myös sisäilmaan kohdistuva mikrobiologinen kuormitus oli erilainen rakennuksen eri osissa. Taulukossa 3 on maininta, mikäli tiloihin liittyi erityisiä vaatimuksia hygieenisyydestä, tai muita erityispiirteitä. Julkisen rakennuksen ilmalämpöpumpuista ei ollut saatavilla tarkkoja tietoja asennusajankohdasta ja laitteiden suodatinominaisuuksista, joten niiden osalta taustatiedot ovat puutteelliset. Näytteenottojen yhteydessä sisäyksiköissä ei havaittu muita kuin karkeasuodattimet.

Julkisen rakennuksen ilmalämpöpumppujen sisäyksiköt oli puhdistettu edellisen kerran noin puoli vuotta ennen näytteenottoja, lukuun ottamatta tilojen 10 A, B ja C laitteita, jotka oli puhdistettu 15.9.2011. Kohteen ilmalämpöpumppujen puhdistusväli on

normaalisti n. 3kk. Puhdistuksessa sisäyksikkö imuroidaan hepa -suodattimella varustetulla imurilla, jossa käytetään ilmalämpöpumppujen puhdistukseen soveltuvaa suulaketta. Karkeasuodattimet imuroidaan ja pestään, jonka jälkeen ne kuivataan huolellisesti. Julkisen rakennuksen ilmalämpöpumppuja käytetään pääsääntöisesti vain tilojen viilennykseen. Osa laitteista oli ollut käytössä syksyn 2011 aikana, osaa oli käytetty viimeksi kesällä.

TAULUKKO 3. Julkisen rakennuksen tiloissa sijaitsevat ilmalämpöpumput.

Tilan numero	Ilmalämpöpumpun merkki ja malli
Tila 1	Mitsui MXI18C15C
Tila 2	Technibel (ei mallitietoja)
Tila 3	Fujitsu ABY24ASA-W
Tila 4	Fujitsu AUY36ASC3
Tila 5	Fujitsu ASY7ASC-W
Tila 6	McQuay MWM015F-AFAH
Tila 7	Daikin FTXS 25G2V1B
Tila 8	Mitsubishi MSZ-GE25VA
Tila 9 - tekninen tila	Daikin FTKS25CVMB
Tila 10A, B ja C - tila 10B sijaitsee tilojen 10A ja 10C välissä - tilat 10B ja 10C erittäin korkean hygienian tiloja	Daikin BRC1D528 3 kpl
Tila 11	Mitsui (ei mallitietoja)

Yksityisasuntojen ja liikehuoneiston ilmalämpöpumppujen tiedot on esitetty taulukossa 4. Taulukossa on laitteiden merkit ja mallit, asennusajankohta, asentaja (itse/ammattimainen asennus), huoltosopimus (kyllä/ei), pääasiallinen käyttömuoto, sekä maininta, mikäli laitteiden sisäyksiköissä on karkeasuodatinten lisäksi muita suodatinnominaisuuksia.

TAULUKKO 4. Yksityisasunnoissa ja liikehuoneistossa sijaitsevat ilmalämpöpumput.

Kohde	Ilmalämpöpumpun tiedot
Asunto 1	<p>Hitachi RAC35</p> <ul style="list-style-type: none"> - asennettu 1/2007, ammattimainen asennus, ei huolto sopimusta - käytetään pääasiassa lämmitykseen - puhdistus n. 1 krt/kk - ei tietoa suodattimista - laitteen mukana toimitettu huolto- ohje
<p>Asunto 2</p> <p>- laite B ei sijaitse asuinhuoneessa</p>	<p>Ultimate 10 Super Inverter (A)</p> <ul style="list-style-type: none"> - asennettu 4/2006, omatoiminen asennus, ei huoltosopimusta - käytetään pääasiassa lämmitykseen - puhdistus 3 - 4 viikon välein - hiukkassuodatin <p>Panasonic CS-W9BKP5 (B)</p> <ul style="list-style-type: none"> - asennettu 10/2002, ammattimainen asennus, ei huoltosopimusta - käytetään lämmitykseen 2 - 4 viikkoa / vuosi - puhdistus 1krt/ lämmityskausi - laitteen mukana toimitettu huolto- ohje
Asunto 3	<p>Mitsubishi SRK20ZGX-S</p> <ul style="list-style-type: none"> - asennettu 7/2008, ammattimainen asennus, ei huolto sopimusta - käytetään lämmitykseen ja jäähdytykseen - puhdistus n. 1krt/kk - allergia- ja fotokatalyyttinen suodatin - laitteen mukana toimitettu huolto-ohje
Liikehuoneisto	<p>Fujitsu ASYA122ACM (2kpl, (A)/ (B))</p> <ul style="list-style-type: none"> - asennettu 8/2010, ammattimainen asennus, huoltosopimus on - käytetään jäähdytykseen - puhdistus huollon yhteydessä

8 NÄYTTEIDEN ANALYSOINTI

8.1 Sisäilmanäytteet

Sisäilmanäytteet analysoitiin Asumisterveysoppaan ohjeen mukaisesti. 6- vaiheimpaktorilla otettujen ilmanäytteiden pesäkemäärät laskettiin, ja vaiheiden 3 - 6 pesäkemäärät korjattiin Asumisterveysoppaan liitteenä olevan muunnostaulukon mukaisesti. Muunnostaulukon käytöllä huomioidaan mahdollisuus, että samasta siivilätason reiästä on kulkenut elatusalustalle useampi kuin yksi mikrobi, mutta vain yksi pesäke on muodostunut. Sisäilman mikrobipitoisuus tilavuusyksikköä kohden laskettiin seuraavaa kaavaa käyttäen:

$$\text{mikrobipitoisuus} = \text{vaiheiden pesäkemäärien summa} / \text{ilmanäytteen tilavuus} \quad (1)$$

Ilmanäytteen tilavuus oli kaikissa näytteenotoissa sama, eli:

$$\text{ilmanäytteen tilavuus} = 10\text{min} * 28,3\text{l/min}. \quad (2)$$

Tulokset on ilmoitettu yksikössä pmy/m³ (pmy= pesäkkeen muodostava yksikkö). THG-agarille otetuista sisäilmanäytteistä laskettiin kaikkien bakteerien kokonaispitoisuus, sekä erikseen aktinomykeettien ja muiden bakteerien pitoisuudet. Mallasuuteagarilta laskettiin sieni-itiöiden (hiivat ja homeet) kokonaispitoisuus. Näytteissä esiintyneet homeet pyrittiin tunnistamaan suku- tasolle. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 165 - 166.)

Tuloksia verrattiin Asumisterveysoppaassa esitettyihin sisäilman mikrobien ohjeellisiin raja-arvoihin. Asumisterveysoppaan mukaan sisäilman sieni-itiöpitoisuuden ei talviaikana tulisi ylittää 500 pmy/m³. Pitoisuuksia 100 - 500 pmy/m³ pidetään kohonneina. Bakteerien osalta talviaikaisten pitoisuuksien ollessa yli 4500 pmy/m³, tulkitaan rakennuksen ilmanvaihto riittämättömäksi. Aktinomykeettien osalta 10 pmy/m³ ylittävien talviaikaisten pitoisuuksien katsotaan viittaavan rakennuksessa olevaan mikrobikasvustoon ja terveyshaittaan. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 171.)

Asumisterveysoppaassa painotetaan näytteessä esiintyvän lajiston merkitystä sekä sisäilma- että pintahygienianäytteiden tulosten tulkinnassa. Sisäilmassa muiden kuin

Penicillium-sienten esiintymistä valtasukuna pidetään epänormaalina. Taulukossa 5 on esitetty Asumisterveysoppaan luettelo ulko- ja sisäilmassa yleisesti esiintyvistä sienisuvuista ja -ryhmistä. Sisäilmanäytteitä analysoitaessa näytteissä esiintyviä sienisukuja on verrattava ulkoilmassa esiintyviin, sillä ulkoilma on yksi sisäilman epäpuhtauksien lähde. Lisäksi Asumisterveysoppaassa neuvotaan arvioimaan onko tutkittavassa tilassa muita mikrobilähteitä, kuten homeisia tai multaisia juureksia, tai polttopuita. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 170 - 172.)

TAULUKKO 5. Asumisterveysoppaassa esitetty taulukko ulko- ja sisäilmassa yleisesti esiintyvistä sienisuvuista ja -ryhmistä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009)

Ulkoilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä	Sisäilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä
<i>Cladosporium</i> basidiomykeetit <i>Penicillium</i> <i>Aspergillus</i> <i>Alternaria</i> hiivat steriilit (eivät tuota itiöitä käytettävillä kasvualustoilla)	<i>Penicillium</i> <i>Aspergillus</i> <i>Cladosporium</i> hiivat

Kirjallisuuslähteistä löytyy hieman toisistaan poikkeavia luetteloita kosteusvaurioon viittaavista mikrobeista, eli niin sanotuista kosteusvaurioindikaattoreista. Kosteusvaurioindikaattorit ovat mikrobeja, joiden tiedetään usein esiintyvän kosteusvaurioiden yhteydessä, mutta joita ei pitäisi esiintyä rakennuksissa, joissa ei ole poikkeavaa homekasvustoa (Seuri & Reiman 1996, 29). Taulukossa 6 on esitetty Asumisterveysoppaan luettelo kosteusvaurioon viittaavista mikrobisuvuista, -lajeista ja -ryhmistä. Tuula Putuksen Home ja terveys- kirjassa kosteusvaurion yhteydessä ilmenevistä mikrobisuvuista mainitaan myös *Rhizopus* ja *Verticillium*, joita ei mainita Asumisterveysoppaan listalla (Putus 2010,74).

Asumisterveysoppaan mukaan sisäilmanäytteissä voi esiintyä yksittäisinä pesäkkein melkein mitä tahansa homesientä, ilman että se olisi merkki kosteusvauriosta tai rakennuksessa olevasta mikrobikasvustosta. *Stachybotrys*, *Fusarium* ja *Chaetomium* mainitaan kuitenkin homesukuina, joiden yksittäistenkin itiöiden esiintyminen sisäilmassa on tavanomaisesta poikkeava löydös. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 173.)

Mikäli sisäilmassa esiintyvät homelajit poikkeavat merkittävästi ulkoilmassa esiintyvistä, tulee mikrobilähde pyrkiä selvittämään.

TAULUKKO 6. Asumisterveysoppaan luettelo kosteusvaurioon viittaavista mikrobisuvuista, -lajeista ja -ryhmistä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009)

Kosteusvaurioon viittaavia mikrobisukuja, -lajeja ja -ryhmiä	
<i>Acremonium</i>	<i>Geomyces</i>
<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Paecilomyces</i>
<i>Aspergillus ochraceus</i>	<i>Phialophora</i>
<i>Aspergillus penicillioides/ A. restrictus</i>	<i>Scopulariopsis</i>
<i>Aspergillus sydowii</i>	<i>Sporobolomyces</i>
<i>Aspergillus terreus</i>	<i>Sphaeropsidales</i>
<i>Aspergillus versicolor</i>	<i>Phoma</i>
<i>Chaetomium</i>	<i>Stachybotrys/Memnoniella</i>
<i>Eurotium</i>	<i>Trichoderma</i>
<i>Exophiala</i>	<i>Tritirachium/ Engyodontium</i>
<i>Fusarium</i>	<i>Ulocladium</i>
<i>Oidiodendron</i>	<i>Wallemia</i>
	Aktinomykeetit

8.2 Ulkoilmanäytteet

Ulkoilmanäytteiden sieni-itiö- ja kokonaisbakteeripitoisuudet laskettiin kaavaa 1 käyttäen. Ulkoilmanäytteiden kaikkia homeita ei pyritty tunnistamaan, vaan keskityttiin vertaamaan sisäilmassa esiintyneisiin sukuihin. Vertailun tarkoitus oli selvittää, mitkä sisäilmassa esiintyneet sienisuvut olivat mahdollisesti peräisin ulkoilmasta. Mikäli sisäilmassa esiintyy sukuja, joita ulkoilmassa ei esiinny lainkaan, on mahdollista että sisäilmanäytteiden itiöt ovat peräisin rakennuksessa olevasta mikrobikasvustosta

8.3 Pintahygienianäytteet

Pintahygienianäytteet analysoitiin Asumisterveysoppaan ohjeen mukaisesti. Pintahygienianäytteiden mikrobipitoisuus pinta-alayksikköä kohden laskettiin seuraavaa kaavaa käyttäen:

$$\text{mikrobipitoisuus} = (V * P) / (A * L) \quad (3)$$

V = alkuperäisen laimennosliuoksen tilavuus (5ml)

P = laskettujen pesäkkeiden summa

A = näytteenottopinta-ala

L = viljeltyjen laimennosten summa

Kaavassa käytetty viljeltyjen laimennosten summa tarkoittaa alkuperäisen näytteen määrää laimennossarjoissa. Koska laskettujen pesäkkeiden lukumäärää lukuun ottamatta tekijät kaavassa olivat jokaisen näytteenoton kohdalla samat, voidaan muuttumattomat tekijät sijoittaa kaavaan. Tällöin saadaan kaava seuraavaan muotoon:

$$\text{mikrobipitoisuus} = (5\text{ml} * P) / (50 \text{ cm}^2 * (0,1+0,01+0,001+0,0001) \text{ ml}) \quad (4)$$

P = laskettujen pesäkkeiden summa

Tulokset on ilmoitettu yksikössä pmy/ cm². THG-agarille otetuista pintahygienianäytteistä laskettiin kaikkien bakteerien kokonaispitoisuus, sekä tarvittaessa erikseen aktinomykeettien ja muiden bakteerien pitoisuudet. Mallasuuteagarilta laskettiin sienitiöiden (hiivat ja homeet) kokonaispitoisuus. Näytteissä esiintyneet homeet pyrittiin tunnistamaan suku- tasolle. (Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus 2009, 161 - 165.)

Pintahygienianäytteiden analysoinnissa pääpaino oli ilmalämpöpumpun ilmanotto- ja ulospuhallusaukkojen mikrobipitoisuuksien ja -lajiston keskinäisessä vertailussa. Pintahygienianäytteiden tuloksia verrattiin kuitenkin myös Asumisterveysoppaassa esitettyihin ohjeellisiin raja- arvoihin. Asumisterveysoppaan mukaan pintahygienianäytteiden tuloksin tulee aina perustua epäillyltä vauriopinnalta ja vertailupinnalta otettujen näytteiden tuloksien vertailuun. Jos epäillyn vauriopinnan sienitiöpitoisuus on yli 1000 pmy/cm², ja vähintään 100 kertaa suurempi kuin vertailupinnan vastaava pitoisuus, voidaan varsinaisessa näytteessä katsoa esiintyvän sienikasvustoa. Kuivien, vauriottomien pintojen sienitiöpitoisuudet ovat yleensä alle 10 pmy/cm². Aktinomykeettien osalta katsotaan, että epäillyssä vauriokohdassa on aktinomykeetikasvustoa, mikäli pitoisuus ylittää vertailupinnan arvon vähintään 10-kertaisesti. Asumisterveysoppaassa ei anneta raja- arvoa pintahygienianäytteiden kokonaisbakteereille. (Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus 2009, 166 - 167)

Pintahygienianäytteen mikrobipitoisuus voi olla pieni esimerkiksi osittain kuivuneen kosteusvaurion yhteydessä, jossa poikkeava lajisto voi paljastaa vaurion. Näin ollen myös pintahygienianäytteiden kohdalla on merkitystä sillä, mitä mikrobeja näytteessä esiintyy. Rakennusten pintahygienianäytteissä esiintyy tavallisimmin *Penicillium*-, *Aspergillus*-, ja *Cladosporium*-sienisukuja, sekä hiivoja. Samat sienet ovat yleisimpiä myös sisäilma- ja materiaalinäytteissä. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 166 - 167, 172)

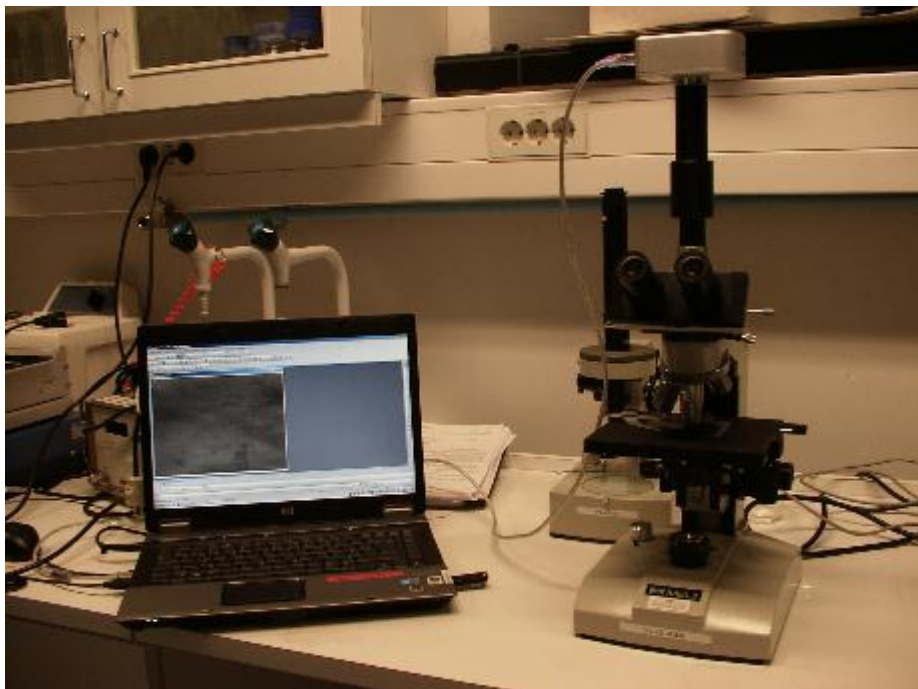
8.4 Mikrobien tunnistaminen

8.4.1 Homesienet

Homeiden tunnistaminen perustui pesäkkeiden ulkonäön tarkasteluun suoraan maljoilta, sekä mikroskooppisten rakenteiden tutkimiseen. Koska kasvatusmaljoilla kasvoi lähes aina useita homesukuja, tehtiin tarkempaan tarkasteluun valituista pesäkkeistä puhtasviljelmät. Puhtasviljelmillä saatiin maljalla kasvamaan vain yhtä, haluttua homeetta, jolloin sekä makroskooppisten että mikroskooppisten rakenteiden tutkiminen oli helpompaa ja luotettavampaa.. Puhtasviljelmät tehtiin mallasuuteagarille, käyttäen siirrostamiseen steriiliä pumpulipuikkoa. Puhtasviljelmät kasvatettiin samoin kuin alkuperäiset näytteet.

Mikroskopoinnissa käytettiin pääosin teippipreparaatteja. Näyte otettiin painamalla kirkasta teippiä suoraan tarkasteltavan pesäkkeen pintaan, jonka jälkeen teippi asetettiin objektilasille. Näyte värjättiin tarvittaessa Cotton blue -liuoksella. Mikroskopoinnissa käytettiin myös tavanomaisia mikroskooppipreparaatteja, jotka valmistettiin ottamalla pesäkkeestä näyte silmukkasauvalla ja siirtämällä se (Cotton blue-) väriliuoksen päälle objektilasille. Mikäli preparaatissa oli paljon itiöitä, lisättiin näytteen päälle tippa etanolia, jolla itiöt saatiin siirtymään näytteen reunoille. Lopuksi näytteen päälle asetettiin peitinlasi.

Homesienipreparaatteja tarkasteltiin pääasiassa 40- ja 50-kertaisilla suurennoksilla. Preparaatit kuvattiin myöhempää tarkastelua varten. Kuvassa 15 on tutkimuksessa homeiden mikroskopointiin ja kuvaamiseen käytettyä välineistöä.

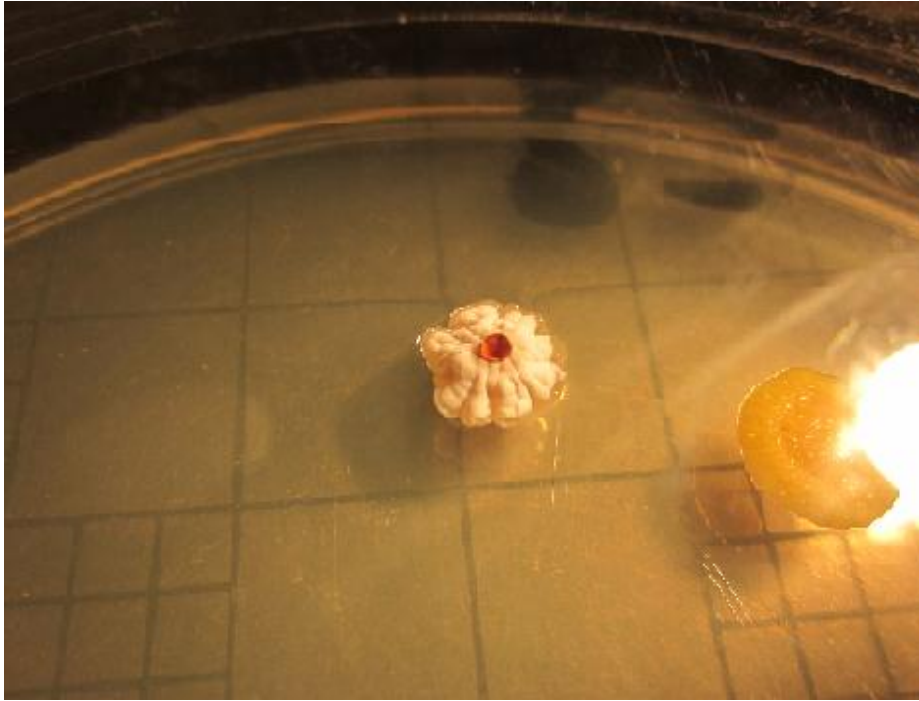


KUVA 15. Tutkimuksessa homeiden mikroskopointiin ja kuvaamiseen käytettyä välineistöä. (Bergman 2011)

Homeiden tunnistamisessa käytettiin apuna Mikkelin ammattikorkeakoulussa 1.4.2005 järjestetyn homeiden tunnistuskurssin kurssimateriaalia. Kurssin materiaalin olivat koonneet lehtorit Maritta Jokela ja Tuula Kettunen. Homeiden tunnistamisessa auttoi Mikkelin kaupungin terveysturvallisuuden johtaja Arja Holopainen. Homeiden tunnistamisessa käytettiin myös lukuisia internet-lähteitä, jotka on merkitty lähdeluetteloon.

8.4.2 Aktinomykeetit

Bakteerimaljoilla kasvavat aktinomykeetit erottuvat muista bakteeripesäkkeistä sekä ulkonäkönsä, että erittämänsä voimakkaan, maakellarimaisen hajun vuoksi (Sosiaali- ja terveysministeriö 2009, 162). Mikkelin kaupungin terveysturvallisuuden johtaja Arja Holopainen auttoi aktinomykeettien tunnistamisessa, joten pesäkkeiden mikroskooppista tarkastelua ei tarvittu. Aktinomykeettejä ei pyritty tunnistamaan suku- tai lajitasolle.



KUVA 16. Aktinomykeettipesäke THG- agarilla (pesäke kuvan keskellä). (Bergman 2011)

9 TULOKSET

9.1 Sääolot

Kaikki näytteet otettiin 27.10 - 17.11.2011 välisenä aikana. Taulukossa 7 on esitetty sisä- ja ulkoilmanäytteiden näytteenottopäivät ja näytteenoton aikaan vallinneet sääolot. Taulukossa ilmoitetut lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus on mitattu näytteenoton yhteydessä. Yöaikaiset lämpötilat on saatu Ilmatieteenlaitoksen verkkopalvelusta, jonne tiedot on toimitettu Mikkelin lentoaseman havaintoasemalta (Ilmatieteenlaitos).

TAULUKKO 7. Ilmanäytteiden ajankohdat ja näytteenoton aikaan vallinneet sääolot. (Ilmatieteenlaitos)

Päivämäärä	Näytteenotto	Sääolot	Muuta huomioitavaa
27.10.2011	Ulkoilma Tila 6 Tila 3 Tila 4 Tila 5	+5,3 °C, RH 77,9%	Edeltävänä yönä matalin mitattu lämpötila -1°C
28.10.2011	Ulkoilma Tila 1 Tila 7	+6 °C RH 65%	
1.11.2012	Ulkoilma Tila 8 Tila 2 Tila 10 A,B,C	+ 8,6 °C, RH 74%	Edeltävänä yönä matalin mitattu lämpötila +6°C
2.11.2011	Ulkoilma Liikehuoneisto Asunto 2 Asunto 3	+10,8 °C, RH 79,6%	Edeltävänä yönä matalin mitattu lämpötila +10°C
3.11.2011	Ulkoilma Asunto 1 Tila 9	+9,4 °C, RH 74%	Edeltävänä yönä matalin mitattu lämpötila +5°C
4.11.2011	Tila 11		
17.11.2011	Tila 12 Tila 13		

9.2 Sisäilman mikrobipitoisuudet

Sisäilmanäytteistä määritetyt kokonaisbakteeri-, aktinomykeetti- ja sieni-itiöpitoisuudet on esitetty taulukossa 8. Kokonaisbakteeripitoisuuteen sisältyy aktinomykeettien pitoisuus, joka on ilmoitettu myös erikseen. Sieni-itiöpitoisuus sisältää sekä homeiden että hiivojen pitoisuudet. Sisäilmanäytteiden mikrobipitoisuudet virhe-rajoihin on esitetty graafisesti kuvassa 17.

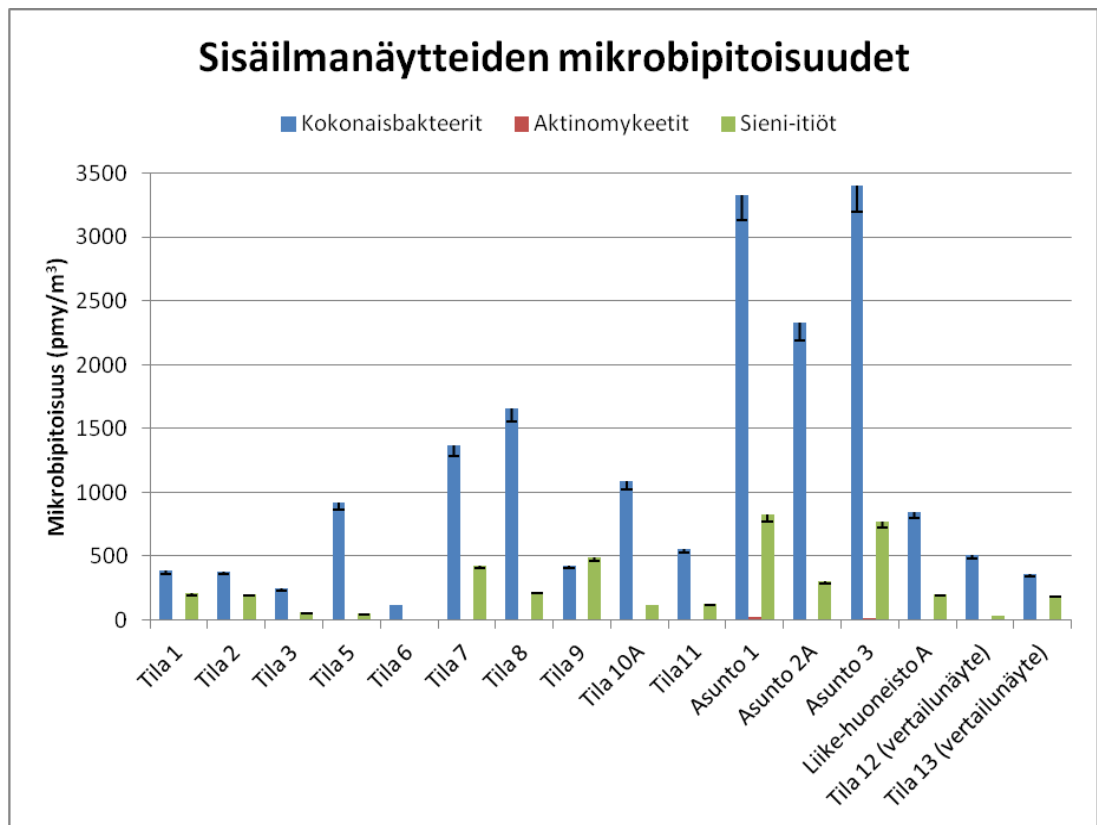
Tiloista 4, 10B ja 10C ei otettu erillistä sisäilmanäytettä, koska näytteenotto olisi häirinyt tiloissa tapahtuvaa toimintaa liiaksi. Tilat 3 ja 4 ovat samassa huonetilassa, joten Tilasta 3 otetun sisäilmanäytteen voidaan olettaa kuvaavan myös Tilan 4 sisäilman mikrobiologista laatua.

TAULUKKO 8. Sisäilmanäytteiden mikrobipitoisuudet.

Kohde	Sisäilma		
	Kokonaisbakteerit (pmy/m ³)	Aktino-bakteerit (pmy/m ³)	Sieni-itiöt (pmy/m ³)
Tila 1	385	0	208
Tila 2	378	0	205
Tila 3	247	0	57
Tila 4	*	*	*
Tila 5	919	0	49
Tila 6	120	0	7
Tila 7	1371	0	428
Tila 8	1657	0	223
Tila 9	428	0	495
Tila 10A	1085	0	120
Tila 10B	*	*	*
Tila 10C	*	*	*
Tila11	558	7	124
Asunto 1	3332	25	823
Asunto 2A	2329	0	300
Asunto 2B	*	*	*
Asunto 3	3403	11	767
Liike-huoneisto A	848	0	205
Liike-huoneisto B	*	*	*
Keskimäärin	1121	-	265
Vertailu- näytteet	Sisäilma		
	Kokonaisbakteerit (pmy/m ³)	Aktino-bakteerit (pmy/m ³)	Sieni-itiöt (pmy/m ³)
Tila 12	509	0	32
Tila 13	360	0	191

*) Ei erillistä sisäilmanäytettä

Taulukossa 8 esitetyistä tuloksista on lihavoitu Asumisterveysoppaan raja-arvot ylittävät pitoisuudet. Asumisterveysoppaan mukainen talviaikainen raja-arvo sieni-itiöpitoisuuksille on 500 pmy/m³, bakteerien kokonaisbakteeripitoisuudelle 4500 pmy/m³, ja aktinomykeeteille 10 pmy/m³.



KUVA 17. Sisäilmanäytteiden mikrobipitoisuudet.

Tässä tutkimuksessa otettujen sisäilmanäytteiden tulkinta ei voi täysin perustua Asumisterveysoppaassa talviaikaisille pitoisuuksille annettuihin raja-arvoihin, sillä näytteenoton aikaan maa oli lumeton, eikä varsinaisia pakkasjaksoja ollut vielä ollut. Sulan maan aikaan ulkoilmaan nousee maaperästä ja muista lähteistä mikrobeja, jotka havaitaan kohonneina pitoisuuksina myös sisäilmassa. Kuitenkin, kun verrataan tutkimuksessa todettuja sisäilman mikrobipitoisuuksia ulkoilman pitoisuuksiin, havaitaan että bakteerien osalta ulkoilma oli puhtaampaa. Ulkoilman kokonaisbakteeripitoisuudet vaihtelivat välillä 39 - 339 pmy/m³, keskiarvon ollessa 128 pmy/m³. Sisäilman kokonaisbakteeripitoisuudet sen sijaan vaihtelivat välillä 120 - 3403, keskiarvon ollessa 1121 pmy/m³. Sisäilmassa esiintyi siis huomattavasti enemmän bakteereja kuin ulkoilmassa. Vertailun perusteella voidaan todeta, että sisäilman bakteeripitoisuudet eivät selity ulkoilman vaikutuksella, vaan bakteerit ovat pääosin peräisin rakennuksen sisällä olevista lähteistä. Sisäilman kokonaisbakteeripitoisuus ei kuitenkaan ylittänyt Asumisterveysoppaan raja-arvoa missään tutkimuskohteessa.

Aktinomykettejä ei ulkoilmassa esiintynyt yhdessäkään näytteessä, kun taas sisäilmassa niitä oli kolmessa näytteessä. Näistä näytteistä Asunnon 1 ja Asunnon 3 sisäil-

man aktinomykeettipitoisuus ylitti Asumisterveysoppaan mukaisen raja- arvon. Samoista kohteissa mitattiin korkeimmat sisäilman kokonaisbakteeripitoisuudet.

Sieni-itiöiden kohdalla tilanne oli päinvastainen kuin bakteerien kohdalla, sillä ulkoilman pitoisuudet olivat huomattavasti sisäilman pitoisuuksia korkeampia. Sisäilman sieni- itiöpitoisuudet olivat keskimäärin 265 pmy/m³, vaihteluvälin ollessa 7 -823 pmy/m³. Ulkoilman vastaavat arvot olivat 1291 pmy/m³ ja 724 - 2159 pmy/m³. Sieni-itiöpitoisuus ylitti Asumisterveysoppaan mukaiset raja-arvot kahdessa yksityisasunnossa, Asunnossa 1 ja Asunnossa 3. On selvää että ulkoilman runsas sieni-itiöpitoisuus nostaa pitoisuuksia myös sisäilmassa, joten sulan maan aikaisiin koholla oleviin pitoisuuksiin tulee suhtautua maltillisesti. On kuitenkin huomioitava, että sisäilman sieni- itiöpitoisuus oli koholla samoissa asunnoissa, joissa myös aktinomykeettien pitoisuus ylitti raja-arvon, ja joissa mitattiin suurimmat kokonaisbakteeripitoisuudet.

Pitoisuuksien lisäksi täytyy tarkastella myös sisäilmanäytteissä esiintyneitä sienisukuja. Sisäilma- ja pintahygienianäytteiden lajitarkastelu on esitetty taulukossa 10. Kaikki tulokset on koottu samaan taulukkoon sisäilma- ja pintahygienianäytteiden lajistojen vertailun helpottamiseksi. Yleisimmät suvut sisäilmanäytteissä olivat *Penicillium*, *Cladosporium* ja steriilit sienet. Samat sienet olivat yleisimpiä myös ulkoilmanäytteissä, ja löytyvät Asumisterveysoppaan sisäilman yleisimpien sienten listalta. Kolmessa sisäilmanäytteessä esiintyi kuitenkin sienisukuja, joita ei esiintynyt yhdessäkään ulkoilmanäytteessä. Asunnon 3 ja Tilan 10 sisäilmanäytteissä oli *Rhizopus*-suvun homeetta, ja Asunnon 2 näytteessä *Scopulariopsis*-suvun homeetta. Koska kyseisiä homeita ei esiintynyt ulkoilmanäytteissä, on mahdollista että homeet ovat peräisin rakennuksen sisältä. Asunnon 3 kohdalla *Rhizopusta* esiintyi myös ilmalämpöpumpun pinnoilla.

Vertailutilojen sisäilman kokonaisbakteeri- ja sieni-itiöpitoisuudet olivat hieman pienempiä kuin varsinaisten näytteiden keskimäärin. Vertailunäytteiden lajistot olivat samankaltaiset kuin varsinaisissa näytteissä.

9.3 Pintahygienianäytteiden mikrobipitoisuudet

Taulukossa 9 on esitetty ilmalämpöpumppujen ilmanotto- ja ulospuhallusaukoilta otettujen pintahygienianäytteiden tulokset. Samassa taulukossa on myös vertailupinnoilta otettujen hygienianäytteiden tulokset. Näytteen tulokset on jätetty ilmoittamatta, mikäli näytteenotossa tai näytteiden käsittelyssä on tapahtunut jotain, minkä katsotaan heikentäneen tulosten luotettavuutta. Ilmanotto- ja ulospuhallusaukkojen mikrobipitoisuuksien vertailun helpottamiseksi, on kokonaisbakteeri- ja sieni-itiöpitoisuudet esitetty myös graafisesti kuvissa 18 ja 19.

TAULUKKO 9. Pintahygienianäytteiden mikrobipitoisuudet.

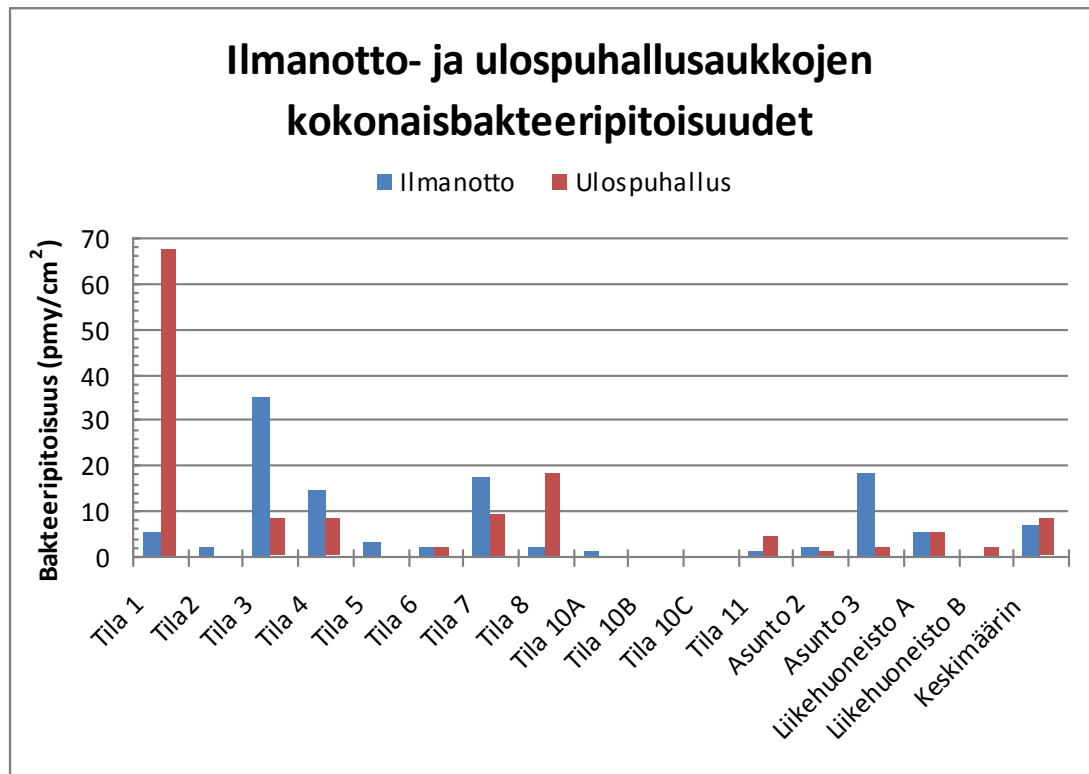
Kohde	Ilmanottoaukko		Ulospuhallusaukko	
	Kokonaisbakteerit (pmy/cm ²)	Sieni-itiöt (pmy/cm ²)	Kokonaisbakteerit (pmy/cm ²)	Sieni-itiöt (pmy/cm ²)
Tila 1	5,4	0	67,5	9,9
Tila 2	1,8	0	0	0
Tila 3	35,1	0,9	8,1	0
Tila 4	14,4	0	8,1	0
Tila 5	2,7	0,9	0	32,4
Tila 6	1,8	0	1,8	0
Tila 7	17,1	0,9	9	0
Tila 8	1,8	0,9	18	0
Tila 9	**	**	**	0
Tila 10A	0,9	1,8	0	0
Tila 10B	0	0	0	0
Tila 10C	0	0	0	0
Tila11	0,9	0,9	4,5	0
Asunto 1	**	**	**	**
Asunto 2A	1,8	2,7	0,9	10,8
Asunto 2B	**	**	**	**
Asunto 3	18	25,2	1,8	14,4
Liikehuoneisto A	5,4	0	5,4	49,5
Liikehuoneisto B	0	3,6	1,8	19,8
Keskimäärin	6,7	2,4	7,9	8,6
	Pintahygienianäyte vertailupinnalta			
Vertailunäytteet	Kokonaisbakteerit (pmy/cm ²)	Sieni-itiöt (pmy/cm ²)		
Tila 12	21,8	0		
Tila 13	0	0		

**) Tulos ei ole luotettava, joten sitä ei esitetä

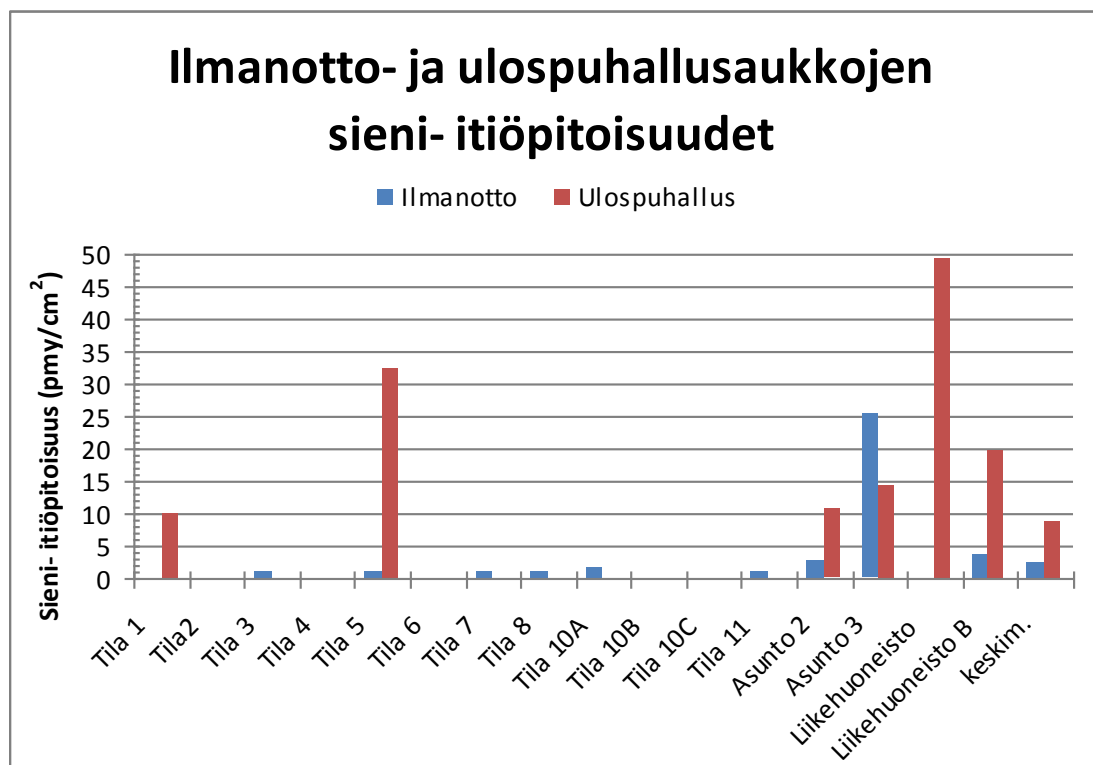
Kaikkien tutkimuksessa otettujen pintahygienianäytteiden tulokset ovat Asumisterveysoppaassa pintahygienianäytteille annettuja raja-arvoja paljon pienempiä. Asumisterveysoppaan ohjeellisten raja-arvojen mukaan pinnalla katsotaan esiintyvän sienikasvustoa, mikäli sen sieni-itiöpitoisuus on yli 1000 pmy/cm², ja vähintään 100 kertaa suurempi kuin vertailupinnan vastaava pitoisuus. Tässä tutkimuksessa tutkittujen pintojen sieni- itiöpitoisuudet vaihtelivat välillä 0 - 49,5 pmy/cm², kaikkien pintahygienianäytteiden keskiarvon ollessa 5,5 pmy/cm². Vertailupinnoilta sieni- itiöitä ei todettu.

Tutkimushypoteesin kannalta olennaista on ilmanotto- ja ulospuhallusaukkojen mikrobipitoisuuksien ja lajistojen vertailu. Ilmanottoaukkojen kokonaisbakteeripitoisuudet vaihtelivat välillä 0 - 35,1 pmy/cm², ulospuhallusaukoilla vaihteluväli oli 0 - 67,5 pmy/cm². Keskimääräinen kokonaisbakteeripitoisuus ilmanottoaukoilla oli 6,75 pmy/cm², ja ulospuhallusaukoilla 7,9 pmy/cm².

Ilmanottoaukkojen sieni-itiöpitoisuudet vaihtelivat välillä 0 - 25,2 pmy/cm², ulospuhallusaukoilla vaihteluväli oli 0 - 49,5 pmy/cm². Sieni-itiöpitoisuuksien osalta ilmanottoaukkojen keskiarvo oli 2,4 pmy/cm², ja ulospuhallusaukkojen 8,6 pmy/cm². Ilmanotto- ja ulospuhallusaukkojen mikrobipitoisuuksien erot eivät ole suuret, mutta suunta on sekä bakteerien että sienien osalta sama, eli keskimääräinen pitoisuus on suurempi ulospuhallusaukoilla.



KUVA 18. Ilmanotto- ja ulospuhallusaukon pintahygienianäytteiden kokonaisbakteeripitoisuudet tutkimuskohteittain.



KUVA 19. Ilmanotto- ja ulospuhallusaukon pintahygienianäytteiden sieni- itiöpitoisuudet tutkimuskohteittain.

9.4 Lajitarkastelu

Taulukossa 10 on esitetty sisäilma- ja pintahygienianäytteiden lajitarkastelu. **Kussakin näytteessä valtasukuna esiintynyt homesuku on lihavoitu tuloksissa.** Mikäli näytteessä kasvoi vain yhtä hometta, tai muutamia yksittäisiä home- tai hiivapesäkkeitä, ei valtasukua ole merkitty.

Useissa näytteissä esiintyi yksittäisinä pesäkkeinä homeita, joita ei onnistuttu tunnistamaan. Lisäksi suuressa osassa näytteistä esiintyi niin kutsuttuja steriilejä sieniä. Steriilit sienet eivät muodosta kasvualustalla itiöitä, eikä niillä näin ollen ole itiöitä muodostavia lajityypillisiä rakenteita, joista ne voisi tunnistaa. (Reiman 1998, 46.) Myös näiden tunnistamattomien sienien esiintyminen näytteissä on mainittu tuloksissa.

TAULUKKO 10. Sisäilma- ja pintahygienianäytteiden lajitarkastelu.

Kohde	Sisäilma	Ilmanottoaukko	Ulospuhallusaukko
Tila 1	<i>Penicillium</i> , S	-	<i>Penicillium</i> , S, t
Tila 2	S	-	-
Tila 3	<i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium</i> , H, S, t	<i>Trichoderma</i>	-
Tila 4	*	-	-
Tila 5	S, t	S	<i>Aureobasidium Pullulans</i> , H
Tila 6	S	-	-
Tila 7	<i>Penicillium</i> , H, S, t	S	-
Tila 8	<i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium</i> , S, H	t	-
Tila 9	<i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium</i> , S, t	<i>Penicillium</i> , H, t	-
Tila 10A	<i>Penicillium</i> , <i>Rhizopus</i> , S, H,	S	-
Tila 10B	*	-	-
Tila 10C	*	-	-
Tila11	Aktinomykettejä <i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium</i> , S	H	-

(jatkuu)

TAULUKKO 10. Sisäilma- ja pintahygienianäytteiden lajitarkastelu. (jatkuu)

Kohde	Sisäilma	Ilmanottoaukko	Ulospuhallusaukko
Asunto 1	Aktinomykeettejä <i>Penicillium</i> , Cladosporium , S, t,	Trichoderma , H	Trichoderma , <i>Penicillium</i> , <i>Alternaria</i> , t
Asunto 2A	Penicillium , <i>Scopulariopsis</i> , <i>Cladosporium</i> , S, t	<i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium</i> , H	Penicillium , <i>Cladosporium</i> , t
Asunto 2B	*	H	<i>Penicillium</i> , S
Asunto 3	Aktinomykeettejä Penicillium , <i>Rhizopus</i> , H, S	Penicillium , <i>Rhizopus</i>	Penicillium , <i>Rhizopus</i>
Liike- huoneisto A	<i>Penicillium</i> , Cladosporium , S	-	Cladosporium
Liike- huoneisto B	*	Penicillium , t	Penicillium
Vertailu- näytteet	Ilmanäyte	Vertailupinnan hygienenäyte	
Tila 12	S, t	-	
Tila 13	Penicillium , S, t, <i>Aspergillus</i>	-	

S= steriili sieni

H= hiivoja

t= tunnistamaton pesäke

*) Ei erillistä sisäilmanäytettä

9.5 Ulkoilmanäytteiden tulokset

Ulkoilman kokonaisbakteeri- ja sieni-itiöpitoisuudet, sekä sienien lajitarkastelu, on esitetty taulukossa 11. **Kussakin näytteessä valtasukuna esiintynyt homesuku on lihavoitu tuloksissa.**

TAULUKKO 11. Ulkoilmanäytteiden mikrobipitoisuudet ja lajitarkastelu.

Ulkoilma- näytteen päivämäärä	Näytteenotto paikka	Kokonais- bakteerit (pmy/m ³)	Aktino- bakteerit (pmy/m ³)	Sieni- itiöt (pmy/m ³)	Lajitarkastelu
27.10.2011	Julkisen rakennuksen piha	339	0	1099	<i>Penicillium</i> , Cladosporium , <i>Aspergillus</i> , H, S, t
28.10.2011	Julkisen rakennuksen piha	39	0	1307	Penicillium , H, S, t

(jatkuu)

TAULUKKO 11. Ulkoilmanäytteiden mikrobipitoisuudet ja lajitarkastelu.

(jatkuu)

Ulkoilmanäytteen päivämäärä	Näytteenotto paikka	Kokonaisbakteerit (pmy/m ³)	Aktinobakteerit (pmy/m ³)	Sieniitiöt (pmy/m ³)	Lajitarkastelu
1.11.2011	Julkisen rakennuksen piha	184	0	1166	<i>Penicillium</i> , H, S, t
2.11.2011	Asunto 3:n piha	39	0	724	<i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium</i> , S, t
3.11.2011	Julkisen rakennuksen piha	39	0	2159	<i>Penicillium</i> , <i>Cladosporium</i> , H, S, t

S= steriili sieni

H= hiivoja

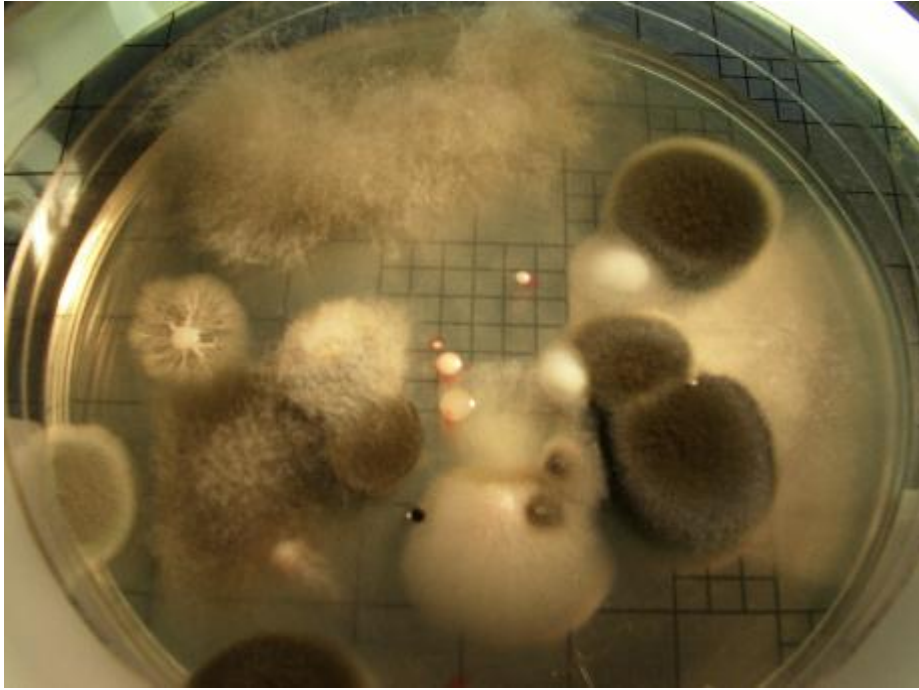
t= tunnistamaton pesäke

Asumisterveysoppaan mukaan ulkoilmassa yleisiä sienisukuja ja -ryhmiä ovat *Cladosporium*, basidiomykeetit, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, steriilit sienet ja hiivat. Kaikki tutkimuksessa ulkoilmanäytteistä tunnistetut sienet löytyvät tältä Asumisterveysoppaan listalta. Näytetulokset ovat siis hyvin tyypillisiä ulkoilmalle.

9.6 Tulosten luotettavuuden arviointi**9.6.1 Puhdasviljelmät**

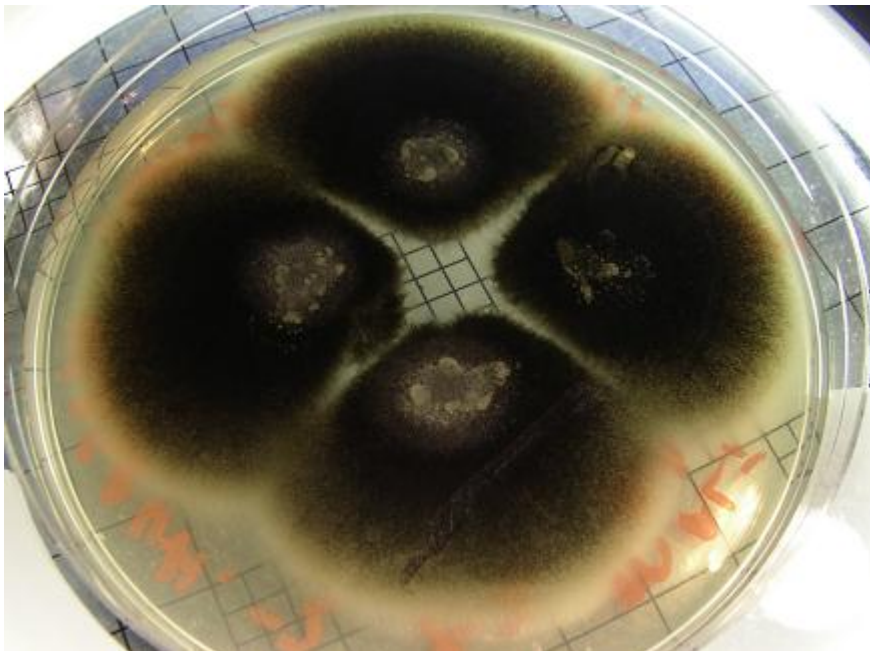
Puhdasviljelmillä saatiin kasvatusmaljoilla kasvamaan vain yhtä homesukua, jolloin muun muassa mikroskopoinnin luotettavuus kasvoi, kun muiden alkuperäisellä maljalla kasvaneiden homeiden rakenteita ei päätynyt preparaattiin.

Kuvassa 20 on 27.10 otetun ulkoilmanäytteen vaiheessa 1 kasvaneita sieniä. Valtasukuna näytteessä on *Cladosporium* (oliivinvihreät pesäkkeet). Lisäksi näytteessä on steriilejä sieniä (vaaleaa kasvustoa oikeassa alareunassa), joita esiintyi suuressa osassa kaikista näytteistä. Kuvan 20 näyte on tyypillinen esimerkki tutkituista kasvatusalustoista, koska maljalla kasvaa eri sienisukujen pesäkkeitä osittain toistensa päällä. Usein vastaavissa tilanteissa tehtiin puhdasviljelmät tarkempaan tarkasteluun haluttuista homeista.



KUVA 20. 27.10 otetussa ulkoilmanäytteessä 2% mallasuuteagarilla kasvaneita homeita ja hiivoja. (Bergman 2011)

Kuvassa 21 on esimerkki puhtasviljelmästä. Kyseessä on pintahygienianäytteestä (Asunto 1, ulospuhallusaukko) tehty puhtasviljelmä *Alternaria*-suvun homeesta.



KUVA 21. Pintahygienianäytteestä tehty puhtasviljelmä sienestä, joka tunnistettiin *Alternaria*ksi. (Bergman 2011)

9.6.2 Rinnakkaisnäytteet ja kenttänollat

Tässä tutkimuksessa ei käytössä olleiden resurssien puitteissa voitu ottaa rinnakkaisnäytteitä kaikista näytteistä. Pistokokeenomainen rinnakkaisnäyte otettiin Tilan 7 ilmanlämpöpumpun ilmanottoaukolta. Varsinaisen näytteen ja rinnakkaisnäytteen tulokset on esitetty taulukossa 12. Varsinaisen näytteen ja rinnakkaisnäytteen tulokset korreloivat hyvin.

TAULUKKO 12. Tilan 7 ilmanottoaukon pintahygienianäytteen ja rinnakkaisnäytteen tulokset.

Tila 7		Ilmanotto				
Laimennossarja	PCA	MALT			Bakteerien kokonaispitoisuus	
		Homeet	Lajit	Hiivat		
					17,1 pmy/cm ²	
-1	17	1	Steriilit	0		
-2	2	0	-	0	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	
-3	0	0	-	0	0,9 pmy/cm ²	
-4	0	0	-	0		
yht.	19	1		0		
Tila 7		Ilmanotto				RINNAKKAIS
Laimennossarja	PCA	MALT			Bakteerien kokonaispitoisuus	
		Homeet	Lajit	Hiivat		
					13,5 pmy/cm ²	
-1	13	4	Steriilit	0		
-2	1	0	-	0	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	
-3	1	0	-	0	3,6 pmy/cm ²	
-4	0	0	-	0		
yht.	15	4		0		

Niin kutsuttuja kenttänolla- maljoja pidettiin mukana näytteenotossa 27.10 ja 28.10. Kenttänollat ovat kasvualustamaljoja joita kuljetetaan mukana näytteenotossa, ja käsitellään kuten näytteenottoon käytettäviä maljoja, mutta niiden kansia ei avata missään vaiheessa (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2009). Kenttänolla- maljalla ei tulisi kasvaa mikrobeja, mikäli elatusaine ei ole kontaminoitunut mikrobeilla laboratoriossa tai näytteenotto paikalla. Kenttänollia ei käytetty tässä tutkimuksessa kaikissa näytteenotoissa, koska kasvatusmaljojen määrän riittävydestä oli epävarmuutta, ja maljoja haluttiin säästää varsinaisiin näytteisiin. Kenttänolla-maljoja inkuboitiin samoin kuin varsinaisia näytteitä. Kenttänolla-maljoilla ei esiintynyt mikrobikasvua.

9.6.3 Virhelähteet

Sisäilmanäytteiden tulosten luotettavuuteen epävarmuutta aiheuttaa käytetty alipainepumppu, jonka tilavuusvirta ei pysynyt täysin vakiona näytteenottojen aikana. Tilavuusvirraksi asetettiin mittausten alussa 28,3 l/min, mutta hetkittäin tilavuusvirta ehti muuttua maksimissaan arvoon 30 l/min, ennen kuin laitetta ehdittiin säätää takaisin haluttuun arvoon. Tämä tilavuusvirran heittely aiheuttaa sisäilmanäytteiden tuloksiin maksimissaan 6%:n virheen, joka siis vaikuttaa pitoisuuksiin alentavasti.

Jotta saataisiin mahdollisimman luotettava kuva tutkittavan kohteen sisäilmasta, tulisi näytteenotto toistaa useita kertoja eri ajankohtina. Paras aika sisäilman mikrobiologisen laadun tutkimiselle olisi ollut talvi, jolloin ulkoa kantautuu sisäilmaan mahdollisimman vähän epäpuhtauksia.

10 TULOSTEN TARKASTELU

Tulosten tarkastelu perustuu seuraaviin keskeisiin kysymyksiin:

- 1) poikkeavatko sisäyksiköiden ilmanotto- ja ulospuhallusaukkojen mikrobikasvat toisistaan määrällisesti tai lajistollisesti?
- 2) poikkeavatko sisäyksiköiden pinnoilta otettujen pintahygienianäytteiden mikrobilajistot samasta tilasta otetun sisäilmanäytteen lajistosta?
- 3) poikkeavatko varsinaisten näytteiden tulokset vertailunäytteiden tuloksista?
- 4) ovatko näytteissä esiintyneet mikrobit ja lajisuhteet tyypillisiä sisäilmalle?
- 5) esiintyikö näytteissä mikrobeja siinä määrin, että niistä voisi aiheutua terveyshaitta?

10.1 Ilmanotto- ja ulospuhallusaukkojen mikrobikasvun määrällinen ja lajistollinen vertailu

Pintahygienianäytteiden kokonaisbakteeripitoisuuksien keskiarvoksi todettiin ilmanottoaukoilla $6,7 \text{ pmy/cm}^2$ ja ulospuhallusaukoilla $7,9 \text{ pmy/cm}^2$. Tämän suuntainen tulos voisi merkitä sisäyksikön kautta kulkevan ilman likaantumista laitteella kiertäessä. Ulospuhallusaukkojen kokonaisbakteeripitoisuuden keskiarvoa nostaa Tilan 1 tulos, joka on merkittävästi muita suurempi. Mikäli Tilan 1 tulokset jätettäisiin huomioimatta, olisi ilmanottoaukkojen kokonaisbakteeripitoisuuksien keskiarvo $6,8 \text{ pmy/cm}^2$, ja ulospuhallusaukkojen 4 pmy/cm^2 . Tällöin tilanne olisi siis päinvastainen, eli ilmanottoaukkojen kokonaisbakteeripitoisuus olisi keskimäärin suurempi kuin ulospuhallusaukkojen. Liitteen 2 sivulla 1 olevia Tilan 1 tuloksia tarkasteltaessa havaitaan, että ulospuhallusaukolta otetun näytteen suurin bakteeripitoisuus on laimennossarjassa -2. Suurimman pitoisuuden pitäisi esiintyä laimennossarjassa -1, eli alkuperäisestä laimennosliuksesta viljellyssä näytteessä. Tilan 1 ulospuhalluksen kokonaisbakteeripitoisuuden kohdalla on siis pientä epävarmuutta tuloksen luotettavuudesta.

Pintahygienianäytteiden sieni-itiöpitoisuuksien tuloksista todettiin ilmanottoaukkojen keskiarvoksi $2,4 \text{ pmy/cm}^2$ ja ulospuhallusaukkojen keskiarvoksi $8,6 \text{ pmy/cm}^2$. Pitoisuudet eivät ole suuria, vaan ne vastaavat Asumisterveysoppaassa kuiville ja vauriottomille pinnoille mainittua yleistä pitoisuutta, $<10 \text{ pmy/cm}^2$. Ulospuhallusaukoilta todettu suurempi sieni-itiöpitoisuuksien keskiarvo viittaa sisäyksikön läpi virtaavan ilman likaantuvan laitteen läpi kulkiessaan, mikä voi olla merkki laitteen sisällä olevasta sienikasvusta.

Keskimääräiset pintahygienianäytteiden mikrobipitoisuudet siis viittaavat ilman likaantumiseen sisäyksiköillä, mutta yksittäisten tulosten tarkastelu johtaa toisenlaiseen johtopäätökseen. Ulospuhallusaukon mikrobipitoisuudet ylittävät ilmanottoaukon pitoisuudet bakteerien osalta neljässä, ja sienien osalta viidessä tapauksessa kuudesta toista. Ilmanottoaukoilla sienikasvustoa ei ollut lainkaan seitsemässä tapauksessa, ulospuhallusaukoilta täysin puhtaita näytteitä saatiin yksitoista. Bakteerien kohdalla tilanne oli samanlainen, sillä ilmanottoaukoilta saatiin kolme täysin puhdasta näytettä, ja ulospuhallusaukoilta viisi. Yksittäisten tulosten tarkastelun perusteella voidaan arvioida, että suurimmassa osassa tutkimuskohteita ilmasta poistuu epäpuhtauksia sen kiertäessä sisäyksikön läpi, mutta muutaman laitteen kohdalla suodatinominaisuudet

eivät toimi optimaalisesti, tai ilmaan siirtyy epäpuhtauksia laitteesta itsestään. Tässä tutkimuksessa kerätyn aineiston perusteella ei voida osoittaa ulospuhallusaukkojen mikrobien lähdettä.

Ilmanottoaukoilla ja ulospuhallusaukoilla esiintyviä sienisukuja vertaillen todettiin, että lajistot poikkeavat toisistaan useissa tapauksissa, eli saman sisäyksikön eri pinoilla kasvoi toisistaan poikkeavia homeita. Tilannetta voi tarkastella taulukon 10 lajitarkastelusta. Ulospuhallusaukolla kasvoi kuudessa näytteessä sellaisia sieniä, joita ei todettu saman laitteen ilmanottoaukolta. Vastaavasti ilmanottoaukoilla oli yhdessätoista näytteessä sieniä, joita ei esiintynyt ulospuhallusaukolla.

Vaikka sulan maan aikaan otetuissa näytteissä esiintyy enemmän sieniä kuin talvella, ja useiden sienisukujen tunnistaminen oli aloittelijalle hidasta, oli tutkimuksen ajankohdassa hyvätkin puolensa. Useat homeet itiöivät silloin, kun kasvuolosuhteet muuttuvat niille epäsuotuisiksi, eli esimerkiksi kasvualustan kuivussa tai ravinnon loppuessa. Näin ollen kesäaikaan, kun ilmalämpöpumpun suodattimille kohdistuva kosteuskuormitus on korkea, ja sisäyksiköille kertyy lisäksi kondenssivettä, ei itiöitä välttämättä vapaudu ilmaan, vaikka laitteen sisällä olisikin sienikasvua. Nyt ilmalämpöpumput olivat olleet jonkin aikaa pois jäädytyskäytöstä, eli pinnat ja suodattimet olivat ehtineet kuivua, ja mahdollinen sienikasvu tuli oletettavasti parhaiten esiin.

10.2 Pintahygienianäytteiden ja sisäilmanäytteiden lajitojen vertailu

Kun verrattiin pintahygienianäytteiden tuloksia samoista tiloista otettujen sisäilmanäytteiden tuloksiin, todettiin että neljässä kohteessa ilmalämpöpumpun sisäyksikön pinnalla kasvoi homeita, joita ei esiintynyt sisäilmanäytteessä. Nämä kohteet ovat Tila 3, Tila 5, Tila 8 ja Asunto 1. Koska sisäilmanäytteistä poikkeavia homeita kasvoi pintahygienianäytteissä pääasiassa vain yhdessä laimennossarjassa per näytteenotto, ei niille anneta kovin suurta painoarvoa. Ainoastaan Asunnon 1 pintahygienianäytteissä oli usealla kasvualustalla sisäilmanäytteestä poikkeavaa homekasvustoa, sekä ilmanotto- että ulospuhallusaukoilla. Asunnon 1 pintahygienianäytteissä todettiin *Trichoderma*, joka on Asumisterveysoppaan mukaan kosteusvaurioon viittaava home. Lisäksi ulospuhallusaukon näytteessä todettiin *Alternariaa*, jota ei myöskään ollut sisäilmanäytteessä. *Alternariaa* esiintyi kuitenkin vain yhdessä laimennossarjassa. Asunnon 1 ilmalämpöpumpussa oli karkeasuodattimen lisäksi muita suodattimia, mutta niiden

laadusta ei löytynyt tietoa laitteen käyttöoppaasta, eikä käyttäjältä. Laite oli paikoin silminnähdyn likainen, vaikka ainakin suodattimet oli käyttäjän mukaan puhdistettu 2 - 3 viikkoa ennen näytteenottoa.

Tilanne jossa ilmalämpöpumpun pinnoilla esiintyy sisäilmasta poikkeavia lajeja, voi teoriassa syntyä, kun sisäilmasta sisäyksikköön päätyneet homeitiöt alkaessa kasvaa laitteen pinnoilla. Homekasvuston syntymisen voi periaatteessa aiheuttaa yksittäinenkin itiö, joka sopivissa ravinne-, kosteus- ja lämpöoloissa alkaa lisääntyä. Homekasvuston syntyminen vaatii myös aikaa. Edellä kuvatussa tilanteessa sisäyksikkö itse olisi mikrobilähde, eikä vain muualta peräisin olevien mikrobien läpikulkupaikka. Mikäli laitteella kasvava home alkaisi itiöidä, pitäisi sen pian olla havaittavissa myös sisäilmanäytteissä.

10.3 Varsinaisten näytteiden ja vertailunäytteiden vertailu

Varsinaisten näytteiden ja vertailunäytteiden tulosten välillä ei ole suurta eroa. Sisäilmanäytteiden osalta vertailunäytteiden tulokset olivat samaa kokoluokkaa varsinaisten näytteiden kanssa, mutta olivat kuitenkin pienempiä kuin varsinaisten näytteiden keskiarvot. Pintahygienianäytteiden kohdalla Tilan 12 vertailunäytteen kokonaisbakteeripitoisuus ylitti varsinaisten näytteiden keskiarvon, mutta muuten vertailunäytteissä ei kasvanut mitään. Vertailunäytteiden määrän lisääminen tuskin olisi auttanut ilmalämpöpumpuilta otettujen pintahygienianäytetulojen tulkinnassa, mutta sisäilmanäytteiden osalta useammista vertailunäytteistä olisi voinut olla hyötyä. Vertailunäytteiden määrää kasvattamalla, olisi voitu verrata keskimääräistä sisäilman laatua rakennuksissa joissa on ilmalämpöpumppu, niihin joissa ilmalämpöpumppua ei ole. Tämä olisi kuitenkin vaatinut toisenkin henkilön työpanoksen, tai ainakin mahdollisuuden käyttää tutkimukseen enemmän aikaa.

10.4 Näytteissä esiintyneiden mikrobien ja lajisuhteiden tyypillisuus sisäilmassa

Sisäilmanäytteissä esiintyneet homesuvut ja niiden väliset suhteet olivat suurimmassa osassa kohteita sisäilmalle tyypillisiä. Valtasukuina lähes kaikissa näytteissä oli *Penicillium* ja toiseksi yleisin homesuku oli *Cladosporium*. Lisäksi näytteissä esiintyi runsaasti steriilejä sieniä, jotka olivat hyvin yleisiä myös ulkoilmassa.

10.5 Mahdollisen terveyshaitan syntyminen

Mahdollisen terveyshaitan syntyminen ilmalämpöpumpun huollon ja puhdistuksen laiminlyönnin seurauksena on keskeinen kysymys tässä opinnäytetyössä. Terveyshaitan esiintymistä voidaan arvioida Asumisterveysoppaassa sisäilman mikrobipitoisuuksille annettujen ohjeellisten raja-arvojen avulla.

Sisäilman kokonaisbakteeripitoisuudet olivat kaikissa tutkimuskohteissa alle Asumisterveysoppaan raja-arvon. Tutkimuksessa mitatut sisäilman sieni-itiöpitoisuudet ylittivät raja-arvot kahdessa kohteessa, Asunnossa 1 ja Asunnossa 3. Mikäli tutkimus olisi tehty talviaikaan, olisivat sisäilman sieni-itiöpitoisuudet todennäköisesti olleet kaikissa kohteissa nyt todettuja pienempiä, jolloin myös Asuntojen 1 ja 3 sieni-itiöpitoisuudet olisivat mahdollisesti jääneet alle raja-arvon (500 pmy/m³). On kuitenkin huomioitava, että Asuntojen 1 ja 3 sisäilmanäytteissä esiintyi myös aktinomykettejä, sekä kosteusvaurioon viittaavia homeita, joita ei todettu ulkoilmasta. Asuntojen 1 ja 3 osalta todetaankin, että rakennusten sisäilmasta ja pinnoilta olisi syytä tehdä jatkotutkimuksia, sillä tämän tutkimuksen tulokset viittaavat mahdolliseen mikrobikasvuun rakennuksessa. Asuntojen 1 ja 3 sisäilmassa esiintyi siis mikrobikasvua siinä määrin, että se voi aiheuttaa terveyshaittaa.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Lopullisten johtopäätösten tekeminen saatujen tutkimustulosten perusteella on monimutkaista. Tutkimushypoteesin kannalta tärkeä tulos on kuitenkin se, että bakteereita ja sieniä kasvoi sekä ilmanotto- että ulospuhallusaukoilla. Joissakin tapauksissa ulospuhallusaukon pitoisuudet olivat ilmanottoaukon pitoisuuksia suurempia, mikä viittaa ilman likaantumiseen sisäyksiköllä. Nämä tulokset viittaavat siihen, että mikrobiologiset epäpuhtaudet voivat levitä ilmalämpöpumpun kautta virtaavassa ilmassa huonetilaan. Tutkimushypoteesi siis hyväksytään siltä osin.

Kuitenkin, ilmanottoaukoilla sienikasvustoa ei ollut lainkaan seitsemässä tapauksessa, kun ulospuhallusaukoilta täysin puhtaita näytteitä saatiin yksitoista. Bakteerien kohdalla tilanne oli samanlainen, sillä ilmanottoaukoilta saatiin kolme täysin puhdasta näytettä, ja ulospuhallusaukoilta viisi. Näiden tulosten perusteella suurin osa tutki-

muskohteina olleista ilmalämpöpumpuista puhdistaa ilmaa mikrobiologisista epäpuh-
tauksista hyvin, eli huomautettavaa oli siis vain osassa laitteista. Jälkimmäisenä mai-
nittujen laitteiden osalta tilanne vaatisi tarkempia tutkimuksia toimintaan liittyvien
epäkohtien havaitsemiseksi. Tämän tutkimuksen perusteella ei voida varmuudella
osoittaa, ovatko ulospuhallusaukkojen mikrobit peräisin ilmalämpöpumpun sisäyksik-
kössä olevasta mikrobikasvusta, vai muusta lähteestä. Näin ollen myös ilmalämpö-
pumpun käytön yhteys ohjearvot ylittäneisiin sisäilman mikrobipitoisuuksiin, ja mah-
dolliseen terveyshaittaan, jää selvittämättä.

Ilmalämpöpumpuissa käytettävien lisäsuodatinten osuutta sisäilman mikrobiologisten
epäpuhtauksien poistamisessa on tämän tutkimuksen pohjalta mahdoton arvioida.
Muutamissa ilmalämpöpumpuissa oli karkeasuodattimen lisäksi muitakin suoda-
tinominaisuuksia, mutta vain yhdessä tapauksessa laitteen käyttäjä osasi kertoa mikä
suodatin oli kyseessä, ja oli vaihtanut suodattimen asianmukaisin väliajoin. Joka tapa-
uksessa myös lisäsuodattimilla varustetuilla laitteilla esiintyi mikrobikasvua ilmaläm-
pöpumpun pinnoilla.

Varsinaisten tulosten ohella, nousi tutkimuksessa esiin jo edellä mainittu ilmalämpö-
pumpujen käyttäjien tietämättömyys laitteidensa ominaisuuksista, sekä liian pitkät
puhdistusvälit useissa kohteissa. Vaikka ilmalämpöpumppuja mainostetaan helppo-
käyttöisinä, pitäisi myyjien kenties korostaa säännöllisen puhdistuksen tärkeyttä sekä
laitteen toimivuuden että sisäilman puhtauden kannalta. Julkisissa tiloissa sisäyksiköi-
den puhdistuksen voisi kenties ulkoistaa, mikäli vastuuhenkilön nimeäminen omasta
organisaatiosta on hankalaa, ja puhdistus uhkaa jäädä hoitamatta.

Tässä opinnäytetyössä käytettyä tutkimusmenetelmää, jossa pintahygienianäytteet
otettiin ilmalämpöpumpun sisäyksikön ilmanotto- ja ulospuhallusaukon pinnoilta, ei
tiettävästi ole aikaisemmin käytetty. Mielestäni käytetty menetelmä sopii juuri tämän
opinnäytetyön kaltaiseen kartoittavaan tutkimukseen, mutta yksittäisten laitteiden hy-
gieenisestä tasosta sillä ei saa täysin kattavaa kuvaa. Yksittäisten laitteiden jatkotut-
kimuksissa näytteenottoa täytyisi laajentaa myös sisäyksikön muihin rakenteisiin.

Asumisterveysoppaassa todetaan homeiden tunnistamisen olevan vaativaa asiantunti-
jatyötä. Tämän opinnäytetyön perusteella voin todeta tuon väitteen paikkansapitäväk-
si. Opinnäytetyön ohjaajilta ja Ympäristölaboratorion henkilökunnalta saadulla ohja-

uksella, sekä itse kerätyn tiedon avulla, homeiden tunnistaminen oli kuitenkin mahdollista myös aloittelijalle. Opinnäytetyöni jättää monia kysymyksiä vaille vastausta, mutta antaa pohdittavaa ilmalämpöpumppujen käyttäjille, sekä tarjoaa hyvät lähtökohdat jatkotutkimuksille. Tutkimusta voisi laajentaa koskemaan ilmalämpöpumpun vaikutusta sisäilmaan myös muiden ilman epäpuhtauksien, kuten kemiallisten yhdisteiden, tai eräiden homeiden tuottamien toksiinien osalta. Tehdyn tutkimuksen voisi myös toistaa eri vuodenaikana, jolloin saadut tulokset olisivat mahdollisesti erilaiset. Tärkeää olisi tehdä lisätutkimuksia niihin tutkimuskohteisiin, jossa sisäilman mikrobi-pitoisuudet viittasivat mahdolliseen terveyshaittaan. Tulokset on toimitettu kohteisiin, joten asukkaat voivat halutessaan teettää lisätutkimuksia sisäilmaongelmien syiden selvittämiseksi.

LÄHTEET

Aittomäki, Antero 2008. Termodynaamiset perusteet. Teoksessa Aittomäki, Antero (toim.). Kylmäteknikka. 3.painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 1-49.

Andersen, Ariel.A. 1958. New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. Journal of bacteriology. American Society of Microbiology. PDF- tiedosto. <http://jb.asm.org/content/76/5/471.full.pdf+html>. Ei päivitystietoja. Luettu 28.3.2012.

Asunto- osakeyhtiölaki 1599/2009. WWW-dokumentti. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20091599>. Ei päivitystietoja. Luettu 27.2.2012.

Barnett HL, Hunter BB 1972. Illustrated genera of Imperfect fungi. Minneapolis: Burgess Publishing Company.

Bergman, Anne 2011. Kuvamateriaalia. Syksy 2011. Ympäristötekniikan (amk) opiskelija. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Bergman, Anne 2012. Kuvamateriaalia. Kevät 2012. Ympäristötekniikan (amk) opiskelija. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Bjålie, Jan G., Haug Egil, Sand, Olav, Sjaastad, Øystein, V. & Toverud, Kari C. 1998. Ihminen. Fysiologia ja anatomia. Denmark: Aarhus Stiftsbogtrykkerie,

Costella Oy 2012. Ilmalämpöpumput. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.costella.fi/index.php?id=28>. Ei päivitystietoja. Luettu 22.3.2012.

Douwes, Jeroen 2009. Building dampness and its effect on indoor exposure to biological and non-biological pollutants. Teoksessa Heseltine, Elisabeth & Rosen, Jerome (toim.) WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould. WHO Regional Office for Europe. WWW-dokumentti.

<http://site.ebrary.com/lib/mikkeli/docDetail.action?docID=10367463&p00=heat%20pump%20indoor%20air.7-29>. Ei päivitystietoja. Luettu 21.3.2012.

Elintarviketurvallisuusvirasto 2012. Yleistä mikrobeista. WWW-dokumentti.

http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/hygieniaosaaminen/tietopaketti/ruokamyrytykset/yleista_mikrobeista/. Päivitetty 6.3.2012. Luettu 6.3.2012.

Fujitsu General Ltd. Ilmastointilaitteet ja ilmalämpöpumput- esite.

http://www.klimakomplekt.com/Resources/pdf/fujitsu_asyb-ld.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 26.11.2011.

Hahkala, Harri & Säteri, Jorma 2012. Sisäilman puhdistustekniikat. Teoksessa Säteri, Jorma & Backman, Helka (toim.). Sisäilmastoseminaari 2012. Sisäilmayhdistyksen raportti 30. SIY Sisäilmatieto Oy. Jyväskylä: Bookwell Oy, 131 – 135.

Happonen, Taito 2010. Ilmalämpöpumpun toiminta ja asennus. Itä-Suomen yliopisto. Koulutus- ja kehittämisspalvelu Aducate. Aducate Reports and books 3/2010. Kuopio: Kopijyvä Oy.

Hengitysliitto 2011a. UV- säteilyyn perustuvat laitteet. WWW-dokumentti.

<http://www.heli.fi/Hengitysilma/Sisailma/Ilmanpuhdistimet/UV-sateilevat/>. Ei päivitystietoja. Luettu 13.10.2011.

Hengitysliitto 2011b. Otsonoivat laitteet. WWW- dokumentti.

<http://www.heli.fi/Hengitysilma/Sisailma/Ilmanpuhdistimet/Otsonoivat/>. Luettu 13.10.2011.

Heseltine, Elisabeth & Rosen, Jerome 2009. Executive Summary Teoksessa Heseltine, Elisabeth & Rosen, Jerome (toim.). WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould. WHO Regional Office for Europe. WWW-dokumentti.

<http://site.ebrary.com/lib/mikkeli/docDetail.action?docID=10367463&p00=heat%20pump%20indoor%20air.12-16>. Ei päivitystietoja. Luettu 21.3.2012.

Hiukkastieto 2010a. Helsingin yliopiston ylläpitämät internetsivut. Hiukkasten liike ilmassa. <http://www.hiukkastieto.fi/node/32>. Luettu 20.2.2012.

Hiukkastieto 2010b. Helsingin yliopiston ylläpitämät internetsivut. Hiukkasten deposiatio hengityselimistöissä. WWW- dokumentti. <http://www.hiukkastieto.fi/node/59>.
Luettu 20.2.2012.

Hiukkastieto 2010c. Helsingin yliopiston ylläpitämät internetsivut. Tarttuvatko taudit ilman välityksellä?. WWW-dokumentti. <http://www.hiukkastieto.fi/node/183>. Ei päivitystietoja. Luettu 6.3.2012.

Holopainen, Rauno, Pasanen, Pertti, Railio, Jorma, Säteri, Jorma & Virranta, Petteri 2008. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus. Opetushallitus. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Husman, Tuula, Roto, Pekka & Seuri, Markku 2002. Sisäilma ja terveys- Tietoa rakentajille. Kansanterveyslaitos. www- dokumentti.
http://www.ktl.fi/attachments/suomi/julkaisut/julkaisusarja_b/2002b14.pdf. Luettu 23.1.2012.

Ilmalämpöpumput tuovat lämpöä ja viileyttä. Rakentaja.fi. Verkkolehti.
<http://www.rakentaja.fi/indexfr.aspx?s=/suorakanava/verkkolehti/04/4204kaukomarkkinat.htm>. Ei päivitystietoja. Luettu 22.3.2012.

Ilmatieteenlaitos. Paikallissää Mikkeli. www-dokumentti.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/saa/Mikkeli>.

Mitsubishi Heavy Industries Ltd 2011. Maahantuojaan esite. WWW- dokumentti.
http://www.kataikko.fi/pdf/esite_heavy_4s.pdf. Luettu 2.10.2011.

Kervinen, Martti & Parkkila Irma 2005. Mekaniikka ja termodynamiikka. Teoksessa Andersson, Riikka (toim.) MAOL- taulukot. 2.-3. painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy, 65-128.

Kontturi, Mia 1996. Sisäilman homeet ja niiden tunnistaminen sekä sisäilmassa esiintyviä toksineja ja allergeenejä. Tutkimus ja kirjallisuuskatsaus. Helsingin yliopisto, Elintarvike- ja ympäristöhygienian laitos.

Korhonen, Petri 2010. Ilmalämpöpumppu voi viedä terveyden. Taloussanomat. Verkko-lehti. 25.11.2010.

<http://www.taloussanomat.fi/asuminen/2010/11/25/ilmalampopumppu-voi-vieda-terveyden/201016312/139>. Ei päivitystietoja. Luettu 21.2.2012.

Metiäinen, Pertti 2011. Lausunto 30.8.2011. Ylitarkastaja. Valvira. WWW-dokumentti. http://www.valvira.fi/files/VOC_lausunto_ESAVI.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 21.3.2012.

Mold and Bacteria Consulting Laboratories (MBL) Inc. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.drjacksonkungu.com/>. Ei päivitystietoja. Luettu 15.11.2011.

Motiva 2008. Lämpöä ilmassa. PDF-dokumentti. http://www.motiva.fi/files/3120/Lampoa_ilmassa_Ilmalampopumput.pdf. Päivitetty 2.7.2008. Luettu 9.3.2012.

Motiva 2009. Ilmalämpöpumpun energiataloudellinen käyttö. WWW- dokumentti. http://www.motiva.fi/files/3472/Ilmalampopumpun_energiataloudellinen_kaytto.pdf. Luettu 21.2.2012.

Motiva 2011. Poistoilmalämpöpumppu. WWW-dokumentti. http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/poistoilmalampopumppu/. Päivitetty 16.8.2011. Luettu 21.2.2012.

Ositum Oy 2012a. Terveyshaitat. WWW-dokumentti. <http://www.ositum.fi/index.php?p=Terveyshaitat>. Ei päivitystietoja. Luettu 21.3.2012.

Ositum Oy 2012b. PCR menetelmän periaate. WWW- dokumentti. <http://www.ositum.fi/index.php?p=pcr>. Ei päivitystietoja. Luettu 8.3.2012.

Panasonic. Ilmalämpöpumput. WWW- dokumentti. http://kylma.onninen.fi/asiakkaat/onninen/kylma.onninen.fi/content_images/tuotteett/p ana_ne_sarja.pdf. Luettu 21.2.2012.

Panasonic Finland. Ilmansuodatus ilmalämpöpumpulla. WWW-dokumentti.

<http://www.saastaenergiaa.fi/97/Ilmansuodatus>. Luettu 27.11.2011.

Puhakka, Eija, Bäck, Beatrice, Kalso, Seija, Vahänen, Risto, Viitanen, Hannu, Arvela, Hannu, Voutilainen, Anne, Ruotsalainen, Risto, Koukila- Kähkölä, Pirkko, Sarekoski, Kimmo & Kärkkäinen, Jukka 1996. Terveellinen sisäilma. Suomen Sisäilmaston Mittauspalvelu Oy. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Putus, Tuula 2010. Home ja Terveys. Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy.

Putus, Tuula 2012. Tärkeimmät mikrobisuvut. IndoorAid. WWW-dokumentti.

http://indooraid.com/?page_id=10. Ei päivitystietoja. Luettu 6.3.2012.

Pylysy, Petri 2011. Ilmalämpöpumppu ei saa aiheuttaa häiritsevää meteliä. Lehdistöietote 4.7.2011. WWW-dokumentti. <http://www.taloyhtio.net/33461.aspx>. Ei päivitystietoja. Luettu 27.2.2012.

Päivinen, Osmo 2010. Lämpöä puhkuvat pumput. Rakennusmaailma 5E/2010, 52.

Pönkä, Antti 2006. Terveystensuojelu, 4.painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Reiman, Marjut 1998. Mikrobit. Teoksessa Leivo, Virpi (toim.). Opas kosteusongelmiin - Rakennustekninen, mikrobiologinen ja lääketieteellinen näkökulma. WWW-dokumentti.

http://dSPACE.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/20783/leivo_opas_kosteusongelmiin.pdf?sequence=3. Tampereen Teknillinen Korkeakoulu, 39-47.

Salkinoja-Salonen, Mirja 2002. Mikrobin elintoiminnot. Teoksessa Salkinoja-

Salonen, Mirja (toim.) Mikrobiologian perusteita. Helsingin Yliopisto. Mikrobiologian julkaisuja. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 183-191.

Salkinoja-Salonen, Mirja 2009. Myrkylliset mikrobit sisätiloissa. Teoksessa Halonen, Minna, Helimo, Erkki & Kananen, Heli (toim.). Homehelvetti. Porvoo: WS Bookwell, 245 – 259.

- Samson RA, vanReenen- Hoekstra 1988. Introduction to food- borne fungi. Centraal- bureau voor Schimmelcultures. Baarn.
- Senera Oy 2010. Maalämpöpumppu. WWW- dokumentti.
<http://www.senera.fi/Maalampopumppu>. Päivitetty 20.5.2010. Luettu 21.2.2012.
- Seppänen, Olli 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto, 2. painos. Suomen LVI- yhdistysten liitto. Anjalankoski: SOLVER palvelut Oy.
- Seppänen, Olli & Seppänen, Matti 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI- tekniikka, 4. painos. SIY Sisäilmatieto Oy. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Seuri, Markku & Reiman, Marjut 1996. Rakennusten kosteusvauriot, home ja terveys. Rakennustieto Oy. Tampere: Tammer- Paino Oy.
- Sisäilmakeskus 2010. Tarkkaile sisäilman laatua. WWW-dokumentti.
<http://www.sisailmakeskus.fi/fi/?ID=1443&news=view&newsID=23>. Luettu 21.2.2012.
- Sosiaali- ja terveysministeriö 2009. Asumisterveysopas. 3. painos. STM:n oppaita 2003:1. Ympäristö ja Terveys-lehti. Vaasa: Ykkös-Offset Oy.
- Sublett, James L. 2011. Effectiveness of Air Filters and Air Cleaners in Allergic Respiratory Diseases: A Review of the Recent Literature. PDF-dokumentti.
http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3165134/pdf/11882_2011_Article_208.pdf. Päivitetty 27.8.2011. Luettu 2.5.2012.
- SULPU 2011. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. Suomen Lämpöpumppu- uutiset. PDF-dokumentti.
http://www.sulpu.fi/images/stories/suomen_lmppumppu_uutiset_2.pdf. Ei päivitystietoja. Luettu 4.10.2011.
- SULPU 2012. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. Lämpöpumppujen suosio kasvaa. WWW- dokumentti.

http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=37&Itemid=123.
Ei päivitystietoja. Luettu 22.3.2012.

Taskinen, Taina 2001. Moisture and mould problems on school buildings. A clinical study on the health effects in schoolchildren. National Public Health Institute A9. Väitöskirja. Kuopio.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2008. Terveystaitat ja niiden tutkiminen. WWW-dokumentti.

http://www.ktl.fi/portal/suomi/tietoa_terveydesta/elinymparisto/hometalo_ja_kosteusvaurio/terveyshaitat_ja_niiden_tutkiminen#navi2. Päivitetty 7.4.2008. Luettu 5.9.2011.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2009. Ilmanäytteiden ottaminen 6-vaiheimpaktorilla (Andersen 10-800). WWW- dokumentti.

<http://www.ktl.fi/attachments/suomi/osastot/ytos/ymb/ilmanaytteenotto09.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 2.3.2012.

Terveydensuojelulaki 763/1994. WWW-dokumentti.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940763>. Ei päivitystietoja. Luettu 22.3.2012.

Tietoa ostajalle. 2012. Kuluttaja-lehti. Verkkolehti. <http://www.kuluttaja.fi/fi-FI/ostajan-oppaat/polynimuri/muistilista/#suodatin>. Ei päivitystietoja. Luettu 2.5.2012

Tilastokeskus 2011. Energiatilasto. Vuosikirja 2010. Helsinki: Edita Prima Oy.

Tirri, Rauno, Lehtonen, Juhani, Lemmetyinen, Risto, Pihakaski, Seppo & Portin, Petter 2001. Biologian sanakirja. Uudistetun laitoksen 2.painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

TUKES 2012. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Ilmalämpöpumput. WWW- dokumentti. <http://www.tukes.fi/fi/Kuluttajille/Koti-ja-kodin-tekniikka/Ilmalampopumput/>. Päivitetty 15.2.2012. Luettu 27.2.2012.

The University of Adelaide. Mycology Online. Yliopiston WWW-sivut.

<http://www.mycology.adelaide.edu.au/gallery/>. Ei päivitystietoja. Luettu 20.11.2011.

Valtioneuvoston asetus 452/2009. WWW- dokumentti.

<http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/20090452>. Ei päivitystietoja. Luettu 27.2.2012.

YLE Etelä-Karjala. Ilmalämpöpumppu voi aiheuttaa kosteusongelman. WWW- dokumentti. 19.2.2011. [http://yle.fi/alueet/etela-](http://yle.fi/alueet/etela-karjala/2011/02/ilmalampopumppu_voi_aiheuttaa_kosteusongelman_2372367.html)

[karjala/2011/02/ilmalampopumppu_voi_aiheuttaa_kosteusongelman_2372367.html](http://yle.fi/alueet/etela-karjala/2011/02/ilmalampopumppu_voi_aiheuttaa_kosteusongelman_2372367.html).

Ei päivitystietoja. Luettu 21.2.2012.

Ympäristönsuojelulaki. WWW- dokumentti.

[http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086?search\[type\]=pika&search\[pika\]=ymp%C3%A4rist%C3%B6nsuojelulaki](http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086?search[type]=pika&search[pika]=ymp%C3%A4rist%C3%B6nsuojelulaki). Ei päivitystietoja. Luettu 27.2.2012.

KYSELY ILMALÄMPÖPUMPPUJEN KÄYTTÄJILLE

Asunnon/tilan katuosoite: _____

Yhteys henkilön nimi ja puh. nro : _____

Laitteen tiedot (merkki, malli ja hankinta-aika ja -paikka [postimyynti, liike tms.]):

Missä tilassa/huoneessa laite sijaitsee? Tilojen käyttötarkoitus, mikäli muu kuin asuinhuoneisto? _____

Pääasiallinen käyttömuoto

lämmitys

jäähdytys

Asennus

omatoimisesti

ammattimainen asentaja

Huoltosopimus

on

ei

Jos on, niin mitä kattaa? _____

Laitteen mukana toimitettu huolto- ohje?

on

ei

Kuinka usein ja miten laitetta on puhdistettu?

Havaintoja käyttömukavuudesta ja – varmuudesta, sekä koettu vaikutus sisäilman laatuun:

Kiitos vastauksesta!

Lisätietoja:

Anne Bergman

Terveystarkastaja Hannu Hulkkonen

puh. 050-3257676

puh. 044-794 4704

sähköposti: anne@mail.mamk.fi

sähköposti: hannu.hulkkonen@mikkeli.fi

TILA 1		28.loka													
Andersen															
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT	Korjattu pesäkeluku	Muuta huomioitavaa		Bakteerien kokonaispitoisuus	Lajitarkastelu:							
			Homeet	Hiivat			385 pmy/m ³								
1	12	12	0	0	0 Ilmalämpöpumppu oli päällä			Andersen (MALT), vaihe:							
2	12	12	0	0	0 3 viherkasvia n. 6m päässä keräimestä		Aktinomykeettien kokonaispitoisuus	1 -							
3	21	22	3	3	0 Aulassa liikkui ihmisiä mittauksen aikana		0 pmy/m ³	2 -							
4	17	17	36	38	0			3 Penicillium +steriilejä							
5	37	39	18	18	0		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	4 Penicillium +steriilejä							
6	7	7	0	0	0		208 pmy/m ³	5 steriilejä							
yht.		109	57	59	0			6 -							
Ilmanotto															
Laimennossarja	PCA		MALT		Muuta huomioitavaa		Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ilmanotto (MALT):							
			Homeet	Hiivat			5,40 pmy/cm ²	Laimennos							
-1	1		0	0				-1 -							
-2	2		0	0			Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-2 -							
-3	0		0	0			0 pmy/cm ²	-3 -							
-4	3		0	0				-4 -							
yht.	6														
Ulopuhallus															
Laimennossarja	PCA		MALT		Muuta huomioitavaa		Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ulospuhallus (MALT):							
			Homeet	Hiivat			67,51 pmy/cm ²	Laimennos							
-1	14		10	0				-1 Penicillium+ 1 kpl tunnistamaton							
-2	60		1	0			Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-2 steriilejä							
-3	1		0	0			9,90 pmy/cm ²	-3 -							
-4	0		0	0				-4 -							
yht.	75		11	0											

TILA 2		1.marras													
Andersen															
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT	Korjattu pesäkeluku	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Lajitarkastelu:								
			Homeet	Hiivat		378 pmy/m ³	Andersen (MALT), vaihe:								
1	14	14	1	1	1 Sisäyksikön alla kondenssivesiallas		1 steriilejä								
2	8	8	0	0	Andersenia säädetty	Aktinomykeettien kokonaispitoisuus	2 -								
3	20	21	2	2		0 pmy/m ³	3 steriilejä								
4	26	27	28	29			4 steriilejä								
5	33	34	24	25		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	5 steriilejä								
6	3	3	0	0		205 pmy/m ³	6 -								
yht.		107	55	57	1										
Ilmanotto															
Laimennossarja	PCA		MALT		Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ilmanotto (MALT):								
			Homeet	Hiivat		1,80 pmy/cm ²	Laimennos								
-1	2		0	0			-1 -								
-2	0		0	0		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-2 -								
-3	0		0	0		0 pmy/cm ² §	-3 -								
-4	0		0	0			-4 -								
yht.	2		0	0											
Ulopuhallus															
Laimennossarja	PCA		MALT		Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ulospuhallus (MALT):								
			Homeet	Hiivat		0 pmy/cm ²	Laimennos								
-1	0		0	0			-1 -								
-2	0		0	0		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-2 -								
-3	0		0	0		0 pmy/cm ²	-3 -								
-4	14	HYLÄTÄÄN	0	0			-4 -								
yht.	0		0	0											

TILA 5		27.loka											
Andersen													
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT	Korjattu pesäkeluku	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Lajitarkastelu:						
			Homeet	Hiivat		919 pmy/m ³							
1	38	38	1	1	Andersenia säädetty PCA-tornin osalta(vaihteli 28,3-30l/min)	Aktinomykeettien kokonaispitoisuus	Andersen (MALT), vaihe:						
2	35	35	0	0		0 pmy/m ³	1 1 kpl tuntematon pesäke						
3	44	47	2	2		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	2 -						
4	48	51	7	7		49 pmy/m ³	3 steriilejä						
5	74	82	4	4			4 steriilejä						
6	7	7	0	0			5 steriilejä						
yht.		260	14	14	0		6 -						
Ilmanotto													
Laimennossarja	PCA		MALT		Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ilmanotto (MALT):						
			Homeet	Hiivat		2,70 pmy/cm ²	Laimennos						
-1	1		0		Vain karkeasuodatin havaittavissa	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-1 -						
-2	1		1			0,90 pmy/cm ²	-2 steriilejä						
-3	0		0				-3 -						
-4	1		0				-4 -						
yht.	3		1	0									
Ulospuhallus													
Laimennossarja	PCA		MALT		Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ulospuhallus (MALT):						
			Homeet	Hiivat		0,00 pmy/cm ²	Laimennos						
-1	0		2	34		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-1 Hiivoja+2 kpl Aerobasidium Pullulans						
-2	0		0	0			-2 -						
-3	0		0	0			-3 -						
-4	0		0	0			-4 -						
yht.	0		2	34									

TILA 6							27.10.			
<u>Andersen</u>										
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT Homeet	Korjattu pesäkeluku Hiivat	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Lajitarkastelu:			
						120 pmy/m ³	Andersen (MALT), vaihe:			
1	1	1	0	0	0		1	-		
2	9	9	0	0	0	Aktinomykeettien kokonaispitoisuus	2	-		
3	6	6	0	0	0	0 pmy/m ³	3	-		
4	7	7	2	2	0	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	4	steriilejä		
5	2	2	0	0	0	7 pmy/m ³	5	-		
6	9	9	0	0	0		6	-		
yht.		34	2	2	0		Pintahygienia ilmanotto (MALT):			
<u>Ilmanotto</u>								Laimennos		
Laimennossarja	PCA		MALT Homeet	Hiivat	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	-1	-		
						1,80 pmy/cm ²	-2	-		
-1	0		0	0			-3	-		
-2	2		0	0		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-4	-		
-3	0		0	0		0 pmy/cm ²	Pintahygienia ulospuhallus (MALT):			
-4	0		0	0			Laimennos			
yht.	2		0	0			-1	-		
<u>Ulospuhallus</u>								-2	-	
Laimennossarja	PCA		MALT Homeet	Hiivat	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	-3	-		
						1,80 pmy/cm ²	-4	-		
-1	0		0	0			Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus			
-2	1		0	0		0 pmy/cm ²				
-3	0		0	0						
-4	1		0	0						
yht.	2		0	0						

TILA 7							28.loka	
Andersen								
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT	Korjattu pesäkeluku	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Lajitarkastelu:	
			Homeet	Hiivat		1371 pmy/m ³		
1	43	43	4	4	0 Keskimäärin neljä hlöä paikalla		Andersen (MALT), vaihe:	
2	37	37	5	5	0 mittauksen aikana, keräin oven	Aktinomykeettien kokonaispitoisuus	1 steriilejä+ 1 tunnistamaton	
3	62	67	18	18	0 suulla, ovea availtiin	0 pmy/m ³	2 steriilejä+ 1 tunnistamaton	
4	87	98	55	59		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	3 steriilejä+ 1 tunnistamaton	
5	113	133	30	31		428 pmy/m ³	4 Hiivoja+steriilejä+Penicillium	
6	10	10	0	0			5 steriilejä+ Penicillium	
yht.		388	112	117	4		6 -	
Ilmanotto								
Laimennossarja	PCA		MALT		Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ilmanotto (MALT):	
			Homeet	Hiivat		17,10 pmy/cm ²	Laimennos	
-1	17		1		0 Laitteen karkeasuodattimet		-1 steriilejä	
-2	2		0		0 olivat hyvin pölyiset	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-2 -	
-3	0		0		0 Rinnakkaisnäyte ilmanotosta	0,90 pmy/cm ²	-3 -	
-4	0		0				-4 -	
yht.	19		1		0			
Ulospuhallus								
Laimennossarja	PCA		MALT		Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ulospuhallus (MALT):	
			Homeet	Hiivat		9,00 pmy/cm ²	Laimennos	
-1	1		0		0		-1 -	
-2	9		0		0	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-2 -	
-3	0		0		0	0 pmy/cm ²	-3 -	
-4	0		0		0		-4 -	
yht.	10		0		0			

TILA 9		3.marras											
Andersen													
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT	Korjattu pesäkeluku	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Lajitarkastelu:						
			Homeet	Hiivat		428 pmy/m ³							
1	22	22	3	3	0		Andersen (MALT), vaihe:						
2	19	19	1	1	0		1 Penicillium+1 kpl tunnistamaton						
3	29	30	9	9	0		2 steriilejä						
4	33	34	65	71	0		3 steriilejä						
5	14	14	51	55	0		4 Cladosporium+steriilejä						
6	2	2	1	1	0		5 Penicillium+steriilejä						
yht.		121	130	140	0		6 steriilejä						
Ilmanotto													
Laimennossarja	PCA		MALT		Muuta huomioitavaa	Pintahygienia ilmanotto (MALT):							
			Homeet	Hiivat		Laimennos							
-1	Ei laskettu, koska näyte oli yön yli huoneenlämmössä		-	-		-1 Hiivoja+ 1 kpl tunnistamaton							
-2			-	-		-2 Hiivoja							
-3			-	-		-3 -							
-4			-	-		-4 Penicillium							
yht.													
Ulospuhallus													
Laimennossarja	PCA		MALT		Muuta huomioitavaa	Pintahygienia ulospuhallus (MALT):							
			Homeet	Hiivat		Laimennos							
-1	Ei laskettu, koska näyte oli yön yli huoneenlämmössä		0	0		-1 -							
-2			0	0		-2 -							
-3			0	0		-3 -							
-4			0	0		-4 -							
yht.													

TILA 10A		1.marras									
Andersen											
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT Homeet	Korjattu pesäkeluku Hiivat	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Lajitarkastelu:				
						1085 pmy/m ³	Andersen (MALT), vaihe:				
1	31	31	0	0	0	Aktinomykeettien kokonaispitoisuus 0 pmy/m ³	1	-			
2	23	23	3	3	0		2	Penicillium+steriilejä			
3	34	36	3	3	2		3	Hiivoja + steriilejä			
4	61	66	10	10	0	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus 120 pmy/m ³	4	Rhizopus			
5	110	129	16	16	0		5	steriilejä			
6	21	22	0	0	0		6	-			
yht.		307	32	32	2						
Ilmanotto											
Laimennossarja	PCA		MALT Homeet	Hiivat	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ilmanotto (MALT):				
						0,90 pmy/cm ²	Laimennos				
-1	1		2		0	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus 1,80 pmy/cm ²	-1	steriilejä			
-2	0		0		0		-2	-			
-3	0		0		0		-3	-			
-4	0		0		0		-4	-			
yht.	1		2		0						
Ulospuhallus											
Laimennossarja	PCA		MALT Homeet	Hiivat	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ulospuhallus (MALT):				
						0,00 pmy/cm ²	Laimennos				
-1	0		0		0	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus 0 pmy/cm ²	-1	-			
-2	0		0		0		-2	-			
-3	0		0		0		-3	-			
-4	0		0		0		-4	-			
yht.	0		0		0						

TILA 10B (steriili tila)		1.marras									
Andersen											
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT Homeet	Korjattu pesäkeluku	Hiivat	Muuta huomioitavaa	Lajitarkastelu:				
1	Ei sisäilmanäytettä						Andersen (MALT), vaihe:				
2							1	-			
3							2	-			
4							3	-			
5							4	-			
6							5	-			
yht.							6	-			
Ilmanotto											
Laimennossarja	PCA		MALT Homeet		Hiivat	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus		Pintahygienia ilmanotto (MALT):		
-1	0		0		0		0,00 pmy/cm ²		Laimennos	-1	-
-2	0		0		0		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus		-2	-	
-3	0		0		0		0 pmy/cm ²		-3	-	
-4	0		0		0				-4	-	
yht.	0		0		0						
Ulospuhallus											
Laimennossarja	PCA		MALT Homeet		Hiivat	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus		Pintahygienia ulospuhallus (MALT):		
-1	0		0		0		0,00 pmy/cm ²		Laimennos	-1	-
-2	0		0		0		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus		-2	-	
-3	0		0		0		0 pmy/cm ²		-3	-	
-4	0		0		0				-4	-	
yht.	0		0		0						

TILA 10C (steriili tila)		1.marras									
Andersen											
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT Homeet	Korjattu pesäkeluku Hiivat	Muuta huomioitavaa	Lajitarkastelu:					
1	Ei sisäilmanäytettä					Andersen (MALT), vaihe:					
2						1	-				
3						2	-				
4						3	-				
5						4	-				
6						5	-				
						6	-				
Ilmanotto											
Laimennossarja	PCA		MALT Homeet	Hiivat	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ilmanotto (MALT):				
-1	0		0		0	0,00 pmy/cm ²	Laimennos	-1	-		
-2	0		0		0		-2	-			
-3	0		0		0	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-3	-			
-4	0		0		0	0 pmy/cm ²	-4	-			
yht.	0		0		0						
Ulospuhallus											
Laimennossarja	PCA		MALT Homeet	Hiivat	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ulospuhallus (MALT):				
-1	0		0		0	0,00 pmy/cm ²	Laimennos	-1	-		
-2	0		0		0		-2	-			
-3	0		0		0	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-3	-			
-4	0		0		0	0 pmy/cm ²	-4	-			
yht.	0		0		0						

TILA 11									4.marras		
Andersen											
Vaihe	Aktinomy	PCA	Korjattu pe	Yht.bakt.+aktinon	MALT	Korjattu pesäkeluku	Muuta huomioitavaa		Bakteerien kokonaispitoisuus	Lajitarkastelu:	
					Homeet	Hiivat			558 pmy/m ³		
1	1	19	19	20	0	0	0 Sisäilmanäyte otettu kahvion aulasta			Andersen (MALT), vaihe:	
2		16	16	16	2	2	0 koska keittiössä juuri siivottu ja		Aktinomykeettien kokonaispitoisuus	1 -	
3		24	25	25	6	6	0 käsitelty ruokia		7 pmy/m ³	2 steriilejä	
4		44	47	47	20	20	0			3 steriilejä	
5		45	48	48	7	7	0		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	4 Penicillium+Cladosporium+steriilejä	
6	1	1	1	2	0	0	0		124 pmy/m ³	5 steriilejä	
yht.	2	156	156	158	35	35	0			6 -	
Ilmanotto									Muiden bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ilmanotto (MALT):	
Laimennossarja	PCA				MALT		Muuta huomioitavaa		551,2367 pmy/m ³	Laimennos	
					Homeet	Hiivat			Bakteerien kokonaispitoisuus	-1 Hiiva	
-1		1			0		1		0,90 pmy/cm ²	-2 -	
-2		0			0		0			-3 -	
-3		0			0		0		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-4 -	
-4		0			0		0		0,90 pmy/cm ²		
yht.	1	1			0		1				
Ulospuhallus									Muiden bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ulospuhallus (MALT):	
Laimennossarja	PCA				MALT		Muuta huomioitavaa		551,2367 pmy/m ³	Laimennos	
					Homeet	Hiivat			Bakteerien kokonaispitoisuus	-1 -	
-1		5			0		0		4,50 pmy/cm ²	-2 -	
-2		0			0		0			-3 -	
-3		0			0		0		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-4 -	
-4		0			1	Hylätään	0		0 pmy/cm ²		
yht.	5	5			0		0				

TILA 13 VERTAILUNÄYTE			17.marras																	
Andersen										Lajitarkastelu:										
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT	Korjattu pesäkeluku	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Andersen (MALT), vaihe:													
			Homeet	Hiivat		360 pmy/m ³	Laimennos													
1	28	28	0	0	0		1 -													
2	15	15	1	1	0	Aktinomykeettien kokonaispitoisuus	2 1 kpl tunnistamaton													
3	11	11	5	5	0	0 pmy/m ³	3 steriilejä													
4	17	17	31	32	0	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	4 Penicillium+steriilejä+Aspergillus													
5	28	29	15	15	0	191 pmy/m ³	5 steriilejä													
6	2	2	1	1	0		6 steriilejä													
yht.		102	53	54	0		Pintahygienia ilmanotto (MALT):													
Seinäpanelin taso										Laimennos										
Laimennossarja	PCA		MALT		Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	-1 -													
			Homeet	Hiivat		0,00 pmy/cm ²	-2 -													
-1	0		0		0		-3 -													
-2	0		0		0	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-4 -													
-3	0		0		0	0,00 pmy/cm ²														
-4	0		0		0															
yht.	0		0		0															

Asunto 1										
Andersen										
Vaihe	Aktinomyk	PCA	Korjattu pesäkeluku		MALT	Korjattu pesäkeluku		Muuta huomioitavaa		Bakteerien kokonaispitoisuus
				yht.bakt+aktinom.	Homeet		Hiivat			3332 pmy/m ³
1	0	74	74	74	6	6	1			
2	0	89	89	89	15	15	0			Aktinomykeettien kokonaispitoisuus
3	0	126	151	151	25	26	5			25 pmy/m ³
4	0	173	227	227	18	18	2			
5	0	228	338	338	130	157	0			Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus
6	7	53	57	64	3	3	0			823 pmy/m ³
Yht.	7		936	943	197	225	8			
Ilmanotto										Muiden bakteerien kokonaispitoisuus
Laimennossarja	PCA				MALT			Muuta huomioitavaa		3307 pmy/m ³
-1					Kts. lajitarkastelu					
-2										
-3			Näyte oli yön yli lämmössä, tuloksia ei laskettu							
-4										
Yht.										
Ulospuhallus										
Laimennossarja	PCA				MALT			Muuta huomioitavaa		
-1					Kts. lajitarkastelu					
-2										
-3			Näyte oli yön yli lämmössä, tuloksia ei laskettu							
-4										
Yht.										
Lajitarkastelu:										
Andersen (MALT), vaihe:					Pintahygienia ilmanotto (MALT):			Pintahygienia ulospuhallus (MALT):		
1	Penicillium+Cladosporium+steriilejä				Laimennos			Laimennos		
2	Cladosporium+1 kpl tunnistamaton (kuva)+steriilejä				-1 Trichoderma			-1 Trichoderma		
3	Cladosporium+1 kpl tunnistamaton (sama kuin vaiheessa 2)+steriilejä+hiivoja				-2 Hiivoja+2kpl tunnistamattomia			-2 Penicillium+Alternaria+1 kpl tunnistamaton pesäke (kuva)		
4	Penicillium+Cladosporium+steriilejä+hiivoja				-3 Trichoderma+hiivoja			-3 Sama tunnistamaton pesäke kuin laimennoksessa -2		
5	Penicillium+steriilejä				-4 Hiivoja			-4 Trichoderma		
6	steriilejä									

Asunto 2A		2.marras													
Andersen															
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT Homeet	Korjattu pesäkeluku Hiivat	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Lajitarkastelu: Laite A								
						2329 pmy/m ³	Andersen (MALT), vaihe:								
1	48	48	2	2	0 Uunissa poltettiin puita,	0 pmy/m ³	1 Penicillium+1 kpl tunnistamaton								
2	59	59	2	2	0 väliovi takkahuoneeseen suljettu		2 Penicillium								
3	76	84	6	6	0 n. 15 min mittausta	300 pmy/m ³	3 2kpl Scopulariopsis+steriilejä								
4	164	211	26	27			4 Penicillium+Cladosporium+steriilejä								
5	182	243	44	47			5 Penicillium+Cladosporium+steriilejä								
6	14	14	1	1			6 steriilejä								
		659	81	85	0										
Ilmanotto															
Laimennossarja	PCA		MALT Homeet	Hiivat	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ilmanotto (MALT):								
						1,80 pmy/cm ²	Laimennos								
-1	2		3		0	2,70 pmy/cm ²	-1 Penicillium+Cladosporium+hiiva								
-2	0		0		0		-2 -								
-3	0		0		0		-3 -								
-4	0		0		0		-4 -								
yht.	2		3		0										
Ulospuhallus															
Laimennossarja	PCA		MALT Homeet	Hiivat	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ulospuhallus (MALT), laimennos:								
						0,90 pmy/cm ²	Laimennos								
-1	1		10		0	10,80 pmy/cm ²	-1 Penicillium+Cladosporium+1 kpl tunnistamaton								
-2	0		2		0		-2 -								
-3	0		0		0		-3 -								
-4	0		0		0		-4 -								
yht.	1		12		0										

Asunto 3				2.marras											
Andersen															
Vaihe	aktinomyk	PCA	Korjattu pesäkeluku	Bakteerit+ aktinomykeetit	MALT Homeet	Korjattu pesäkeluku	Hiivat	Huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Lajitarkastelu:					
									3403 pmy/m ³	Andersen (MALT), vaihe:					
1	1	69	69	70	5	5	0			1 Penicillium+steriilejä					
2	0	63	63	63	11	11	0			2 Penicillium+Rhizopus					
3	1	118	140	141	28	29	0			3 Penicillium+Rhizopus					
4	1	190	258	259	106	123	6			4 Hiivoja, Penicillium					
5	0	249	390	390	41	43	0			5 Hiivoja, Penicillium					
6	0	38	40	40	0	0	0			6 -					
yht.	3		960	963	191	211	6								
Ilmanotto															
Laimennossarja	PCA			MALT				Huomioitavaa	Muiden bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ilmanotto (MALT), laimennos:					
				Homeet		Hiivat			3392,226 pmy/m ³						
-1		19			26		0			-1 Penicillium+Rhizopus					
-2		1			2		0			-2 Penicillium+Rhizopus					
-3		0			0		0			-3 -					
-4		0			0		0			-4 -					
yht.		20			28		0								
Ulospuhallus															
Laimennossarja	PCA			MALT				Huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ulospuhallus (MALT), laimennos:					
				Homeet		Hiivat			1,80 pmy/cm ²						
-1		2			14		1			-1 Penicillium+Rhizopus					
-2		0			1		0			-2 Penicillium					
-3		0			0		0			-3 -					
-4		0			0		0			-4 -					
yht.		2			15		1								
										Siieni-itiöiden kokonaispitoisuus					
										11 pmy/m ³					
										Siieni-itiöiden kokonaispitoisuus					
										767 pmy/m ³					
										Muiden bakteerien kokonaispitoisuus					
										3392,226 pmy/m ³					
										Bakteerien kokonaispitoisuus					
										18,00 pmy/cm ²					
										Siieni-itiöiden kokonaispitoisuus					
										25,20 pmy/cm ²					
										Bakteerien kokonaispitoisuus					
										1,80 pmy/cm ²					
										Siieni-itiöiden kokonaispitoisuus					
										14,40 pmy/cm ²					

Liikehuoneisto		2.marras									
<u>Andersen</u>											
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT	Korjattu pesäkeluku	Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Lajitarkastelu:		Laite A		
			Homeet	Hiivat		848 pmy/m ³	Andersen (MALT), vaihe:				
1	33	33	1	1	0 Ulko-ovea availtiin koko ajan,		1 steriilejä				
2	32	32	4	4	0 ihmisiä jatkuvasti paikalla	Aktinomykeettien kokonaispitoisuus	2 steriilejä+Penicillium				
3	38	40	12	12		0 pmy/m ³	3 Penicillium+Cladosporium+steriilejä				
4	76	84	21	22			4 Cladosporium+steriilejä				
5	44	47	19	19		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	5 Penicillium+steriilejä				
6	4	4	0	0		205 pmy/m ³	6 -				
yht.		240	57	58	0		Pintahygienia ilmanotto (MALT):				
<u>Laite A</u>											
<u>Ilmanotto</u>											
Laimennossarja	PCA		MALT		Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus	Laimennos				
			Homeet	Hiivat		5,40 pmy/cm ²	-1 -				
-1	6		0	0			-2 -				
-2	0		0	0		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-3 -				
-3	0		0	0		0,00 pmy/cm ²	-4 -				
-4	0		0	0			Pintahygienia ulospuhallus (MALT):				
yht.	6		0	0	0		Laimennos				
<u>Ulospuhallus</u>											
Laimennossarja	PCA		MALT		Muuta huomioitavaa	Bakteerien kokonaispitoisuus					
			Homeet	Hiivat		5,40 pmy/cm ²					
-1	4		50	0							
-2	2		5	0		Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus					
-3	0		0	0		49,50 pmy/cm ²					
-4	0		0	0							
yht.	6		55	0							

Liikehuoneisto, Laite B		2.marras													
Ilmanotto															
Laimennossarja	PCA	MALT		Muuta huomioitavaa		Bakteerien kokonaispitoisuus	Lajitarkastelu: Laite B								
		Homeet	Hiivat			0,00 pmy/cm²	Pintahygienia ilmanotto (MALT), laimennos:								
-1	0	4	0												
-2	0	0	0			Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-1 Penicillium+ 1 kpl tunnistamaton pesäke								
-3	0	0	0			3,60 pmy/cm²	-2 -								
-4	0	0	0				-3 -								
yht.	0	4	0				-4 -								
Ulospuhallus															
Laimennossarja	PCA	MALT		Muuta huomioitavaa		Bakteerien kokonaispitoisuus	Pintahygienia ulospuhallus (MALT), laimennos:								
		Homeet	Hiivat			1,80 pmy/cm²									
-1	2	21	0				-1 Penicillium								
-2	0	1	0			Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	-2 Penicillium								
-3	0	0	0			19,80 pmy/cm²	-3 -								
-4	0	0	1	Hylätään			-4 -								
yht.	2	22	0												

Ulkoilma 27.10							Bakteerien kokonaispitoisuus
							339 pmy/m ³
<u>Andersen</u>							
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT	Korjattu pesäkeluku	Muuta huomioitavaa	Aktinomykeettien kokonaispitoisuus	
			Homeet	Hiivat		0 pmy/m ³	
1	59	59	17	17	6 +5,3°C, RH 77,9%	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	
2	8	8	14	14	4	1099 pmy/m ³	
3	14	14	31	32	4		
4	7	7	100	115	0		
5	7	7	103	119	0		
6	1	1	0	0	0		
yht.		96	265	297	14		
Ulkoilma 28.10							Bakteerien kokonaispitoisuus
							39 pmy/m ³
<u>Andersen</u>							
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT	Korjattu pesäkeluku	Muuta huomioitavaa	Aktinomykeettien kokonaispitoisuus	
			Homeet	Hiivat		0 pmy/m ³	
1	1	1	20	20	0 +6°C, RH 65%	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	
2	3	3	50	50	4	1307 pmy/m ³	
3	2	2	85	96	0		
4	2	2	130	157	1		
5	2	2	40	42	0		
6	1	1	0	0	0		
yht.		11	325	365	5		

LIITE 2(23).

Tulokset

Ulkoilma 1.11							Bakteerien kokonaispitoisuus
							184 pmy/m³
Andersen							Aktinomykeettien kokonaispitoisuus
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT	Korjattu pesäkeluku	Muuta huomioitavaa	0 pmy/m³	
			Homeet	Hiivat			
1	27	27	50	50	0 +8,6°C, RH 74%	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	
2	12	12	0	0	0	1166 pmy/m³	
3	11	11	150	188	1		
4	2	2	60	65	0		
5	0	0	14	14	0		
6	0	0	12	12	0		
yht.		52	286	329	1		
Ulkoilma 2.11							Bakteerien kokonaispitoisuus
							39 pmy/m³
Andersen							Aktinomykeettien kokonaispitoisuus
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT	Korjattu pesäkeluku	Muuta huomioitavaa	0 pmy/m³	
			Homeet	Hiivat			
1	3	3	4	4	0 +10,8°C, RH 79,6%	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	
2	1	1	16	16	0	724 pmy/m³	
3	3	3	41	43	0		
4	1	1	105	122	0		
5	3	3	20	20	0		
6	0	0	0	0	0		
yht.		11	186	205	0		
Ulkoilma 3.11							Bakteerien kokonaispitoisuus
							39 pmy/m³
Andersen							Aktinomykeettien kokonaispitoisuus
Vaihe	PCA	Korjattu pesäkeluku	MALT	Korjattu pesäkeluku	Muuta huomioitavaa	0 pmy/m³	
			Homeet	Hiivat			
1	4	4	10	10	0 +9,4°C, RH 74%	Sieni-itiöiden kokonaispitoisuus	
2	2	2	23	23	0	2159 pmy/m³	
3	4	4	58	63	0		
4	1	1	232	347	0		
5	0	0	136	166	2		
6	0	0	0	0	0		
yht.		11	459	609	2		