

Rauno Vanhapiha

ILMASTOINTILAITOKSEN PUHTAUS JA HYGIENIA

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2013

ILMASTOINTILAITOKSEN PUHTAUS JA HYGIENIA

Vanhapiha Rauno
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Kesäkuu 2013
Ohjaaja: Sandberg Esa
Sivumäärä: 87
Liitteitä: 5

Asiasanat: Ilmastointi, hygieeninen, suodattimet, kuparinen, lämmönsiirrin

Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä, yhdistää ja selventää eri lähteistä saatavaa tietoa puhtaan ja hygieenisen ilmastointilaitoksen suunnittelu- ja toteutustyötä varten.

Työ tehtiin kirjallisuuskatsauksena, eri lähteistä etsittiin tietoa kyseisistä aiheista ja tiedot referoitiin yhtenäiseksi kokonaisuudeksi opinnäytetyöhön. Asioita ja tietoja havainnollistettiin kuvilla, taulukoilla, liitteillä ja laskentakaavoilla.

Kootun materiaalin perusteella todetaan, että puhtaan ja hygieenisen ilmastointilaitoksen toteuttaminen vaatii tarkat esitiedot rakennuksen rakenteesta ja sen käyttötarkpeesta, jotta suunnitteluprojekti voidaan luotettavasti aloittaa. Suunnittelijalta vaaditaan laaja-alaista taustatietoa ilmastointijärjestelmistä ja niiden toiminnasta. Lisäksi tarvitaan tietoa hygieniasta, mikrobiologiasta, tavanomaisista epäpuhtauksista sekä niiden lisääntymisen ja leviämisen estämisestä erilaisin menetelmin. Työssä käsitellään yksityiskohtaisemmin ilmastointilaitteiston osakomponenttien puhtauteen vaikuttavia asioita sekä rakentamisen että käytön aikana. Hygieenisen ilmastointilaitoksen suodatinvaatimuksia, ilmankostuttimien ja lämmönsiirtimien erityisominaisuuksia käydään läpi puhtaan sisäilman näkökulmasta. Kuparin ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia puhtaan ilmastointilaitoksen toteutuksessa käydään läpi tutkimusten pohjalta. Lisäksi työssä esitellään ilmanvaihtojärjestelmien toteutuksen valvontaa ja käytönaikaista huoltoa ja ylläpitoa.

CLEANLINESS AND HYGIENE OF AIR CONDITIONING SYSTEM

Vanhapiha Rauno

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in bachelor's science

Juni 2013

Supervisor: Sandberg Esa

Number of pages:87

Appendices: 5

Keywords: Keywords: Air Conditioning, hygienic, filters, copper, heat exchanger

The propose on this thesis was to collect, integrate and clarify the different sources of clean and hygienic air conditioning system design and implementation work.

The thesis was carried out as review of the literature a variety of sources were searched for information on those topics, and collected the information into a coherent whole thesis. Facts and information were illustrated with images, tables, annexes and calculation formulas.

Of collected material, it follows that a clean and hygienic air conditioning plant will require a thorough case history of the building structure and the knowledge of the exact needs of users before the designing project can successfully begin. The designer requires extensive background information on air conditioning systems and their operation. In addition, information is needed for maximum hygiene, microbiology, conventional pollutants and variety of methods how the prevent the proliferation and spread of these pollutants. In this thesis were discussed in more detail about subcomponents of the purity of air conditioning equipment, as well as issues affecting the construction and operation period. Among other things, the hygienic requirements for air conditioning system filters, humidifiers, and heat transfer characteristics were discussed through the point of view of clean indoor air. Copper properties and uses of clean air conditioning system implementation will take place through the surveys. In addition, the work presents important things including in ventilation systems implementation and monitoring of in-use operation and maintenance.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	SISÄILMASTO.....	9
2.1	Sisäilman laatu	10
2.2	Suomen RakMK D2 mukainen sisäilmasto	11
2.3	Sisäilmaluokitus 2008.....	13
2.3.1	S1: Yksilöllinen sisäilmasto	13
2.3.2	S2: Hyvä sisäilmasto	15
2.3.3	S3: Tyydyttävä sisäilmasto.....	16
2.4	Sisäilmaluokat standardin EN 13779:2007 mukaan.....	16
2.5	Ulkoilmaluokat	18
3	ILMAN EPÄPUHTAUDET	19
3.1	Epäpuhtauslähteet	19
3.2	Kaasumaiset epäpuhtaudet.....	20
3.2.1	Hiilidioksidi	20
3.2.2	Typpioksidit	20
3.2.3	Häkä eli hiilimonoksidi	21
3.2.4	Otsoni	21
3.2.5	Radon	21
3.2.6	Formaldehydi	21
3.2.7	Muut orgaaniset kaasut.....	22
3.2.8	Termodesortiossa syntyvät yhdisteet.....	22
3.2.9	Tupakan savu	22
3.2.10	Muut kaasumaiset epäpuhtaudet	23
3.3	Kiinteät hiukkaset	23
3.3.1	Leijuva pöly	23
3.3.2	Asbesti	24
3.3.3	Mineraalivillat	24
3.4	Biologiset aineet.....	25
3.4.1	Allergeenit	25
3.4.2	Pölypunkit	26
3.4.3	Homeet	26
3.4.4	Legionellabakteeri	26
3.4.5	Muut bakteerit ja virukset.....	27
4	ILMANVAIHTOKANAVAT.....	28
4.1	Epäpuhtaudet.....	28

4.2	PÖLYKERTYMÄ KANAVISTOSSA.....	29
4.2.1	Rakennusvaiheen pölykertymä.....	29
4.2.2	Käytönaikainen pölykertymä.....	30
4.2.3	Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastaminen	30
4.3	Ilmanvaihtokanavan suunnittelu	31
5	ULKOILMAN SISÄÄNOTTO.....	34
5.1	Ulkoilmasäleiköt.....	35
5.1	Ulkoilmakammio	38
6	LAITTEITA	40
6.1	Patterit	40
6.1.1	Lämmityspatteri.....	40
6.1.2	Jäähdytyspatterit	40
6.2	Suodattimet	41
6.2.1	Suodattimen toiminta periaate.....	41
6.2.2	Suodattimien suunnittelu	44
6.2.3	Suodattimen pinta-ala.....	45
6.2.4	Suodattimen valinta.....	46
6.2.5	Suodatinluokkien valinta.....	46
6.2.6	Suodattimen painehäviö	48
6.2.7	Suodattimen huolto.....	48
6.2.8	Suodattimen vaihtoväli.....	48
6.3	Lämmöntalteenottolaitteet	49
6.3.1	Regeneratiiviset lämmöntalteenottolaitteet	49
6.3.2	Rekuperatiivinen lämmöntalteenotto.....	54
6.4	Sulkupellit.....	54
6.5	Säätöpellit	54
6.6	Puhdistusluukut.....	55
6.7	Päätelaitteet	56
6.7.1	Pinnoitetut päätelaitteet	57
6.7.2	Ilmastointipalkit.....	57
6.7.3	Puhallinkonvektori	58
6.8	Äänenvaimentimet	59
6.9	Puhaltimet	59
6.10	Kostuttimet.....	60
6.10.1	Höyrykostutin	60
6.10.2	Haihduuttavat kostuttimet.....	61
6.10.3	Ruiskuttavat kostuttimet	61
6.10.4	Ultraäänikostuttimet.....	61

6.11	Kuparinen lämmönsiirrin	61
6.11.1	Sienilajien vastustuskyky kuparimateriaaleja kohtaan	62
6.11.2	Huoneilman itiöpitoisuus kuparisella lämmönsiirtimellä	62
6.11.3	Energiatehokkuus kuparisella lämmönsiirtimellä	63
7	ILMANVAIHTOLAITOKSEN ERISTYKSET	65
7.1	Ilmastointilaitteiden lämmöneristyskyky	65
7.2	Kylmäsilta	66
8	PUHDASTILA	68
8.1	Puhdastilojen käyttökohteet	68
8.2	Epäpuhtaudet puhdastilassa	68
8.3	Puhdastilan ilma	69
8.4	Puhdastilan painetaso	71
8.5	Ilmanjako	72
8.6	Rakenteet	73
8.7	Prosessin validointi	73
8.8	Laitekvalifiointi	75
8.8.1	Design qualification	75
8.8.2	Installation qualification	76
8.8.3	Operational qualification	76
8.8.4	Process qualification	76
8.9	Hygieenisten- ja puhdastilojen ilmastointikoneiden ominaisuuksia	76
9	ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN TOTEUTUKSEN VALVONTA	78
9.1	Rakennusaikainen valvonta	78
9.2	Käyttöönoton valvonta	78
10	ILMANVAIHTOLAITTEIDEN HUOLTO	80
10.1	Laitteiden huolto	80
10.1.1	Suodattimen vaihto	80
10.1.2	Lämmitys- ja jäähdytyspatterien puhdistus	80
10.1.3	LTO- laitteiston puhdistus	80
10.1.4	Kanavien puhdistus	81
10.1.5	Puhaltimien, moottorien ja kotelon puhdistus	81
10.1.6	Päätelaitteiden puhdistus	81
10.1.7	Ulkosäleikön ja tuloilmakammion puhdistus	81
10.1.8	Äänenvaimennin puhdistus	81
10.1.9	Pisaraerottimen puhdistus	82
10.1.10	Kostuttimen puhdistus	82
10.1.11	Palo-, säätö- ja sulkupeltien puhdistus	82
10.1.12	Alakaton yläpuolen puhdistus	82

10.1.13	Kondenssivesiviemäreiden tarkastus.....	82
10.1.14	IV-konehuoneen puhdistus.....	83
10.1.15	Säätölaitteiden huolto ja tarkastus.....	83
LÄHTEET		84
LIITTEET		

1 JOHDANTO

Työn tavoitteena oli kerätä yhteen asioita, joiden avulla voidaan rakennukseen saavuttaa korkeatasoinen ja viihtyisä sisäilmasto sekä puhdas ja hygieeninen laitteisto. Tätä varten on kerätty tärkeitä aineistoa, jotka edesauttavat tämän päämäärän saavuttamista. Työ on toteutettu kirjallisuustutkimuksena, jossa lähdeaineistona on määräyksiä, ohjeita, standardeja, oppikirjoja, tutkimusraportteja ja valmistajien teknistä materiaalia. Työ on laadittu osana SAMKin Hygtech-hanketta.

Työstä on rajattu pois äänitekniikka ja mitoitukseen liittyvät laskelmat niiltä osin kuin ne eivät vaikuta puhtauteen ja hygieniaan.

Puhdastilan ilmastointia otettiin työhön mukaan, vaikkei se tavanomaiseen ilmastointiin suoranaisesti kuulu. Puhdastilan ilmastoinnista saa mallia ja toimintaohjeita tavanomaista hygieenistä ilmastointia varten, sillä niissä on jo monet ongelmat ratkaistu. Tietysti puhdastilojen ratkaisut eivät tavanomaiseen ilmastointiin suoraan käy liian korkeiden kustannusten, tilavaatimusten ym. takia. Puhdastilojen prosessin validoinnista saa ohjeita dokumentaation tekoon ja valvontaan.

Hyvään ja hygieeniseen ilmanvaihtoon kannattaa pyrkiä, se lisää mm. asumisen viihtyvyyttä ja laatua. Tämä käy hyvin ilmi kun tarkastelee Suomeen ensimmäistä sisäilmastoluokituksen S1-luokkaan rakennettua Puijonkartanon kerrostaloa, jonka rakennusvuosi oli 1997. Rakennus on ollut käytössä 15 vuotta ja siitä on tehty tutkimuksia ja asukaskyselyjä. Kun rakennus valmistui 1990 luvulla, siitä tuli noin 0.5 €/m² kalliimpi kuin tavanomaisesti rakennetusta vastaavasta rakennuksesta. Rakennusvaiheen kustannusten nousu on kuitenkin saatu katettua täysin energian säästöllä, sillä naapuritalo on rakennettu tavanomaisilla ratkaisuille ja neliövuokra on ollut kalliimpi kuin Puijonharjun S1 rakennuksen. Investointi parempaan sisäilmanlaatuun on ollut kannattavaa niin taloudellisesti kuin asumisviihtyvyyden suhteenkin. (Lommi 2013).

2 SISÄILMASTO

Sisäilmasto muodostuu sisäilmasta ja fysikaalisista tekijöistä, jotka vaikuttavat sisäilmaan. Fysikaalisia tekijöitä ovat

- sisäilman kaasumaiset yhdisteet
- sisäilman hiukkasmaiset epäpuhtaudet
- lämpötila
- kosteus
- ilman liike
- säteily
- valaistus
- melu.

Sisäilmastoa voidaan pitää hyvänä, jos rakennuksen käyttäjät eivät koe rakennukseen liittyviä oireita (Sisäilmayhdistys 2008).

Sisäilmaa voidaan pitää hyvänä, kun suurin osa rakennuksen käyttäjistä on tyytyväisiä sisäilman laatuun ja sisäilman haittatekijöistä ei aiheudu terveydellistä vaaraa.

Sisäilman laatu on tärkeää, koska ihminen viettää noin 90 % ajastaan sisätiloissa ja hengittää vuorokaudessa 40 m³ ilmaa.

Valaistuksella on merkitystä viihtyvyyteen, valaistuksen tulee olla riittävää tarkkojen tehtävien suorittamiseksi ilman että valaistus aiheuttaa heijastusta ja häikäisyä.

Ilmastointijärjestelmä tulee täyttää asetetut vaatimukset ja määritellyt äänenpainetasen enimmäistavoite arvot (SFS – EN 13779).

Asunnon ilman suhteellisen kosteuden tulisi olla noin 20 – 60 %. Aina se ei kuitenkaan ole mahdollista muun muassa ilmastollisista syistä (Aurola 2003).

2.1 Sisäilman laatu

Rakennuksen sisäilmassa ei saa olla terveydelle haitallisia määriä kaasuja, hiukkasia, mikrobeja, eikä viihtyisyyttä alentavia hajuja. Sisäilman hiilidioksidipitoisuus normaaleissa sääolosuhteissa ja huonetilan käyttöaikana on enintään 2160 mg/m³ (1200 ppm). Taulukossa 2.1.1 on arvoja sisätilan epäpuhtauksien pitoisuusarvoja, sisäilmaston suunnittelemiseksi ja toteuttamiseksi (Suomen RakMK D2 2012,2.3).

Taulukko 2.1.1 Arvoja sisäilman epäpuhtauksien enimmäisarvoista (Suomen RakMK D2 2012, 2.3)

Epäpuhtaus	yksikkö	suunnittelun ohjearvo / pitoisuus enintään
Ammoniakki ja amiinit	µg/m ³	20
Asbesti	kuitua/cm ³	0
Formaldehydi	µg/m ³	50
Hiilimonoksidi	mg/m ³	8
Hiukkaset PM10	µg/m ³	50
Radon	Bq/m ³	200 (vuosikeskiarvo)
Styreeni	µg/m ³	1

Lisäksi terveyshaittojen ehkäisemiseksi sisäilman laadun tulee täyttää valtioneuvoston asetuksen (711/2001) arvot (Suomen RakMK D2 2012, 2.3).

2.2 Suomen RakMK D2 mukainen sisäilmasto

”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääolosuhteissa ja käyttötiloissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto” (D2, 5).

Sisäilman hiilidioksidipitoisuus tulee olla tavanomaisissa säätiloissa ja käyttöaikana yleensä enintään 1200 ppm (D2, 7).

Yleensä ulkoilmavirran tulee olla vähintään $0.35 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$, joka vastaa 2,5 m korkeassa huoneessa 0,5 1/h ilmanvaihtokerrointa. Ilmanvaihdon ohjaus tulee mitoittaa asuinrakennuksessa siten, että asunnon ilmavirta voi olla vähintään 30 % suurempi käyttöajan ilmavirta (D2, 10).

Ilmavirtojen ja ilmanvaihtokertoimien D2-2012 mukaisia ohjearvoja on taulukoitu taulukkoon 2.2.1 ja 2.2.2. Taulukoissa on vain asuinrakennuksen ja toimistorakennuksen arvoja, muihin rakennusten käyttötarkoituksiin löytyy D2 omia taulukoita.

Taulukko 2.2.1 Asuinrakennukset (D2 2012).

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/m ²	Ilmanvaihtokerroin 1/h
Asuintilat	6		
Asuinhuoneet		0,5	
Yhteistilat:			
Porrastilat			0,5
Varastot		0,35	
Kylmäkellari		0,2	
Pukuhuone		2	
Pesuhuone		3	
Saunan löylyhuone		2	
Talopesula		1	
Kuivaushuone		2	
Kerhuhuone		1,5	

Taulukko 2.2.2 Toimistorakennukset (D2 2012).

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/m ²	Ilmanvaihtokerroin 1/h
Toimistohuone		1,5	
Neuvotteluhuone	8	4	
Asiakastila		2	
Käytävä		0,5	
Kahvio		5	

2.3 Sisäilmaluokitus 2008

Sisäilmaluokitusta 2008 voidaan pitää alustavana apuneuvona, kun pyritään puhtaampaan sisäilman laatuun. Se on luotu apuvälineeksi rakennus- ja talotekniseen suunnitteluun ja urakointiin sekä rakennusteollisuudelle, tarkoituksena saavuttaa terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. Luokitus antaa sisäilmaston tavoite- ja suunnitteluarvot.

Luokituksessa hyväksi sisäilman perustasoksi on määritelty luokka S2, sen tavoitteena on sopiva lämpötila ja hyvä ilman laatu, ääni ja valaistusolosuhteet. S1 luokka eroaa S2 lämpötilojen ja valaistuksen yksilöllisen säädön osalta, lisäksi epäpuhtauksien määrä on pienempi. Tässä kerrotaan sisäilmaluokituksen vaatimukset liittyen sisäilman puhtauteen ja suureisiin, sivuutetaan ääni-, valaistus- ja pääsääntöisesti lämpötilavaatimukset (Säteri 2008).

Ilmanvaihdon mitoitus perustuu EN 15251:een

2.3.1 S1: Yksilöllinen sisäilmasto

Sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä ole havaittavia hajuja. Ilmaan kosketuksissa olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauksia. Lisäksi tilassa ei ole vedontunnetta (Säteri 2008).

S1- luokan mukaiset ulkoilmavirtaukset normaaliin käyttötilanteeseen, huonetilojen lämpöhallinta voi vaatia suurempia virtauksia. Ilmavirrat ovat taulukossa 2.3.1(Säteri 2008).

S1- luokassa tilan ihmisperäisiä epäpuhtauksia kuvaavan hiilidioksidin enimmäistaso on 750 ppm. Rakennus- ja sisustusmateriaalien epäpuhtauksien haittavaikutukset torjutaan käyttämällä vähäpäästöisiä M1-luokan rakennusmateriaaleja. Rakennustyöt tulee suorittaa P1 puhtausvaatimusten mukaan (Säteri 2008).

Taulukko 2.3.1 S1 luokan mukaiset ulkoilmavirtaukset (Säteri 2008).

Tila	Lattia-ala m ² /hlö	Ulkoilmavirta dm ³ /s henkilölle	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/m ² neliölle
Toimitila,normaali tilatehokkuus	12	16	1,5
Toimitila, suuri tilatehokkuus	8	14	2,0
Neuvotteluhuone	3	12	4,0
Taukotila, kahvio	1,5	11	7,0
Hotellihuone	10	15	1,5
Luokkahuone	2	11	5,5
Luentosali	1	11	10,5
Käytävä, aula koulussa	2	11	5,5
Aula	6	13	2,0
Päiväkoti	3	12	4,0

2.3.2 S2: Hyvä sisäilmasto

Sisäilman laatu on hyvä eikä ole häiritseviä hajuja. Ilmaan kosketuksissa olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauksia. Lisäksi tilassa ei ole yleensä vedontunnetta (Säteri 2008).

S2 luokan mukaiset ulkoilmavirtaukset normaaliin käyttötilanteeseen ovat taulukossa 2.3.2 (Säteri 2008), huonetilojen lämpöhallinta voi vaatia suurempia virtauksia. .

S2- luokassa tilan ihmisperäisiä epäpuhtauksia kuvaavan hiilidioksidin enimmäistaso on 900 ppm. Rakennus- ja sisustusmateriaalien epäpuhtauksien haittavaikutukset torjutaan käyttämällä vähäpäästöisiä M1-luokan rakennusmateriaaleja. Rakennustyöt tulee suorittaa P1- puhtausvaatimusten mukaan (Säteri 2008).

Taulukko 2.3.2 S2 luokan mukaiset ulkoilmavirrat (Säteri 2008).

Tila	Lattia-ala m ² /hlö	Ulkoilmavirta dm ³ /s henkilölle	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/m ² neliölle
Toimitila, normaali tilatehokkuus	12	13	1,5
Toimitila, suuri tilatehokkuus	8	11	1,5
Neuvotteluhuone	3	9	4,0
Taukotila, kahvio	1,5	8	5,0
Hotellihuone	10	12	1,0
Luokkahuone	2	8	4,0
Luentosali	1	8	7,5
Käytävä, aula koulussa	2	8	4,0
Aula	6	10	2,0
Päiväkoti	3	9	2,5

2.3.3 S3: Tyydyttävä sisäilmasto

Sisäilman laatu täyttää rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. Eri suureiden tavoite- ja suunnittelu arvot valitaan laatuluokista tai määritellään suureen arvo.

Rakennus- ja sisustusmateriaalien epäpuhtauksien haittavaikutukset torjutaan käyttämällä vähäpäästöisiä M1-luokan rakennusmateriaaleja (Säteri 2008).

2.4 Sisäilmaluokat standardin EN 13779:2007 mukaan.

Sisäilmaluokituksessa on neljä eri luokkaa sisäilmalle, taulukossa 2.4.1 nämä luokat on esitetty. Mikäli sisäilman arvoja ei ole annettu, oletus arvoina käytetään sisäilman laatuluokassa IDA2 mukaisia ulkoilman arvoja henkilöä kohden. (SFS EN 13779,18)

Taulukko 2.4.1. Standardin EN 13779:2007 mukaiset sisäilmaluokat.

Luokka	Sisäilma tyyppi
IDA1	Hyvä sisäilman laatu
IDA2	Keskinkertainen sisäilman laatu
IDA3	Kohtalainen sisäilman laatu
IDA4	Huono sisäilman laatu

(SFS-EN 13779:2007)

Sisäilma luokituksessa on jokaiselle sisäilma luokalle oma tavoiteltava CO₂ -pitoisuus, taulukossa 2.4.2 nämä arvot on esitelty. Ulkoilman pitoisuus on maantieteellisestä paikasta riippuen noin 350 – 400 ppm.

Taulukko 2.4.2. EN 13779:2007 mukaiset CO₂ taso huoneissa.

LUOKKA	Ulkoilman CO ₂ pitoisuutta korkeampi	
	tyypillinen pitoisuus	Oletusarvo
IDA 1	≤400	350
IDA 2	400 - 600	500
IDA 3	600 - 1000	800
IDA 4	>1000	1200

EN 13779:2007 Standardin mukaiset ulkoilmavirrat on esitetty taulukossa 2.4.3. Taulukossa on erilliset ilmavirrat tiloissa, jossa voidaan tupakoida, Suomessa on kuitenkin tupakkalaki (lisää kohdassa tupakan savu) (kirjoittaja).

Taulukko 2.4.3 EN 13779:2007 mukaiset ulkoilmavirrat henkilöä kohden.

Luokka	Yksikkö	Ulkoilman määrä henkilöä kohden			
		Tupakoimaton alue		Tupakoiva alue	
		Tyypillinen	Oletusarvo	Tyypillinen	Oletusarvo
IDA 1	$\frac{L}{s * henkilö}$	>15	20	>30	40
IDA 2	$\frac{L}{s * henkilö}$	10 - 15	12,5	20 - 30	25
IDA 3	$\frac{L}{s * henkilö}$	6 - 10	8	12 - 20	16
IDA 4	$\frac{L}{s * henkilö}$	<6	5	<12	10

(EN 13779:2007)

2.5 Ulkoilmaluokat

SFS-EN 13779 standardin mukaiset ulkoilmaluokat esitetään taulukossa 2.5.1, luokkia on kolme erillaista.

Ulkoilmaluokkien avulla voidaan valita suodatusluokat, luokkien valinnassa tulee huomioida lisäksi sisäilman vaatimukset.

Rakennuksen ulkoilma-aukot tulee sijoittaa kohtiin, jossa ulkoilma on puhtainta (SFS-EN 13779 -2007).

ODA 1 sovelletaan, kun WHO: n (1999) vaatimukset tai kansalliset ilmanlaadun standardeja koskevat määräykset täyttyvät.

ODA 2 sovelletaan, kun epäpuhtauspitoisuudet ylittävät korkeintaan 1.5 kertaisesti, WHO: n (1999) vaatimukset tai kansalliset ilmanlaadun standardeja koskevat määräykset.

ODA 3 sovelletaan, kun epäpuhtauspitoisuudet ylittävät vähintään 1.5 kertaisesti, WHO: n (1999) vaatimukset tai kansalliset ilmanlaadun standardeja koskevat määräykset (EN 13779:2007).

Taulukko 2.5.1. Ulkoilmaluokat EN 13779:2007 standardin mukaan.

ODA 1	Puhdasilma
ODA 2	Pölyinen ilma
ODA 3	Suuria pitoisuuksia pölyä tai kaasua

3 ILMAN EPÄPUHTAUDET

3.1 Epäpuhtauslähteet

Tiedot sisäilman epäpuhtauksista ja niiden vaikutuksista ihmisiin ovat parantuneet. Joillekin epäpuhtauksille on voitu antaa raja-arvoja.

Rakennus- ja sisustusmateriaalit ovat useiden epäpuhtauksien lähteitä. Materiaaleihin voi absorboitua erilaisia epäpuhtauksia, jotka voivat myöhemmin ilmaan vapautuessaan aiheuttaa ilman laadun huononemista. (Seppänen 2004,20)

Rakennusaikana keskeneräinen ilmanvaihto järjestelmä on alttiina rakennustyömaan pölylle ja lialle. Tämän torjumiseksi ilmanvaihtojärjestelmän asennustyöltä pitää edellyttää Sisäilmaluokituksessa kuvatun P1-puhtausluokan vaatimusten täyttymistä. Järjestelmä rakennetaan M1 – puhtausluokitelluista osista, ja keskeneräiset asennukset suojataan asennustaukojen ajaksi. (Holopainen, Räsänen, Railio, Säteri & Virranta P. 2012, 24)

Epäpuhtauksien torjunnassa tulisi päähuomio kiinnittää epäpuhtauslähteiden poistamiseen, ja vähentämiseen.

3.2 Kaasumaiset epäpuhtaudet

3.2.1 Hiilidioksidi

Hiilidioksidin pääasiallinen lähde sisätiloissa on ihmisen hengittäminen. Toimistotyössä sitä syntyy noin 24 l/h. Hiilidioksidia syntyy myös kaikessa palamisessa.

Huonetilan korkea hiilidioksidipitoisuus kuvaa liian heikkoa ilmanvaihtoa. Hengityksen ja ihon kautta vapautuvien epäpuhtauksien määrä on lähes suoraan verrannollinen hiilidioksidin tuottoon. Siksi voidaan hiilidioksidipitoisuutta käyttää indikaattorina kuvaamaan ilman epäpuhtauksien määrää, vaikka pelkkä hiilidioksidin määrä ei olisikaan haitallinen (Asikainen 2000).

Sisäilmanluokitus S1- luokan hiilidioksidipitoisuuden raja on 700 ppm, se vastaa 19.1 l/s ilmavirtaa henkilöä kohden. Tutkimuksissa on saatu tulokseksi, että ilmastointi tulisi olla 20 - 25 l/s henkilöä kohti toimistotyössä, tämä pienentäisi henkilöiden oireilua ja sairastuvuutta (Seppänen 2004, 22).

3.2.2 Typpioksidit

Typpioksidia (NO_2) syntyy korkeassa lämpötilassa tapahtuvassa palamisessa. Lähteitä sisätiloissa ovat poltto avoliekillä kotitalous- ja lämmitystarkoituksissa. Ulkoisia lähteitä ovat liikenne, lämmön- ja sähköntuotanto. Typpidioksidilla on biokemiallisia vaikutuksia ihmiseen. Sen torjunnassa sisätiloissa on huolehdittava siten, että avoliekillä palamisesta syntyvät palamistuotteet johdetaan ulos (Asikainen 2000).

3.2.3 Häkä eli hiilimonoksidi

Hiilimonoksidia syntyy epätäydellisestä palamisesta. Häkää syntyy sisätiloissa huolimattomasta tulisijan käytöstä, tupakan polttamisesta sekä polttomoottoreiden pakokaasuista. Häkä sitoutuu veren hemoglobiiniin ja aiheuttaa elimistöön hapen puutteen. Suomessa kuolee häämyrkytyksiin ihmisiä vuosittain (Seppänen 2004, 22).

3.2.4 Otsoni

Otsoni (O_3) syntyy valokemiallisessa reaktiossa ulkoilmassa ja sähköpurkauksien yhteydessä. Kemiallisesti se on kaikkein reaktiivisin hengitysteihin vaikuttava kaasu, se lisää hengitysvastusta ja vaikuttaa veren entsyymipitoisuuteen. Otsonipitoisuus kohoaa korkeaksi vain poikkeustapauksissa sisätiloissa. Otsonia syntyy laitteissa, joissa tapahtuu sähköpurkauksia, esim. lasertulostimet, kopiokoneet ja sähkösuodattimet (Asikainen 2000).

3.2.5 Radon

Radon syntyy radioaktiivisen radiumin hajotessa. Radiumia on maaperän kiviaineissa. Kaasumaisessa muodossa oleva radon kulkeutuu sisätiloihin pääosin maaperän kautta kulkevan ilman mukana, lisäksi lähteitä voivat olla kiviainekset, rakennusmateriaalit ja porakaivovesi. Ilman korkea radon-pitoisuus lisää keuhkosityöpäriskiä. Erityisen ongelmaisia ovat soralle ja muulle läpäiseville aineille rakennetut, maanvaraiset laattaperustukset (Asikainen 2000).

3.2.6 Formaldehydi

Formaldehydi on teollisuudessa käytettävä kemikaali, jota käytetään ennen kaikkea liima- ja pintakäsittelyaineissa. Se aiheuttaa hengitysteiden ja silmän ärsytystä ja isompina pitoisuuksina päänsärkyä, pahoinvointia, väsymystä. Sisäilmaluokituksessa S1 suurin sallittu määrä on $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Rakennusten sisustusmateriaaleilla ja niiden

pinnoitteiden valinnalla voidaan formaldehydi-pitoisuutta laskea. Samoin tehostettu ilmanvaihto laskee pitoisuutta (Asikainen 2000).

3.2.7 Muut orgaaniset kaasut

Huoneilmassa on lukuisia orgaanisia epäpuhtauksia, nämä ovat peräisin rakennus- ja sisustusmateriaaleista, liimoista ja lakoista. Pitoisuudet ovat suhteellisen pieniä ja rakennuksen vanhetessa pitoisuudet laskevat entisestään. Pitoisuus esitetään orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuutena TVOC (Seppänen 2004, 25).

3.2.8 Termodesortiossa syntyvät yhdisteet.

Lämmityspattereiden pintaan kerääntyneen orgaanisen pölyn kuumentuessa syntyy termodesortion vaikutuksesta uusia yhdisteitä. Nämä voivat tuntua hajuhaittoina, näitä yhdisteitä ovat esimerkiksi alifaattiset aldehydit, alifaattiset alkaanit, alifaattiset karboksiilihapot, phalaattiesterit ja fosfaatit (Asikainen 2000).

3.2.9 Tupakan savu

Tupakoinnissa ilmaan siirtyy tuhansia yhdisteitä, joista yli sata on ihmisille haitallista. Tupakoidessa ympäristöön siirtyy 80 % savusta. Tämän savun lämpötila on matalampi, ja siksi siinä on paljon enemmän myrkyllisiä kaasuja kuin tupakoivan hengittämässä pääsavussa. Tupakansavussa on kaasumaisia yhdisteitä ja hiukkasia.

Lisäksi on huomioitava että tupakansavun nestemäiset ja kiinteät komponentit kiinnittyvät huoneen pintoihin, josta ne vähitellen vapautuvat ja aiheuttavat epämiellyttävän hajun. Täten tupakan vaikutuksia ei voida kokonaan poistaa ilmanvaihdolla (Asikainen 2000).

Suomessa on laissa määrätty, että tupakointi on kielletty kaikissa julkisissa ja yleisissä tiloissa. Kielto koskee myös sisätiloissa järjestettyjä yleisiä tilaisuuksia. Ravintolan sisätiloissa tupakointi on sallittu ainoastaan erityisissä tupakointiin hyväksytyissä erillisissä tupakointitiloissa (THL 2013).

3.2.10 Muut kaasumaiset epäpuhtaudet

Sisäilmassa voi olla edellä esitettyjen aineiden lisäksi olla monia epäpuhtauksia. Ne voivat olla kaasun muodossa. Näiden merkitystä ihmisten hyvinvointiin ei tunneta. Epäorgaanisten aineiden kohdalla tärkein on ammoniakki, sitä syntyy kaseiinia sisältävien tasoitteiden kostuessa ja hajotessa (Seppänen 2004, 30).

3.3 Kiinteät hiukkaset

3.3.1 Leijuva pöly

Huoneilman olevan leijuva pölyn hiukkaskoko vaihtelee. Pienimmät hiukkaset alle 5 μm :n kulkeutuvat ilmavirtauksien mukana, mitä isompia hiukkaset ovat sen nopeammin ne laskeutuvat.

Hiukkaset ovat peräisin sekä sisältä että ulkoa. Sisätilojen hiukkaslähteitä ovat tupakointi, lemmikkieläimet, ruoanvalmistus, ihminen, vaatteet, paperitavarat, sisustustekstiilit ja pintaverhouslevyt. Ulkoilman hiukkaslähteitä ovat liikenne, kasvien siitepöly, teollisuus, lämmön- ja sähkötuotanto.

Hiukkasten terveysvaikutukset riippuvat niiden koosta, koostumuksesta, ja siitä mihin ne kiinnittyvät hengityselimiin. Pienimmät hiukkaset kulkeutuvat syvemmälle hengityselimiin, josta ne helposti imeytyvät kudoksiin. Sisäilmaluokituksessa S1 suurin sallittu leijuvaan pölyn raja arvo (PM₁₀) määrä on 20 µg/m³. Se pienempi kuin ulkoilman vuosikeskiarvon raja-arvo 60 µg/m³ (Seppänen 2004, 26).

3.3.2 Asbesti

Asbesti on kuitumaisten silikaattimateriaalien kaupallinen nimi. Asbestia on ennen käytetty lujittamaan eriste- ja sementtimassoja, lämmöneristeenä, ääni- ja paloeristeenä. Asbestikuitu on µm kokoluokkaa ja sen pitkulaisen muodon seurauksena se kulkeutuu hengitysilman mukana syvälle hengitysteihin, eikä poistu uloshengityksen mukana ulos kuten muut hiukkaset.

Asbestin vaarallisuudesta johtuen sen käyttö on lopetettu kokonaan. Sitä kuitenkin esiintyy vanhassa rakennuskannassa.

3.3.3 Mineraalivillat

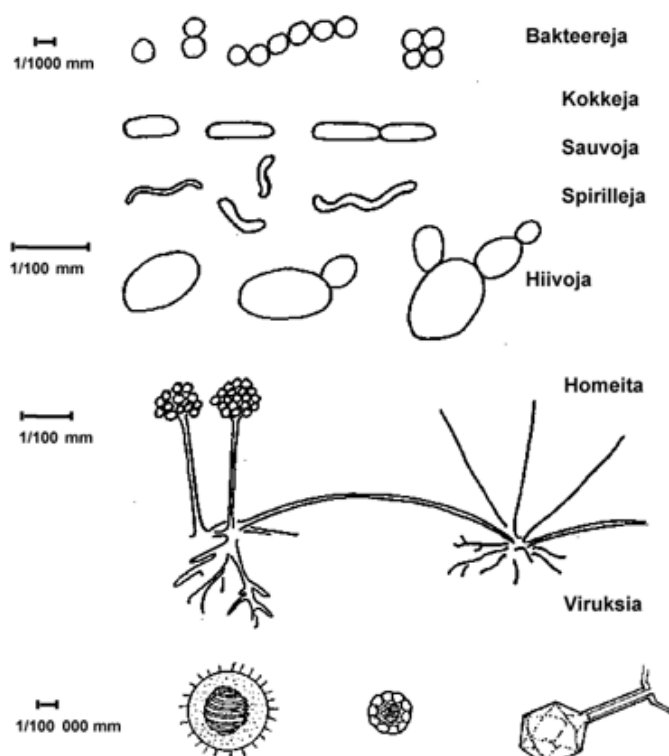
Rakennuksissa käytetään paljon kuitumaisia aineita kuten mineraalivilloja. Materiaalista voidaan valmistaa pitkiä, tasapaksuja kuituja. Ilmastoinnissa kuitulähteitä voivat olla huonosti suojatut tai kuluneet äänenvaimennusverhoukset ja äänenvaimentimet (Seppänen 2004, 29).

Ärsytysoireiden kannalta ongelmallisimmat ovat halkaisijaltaan yli 3 µm kuidut, ne laskeutuvat nopeasti ja toimivat toissijaisina kuitulähteinä.

Mineraalivillakuitujen syöpää ja keuhkosairauksia aiheuttavia ominaisuuksia on tutkittu. Altistuneilla henkilöillä ei ole löydetty kohonneita sairastumislukuja muuta väestöä enemmän. Useat mineraalivillakuidut liukenevat varsin nopeasti ja poistuvat keuhkoista, eivätkä aiheuta keuhkomuutoksia. (Hesterberg ja Hart 2002)

3.4 Biologiset aineet

Mikrobit ovat tärkeimmät biologiset ilman epäpuhtaudet, mikrobeja esiintyy kaikkialla luonnossa. Mikrobit ovat yksinkertaisia, yleensä yksisoluisia, erilaistumattomia eliöitä, joita ihminen ei näe paljain silmin, näitä ovat bakteerit, alkueläimet, virukset, homeet, levät ja hiivat. Kuvassa 3.4.1 näkyy mikrobeja. Jotkin mikrobeista on elinympäristölle tarpeellisia ja jopa välttämättömiä ja jotkut ovat haitallisia (Solubiologia 2006),(Ympäristö 2011).



Kuvassa 3.4.1 näkyy erilaisia mikrobeja, kuvassa on mittakaava kuvaamassa eliöiden kokoa (Purtavaa 2006).

3.4.1 Allergeenit

Ihmisten vasta-ainejärjestelmä reagoi ulkoa tuleviin haitallisiin aineisiin. Tällöin reaktio voi muuttua liioittelevaksi, tällaisia voimakkaan reaktion aiheuttavia aineita sanotaan allergeeneiksi.

Yleisempiä allergeeneja ovat valkuaisaineita sisältävät pölyt, kuten eläinten karvoissa olevat hiukkaset, kasvien siitepölyt, huonepöly. Lisäksi kosteassa olevat itämään alkavat siitepölyt tuottavat pieniä ilmavirran mukana kulkevia hiukkasia. Homesienien itiöt aiheuttavat allergiaa ja muita oireita, sisältäväthän ne jo itsestään myrkyllisiä yhdisteitä.

Siitepölyjen suurehkon hiukkaskoon takia niitä voidaan helposti erottaa suodattamalla ilmasta (Seppänen 2004, 31).

3.4.2 Pölypunkit

Pölypunkki ja varastopunkki ovat pieniä hyönteisiä. Ne elävät vuodevaatteissa ja pölyissä, ravinnoksi ne käyttävät esimerkiksi ihmisen ihon hilsettä. Pölypunkille on otollinen korkea yli 45 % suhteellinen kosteus. Niiden jätökset ovat allergisoivia.

3.4.3 Homeet

Sisäilman ulkoilmaa suurempi itiöpitoisuus on merkki kosteusvaurioista, ne ovat pääosin peräisin home- ja lahottajasienistä. Korkea itiöpitoisuus aiheuttaa hengitystieoireita. Itiöpitoisuus ilmoitetaan elatusalustalla syntyvien pesäkkeiden lukumääränä näyteilman m³:iä tai näytteen massayksikköä kohden. (Seppänen 2004, 32).

3.4.4 Legionellabakteeri

Legionellabakteeria esiintyy maaperässä, se voi siirtyä muuhunkin kasvuun sopivaan ympäristöön. Lisääntyäkseen se vaatii vettä, ravinteita ja sopivaa lämpötilaa 15 -50 °C. Bakteeri kuolee kun lämpötila ylittää 60 °C. Bakteeri on vaarallinen jouduttuaan hengitysteihin, se voi aiheuttaa keuhkokuumeen (Seppänen 2004, 33).

3.4.5 Muut bakteerit ja virukset

Sisätiloissa olevien bakteerien pääasiallinen lähde on ihminen. Ne siirtyvät pääosin ihon kautta ja hengityksen mukana. Bakteerien vaarallisuus riippuu niiden taudinaiheuttajasta ja pitoisuudesta. Pitoisuudelle ei ole kuitenkaan vielä raja-arvoja. Viruksia saattaa olla myös huoneilmassa ja ne ovat pääosin peräisin ihmisistä, ne eivät kuitenkaan voi elää pitkään huoneilmassa. Useissa tutkimuksissa on kuitenkin todettu että, tehokkaampi ilmastointi vähentää sairauspoissaoloja. Samoin on todettu että, mitä useampi ihminen on samassa tilassa, sitä yleisemmät ovat poissaolot (Seppänen 2004, 33).

4 ILMANVAIHTOKANAVAT

4.1 Epäpuhtaudet

Aikaisemmin oli tavallista, että ilmanvaihtokanavat kuljetettiin avonaisina ja varastoitii suojaamattomina työmaalla, jolloin ne olivat alttiina rakennustoiminnan aiheuttamille epäpuhtauksille. Nykyään yleensä toimitaan paremmin ja kanavat ovat tulpattuja ja suojataan. Mutta asennusvaiheessakin voi kanaviin tulla epäpuhtauksia, esimerkiksi katkaisun yhteydessä, jos käytetään väärää työmenetelmiä. Teräskanavien katkaisu tulisi tehdä leikkaavalla työstöllä, eikä hiovalla (kulmahiomakone). Samoin kanavien ja laitteiden tiivistämisessä voi jäädä tiivistysmassoja.

Käytön aikana kanavaan pääsee kuitenkin hiukkasmaisia epäpuhtauksia. Suodattimen hiukkaserotusaste ja ohivirtaus määräävät, minkä kokoisia ja verran hiukkasia kanavaan pääsee.

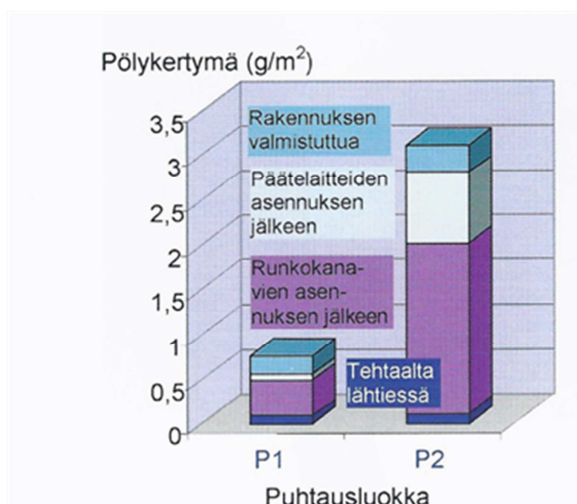
Hiukkaset ovat peräisin maaperästä, energiantuotannosta, liikenteestä, kasveista siitepölyä, ym. Osa niistä on elinkykyisiä biologisia hiukkasia kuten bakteereita, sieni-itiöitä tai siitepölyä. Suomalaisen tutkimusten mukaan 80 % kanavapölystä on epäorgaanista ainesta (Asikainen 2000).

Hiukkasten asettumiseen kanavaan vaikuttaa painovoima ja siitä johtuva sedimentaatio, inertiaalinen impaktio sekä diffuusio. Sedimentaatio aiheuttaa suurikokoisten hiukkasten laskeutumisen kanavan pinnalle. Hiukkasen massa ja nopeus määräävät sen liike-energian, tämä määrää hiukkasen inertiaalisen impaktion. Riittävän suuren liike-energian omaavat hiukkaset ajautuvat pois ilmapirrasta, ilmapirran vaikutuksen poistuessa hiukkaset laskeutuvat painovoiman vaikutuksesta kanavan pintaan. Diffuusio poikkeuttaa eniten pienikokoisia hiukkasia ja saa ne laskeutumaan kanavan pintaan (Asikainen 2000).

4.2 PÖLYKERTYMÄ KANAVISTOSSA

4.2.1 Rakennusvaiheen pölykertymä

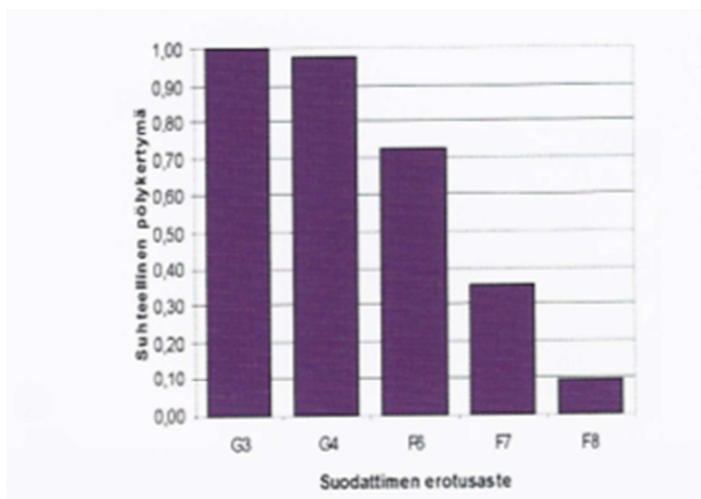
1990-luvulla oli tyypillistä että ilmanvaihtokanaviin kertyi varastoinnin ja rakennustyön aikaista pölyä jopa 5 g/m^2 . Pöly on pääosin epäorgaanisista aineosista. Nykyään asennustyöltä voidaan edellyttää P1-puhtausluokan vaatimusten täyttymistä. Tämä edellyttää käyttämään M1 – puhtausluokiteltuja osia ja keskeneräiset asennukset suojataan asennustaukojen aikana. Kuvassa 4.2.1 näkyvät pölykertoimien erot, kun on käytetty P1 ja P2 puhtausluokkien vaatimuksia asennukseen ja rakennusaikaiseen suojauksen osalta. Erot ovat huomattavat, kuten kuvassa näkyy (Holopainen 2012).



Kuva 4.2.1. Pölykertymien erot, kun kanavat asennettu P1 ja P2 puhtausluokkien vaatimusten mukaan (Holopainen, 2012).

4.2.2 Käytönaikainen pölykertymä

Hyvinkin huollettu ilmanvaihtojärjestelmä likaantuu käytön aikana. ”Tuloilmanlaitteiden likaantumiseen vaikuttaa rakennuksen ja ulkoilmanlaitteiden sijainti, ulkoilman epäpuhtaudet ja ilmanvaihtojärjestelmän suodattimien hiukkasten erotusaste”. Poistoilman laitteiden likaantumiseen vaikuttaa pääosin ilmastoidun tilan käyttötarkoitus, sitä voidaan kuitenkin vähentää päätelaitesuodattimilla. Tuloilman kanavien likaantumiseen vaikuttaa huomattavasti suodattimet. Kuvassa 4.2.1 näkyy suodatin erotusasteiden merkitys kanavien pölykertymään. Ero on huomattava ja karkeasuodattimilla G3 ja G4 varustetuissa järjestelmissä, puhdistusvälin tulisi olla selvästi lyhyempi (Holopainen, 2012).



Kuva 4.2.1. Suodattimien erotusasteen vaikutus kanaviston likaantumiseen (Holopainen, 2012).

4.2.3 Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastaminen

Puhtauden tarkastamistarve perustuu uusissa kanavissa vastaanottotarkastukseen, ja käytössä olevissa järjestelmissä puhdistustarpeen arvioimiseen. Puhtautta voidaan arvioida visuaalisesti, mittaamalla pölykertymä kvantitatiivisesti

suodatinkeräysmenetelmällä, määrittämällä pinnoille kerääntyneiden mikrobien ja kuitujen määrät, määrittämällä ilmankostutinlaitteiden veden mikrobiologinen puhtaus (Holopainen, 2012).

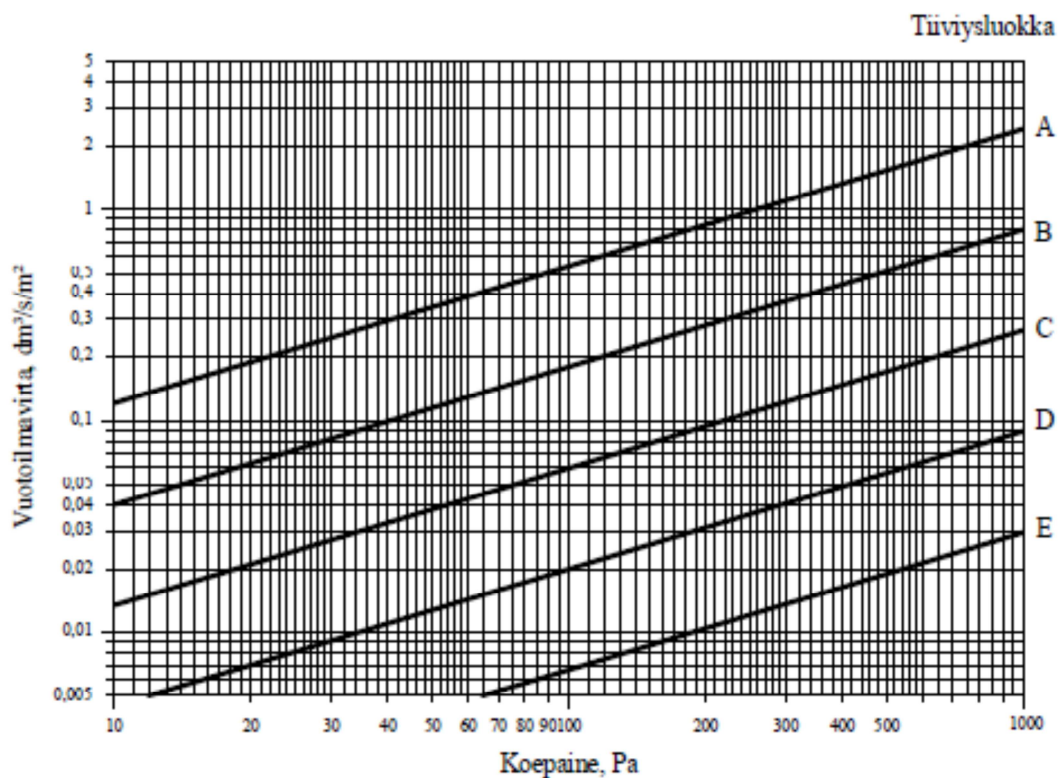
4.3 Ilmanvaihtokanavan suunnittelu

Ilmanvaihtokanavat on suunniteltava siten, että tarpeettoman pitkiä ja aerodynaamisesti epäedullisia poikkileikkauksia ei tule.

Ilmanvaihtokanavien vuotoluokitukset on määritelty standardissa EN 12237. Sen mukaan tulisi valita vuotoluokitus niin korkeaksi kuin mahdollista ottaen huomioon huoneen vaatimukset ja rakenteelliset ominaisuudet. Tämän tarkoituksena on välttää ilmavuoto tai puhdistamattoman ilman sisäänotto kanavaan liittyvistä muista huoneista tai alakattorakenteista (Rehva 9 2007. 18).

Ilmanvaihtokanavina tulee käyttää puhtausluokiteltuja tehdasvalmisteisia kanavia ja kanavaosia. Kanavistona tulee käyttää ainoastaan M1-luokan tuotteita. Tavanomaisissa kohteissa vaaditaan kanavistolta tiiveysluokkaa B (luokat D2 2013 mukaan), ja se saavutetaan huolellisella asennuksella kun käytetään kanavia jotka ovat tiiveysluokkaa C.

Suosittelavaa olisi kuitenkin käyttää D tiiveysluokan kanavia ja osia, tämä edesauttaa puhtaaseen, hygieeniseen ja energiataloudelliseen ilmanvaihtoon pääsemisessä. Tiiveysluokka C vuotovirtaus on noin 3 kertaa suurempi, kuin tiiveysluokkaan D kanavatuotteissa, vuotovirran kasvu eri luokittain näkyy kuvassa 3. (Holopainen 2012).



Kuva 3. Ilmanvaihtojärjestelmän suurimmat sallitut vuotovirrat, vaipan pinta-alaa kohti eri tiiveysluokissa (D2 2012).

Ilmakanavat tulee suunnitella siten, ettei kanavistoon muodostu kasvualustaa mikro-organismeille. Jotta tämä olisi mahdollista, täytyy kanaviston olla puhdas kun ilmanvaihtolaitteisto otetaan käyttöön. Käytössä ollessaan kanaviston ei tulisi kerätä pölyä ja likaa, tätä voidaan parantaa suunnittelulla ja materiaalivalinnoilla. Kanaviston tulisi olla mahdollisimman sileä eikä sisältää mitään mikä kerää pölyä ja likaa, lisäksi kanaviston muodolla ja kanava profiililla on merkitystä. Kanavan muodot tulisi huomioida lisäksi siten, ettei tulisi tarpeettoman pitkiä kanavia tai aerodynaamisesti epäedullisia kanavia.

Koska käytössä kuitenkin pölyä ja likaa hieman kertyy, tulee kanavat olla helposti puhdistettavia. Tätä edesauttaa kanaviston selkeät muodot ilman mitään pölytaskuja. Kanava profiilina kannattaa käyttää aina kun mahdollista pyöreää kanavaa, tämä on helpohko puhdistaa pyörivällä harjalla. Suorakaidekanava on hankalampi puhdistaa

ja se vaatii lähes aina jonkinlaisen puhdistusrobotin käyttöä, jos puhdistusluukusta ei ylety suoraan puhdistamaan sitä. (Holopainen 2012, 48)

Kanavien saumat, liitokset, jäykisteet, ja muut rakenteet ja kalusteet pitää asentaa siten että epäpuhtauksien kertymät voidaan estää ja niiden puhdistus on mahdollista.

- Liitoksien tulee olla rengasmaisia, ja tiivisteet eivät saa imeä kosteutta ja ne eivät saa toimia kasvualustana mikrobikasvustoille.
- Teräviä kulmia ja käännöksiä tulee välttää.
- Kaikkien mittalaitteiden jotka työntyvät ilmanvaihtokanavaan tulee olla puhdistettavia.
- Kanavien sisällä ei saa olla pitkiä ruuveja tai teräviä esineitä jotka aiheuttavat vaurioita kanavia puhdistaville henkilöille tai puhdistusvälineille.
- Tulisi käyttää mahdollisimman vähän joustavia ilmanvaihtokanavia, joissa on pehmeä sisäpinta koska ne ovat vaikeita puhdistaa. Jos sellaista joutuu käyttämään, se pitää suunnitella helposti vaihdettavaksi, tämä vaatii riittävästi vapaata tilaa.
- Jos ilmanvaihtokanat suunnitellaan puhdistettavaksi höyryllä tai nesteellä, pitää ne määritellä vesitiiviiksi ja niissä tulee olla viemärointi.
- Jos ilmanvaihtokanavan puhdistus vaatii henkilöiden menemistä kanavaan tarkastusluukuista, tulee kanavat suunnitella kantamaan tämä lisäkuorma, samoin tarkastusluukun vieressä täytyy olla riittävästi vapaata tilaa. (Rehva 9 2007, 19).
- Pitkiin kanavistoihin tulisi lisäksi suunnitella lisäksi alipaineistusyhteitä, jotta kanavisto voidaan helposti alipaineistaa puhdistusta varten. (Holopainen 2012, 53).

5 ULKOILMAN SISÄÄNOTTO

Ulkoilman sisäänotto tulee suunnitella siten, että ilmanvaihtojärjestelmään saadaan mahdollisimman hyvän laatuista ilmaa. Erityisesti tulee estää liikenteen pakokaasuja ja hiukkaspäästöjä pääsemästä ilmanvaihtojärjestelmään. Yleensä kannattaa sijoittaa ulkoilman sisäänotto aukot rakennuksen sisäpihan puolelle, huomioiden pysäköinti, lastauspaikat ja muut ilman epäpuhtauksia sisältävät kohteet. Sisäänottoaukko kannattaa sijoittaa mahdollisimman korkealle, koska se vähentää kanavistoon ja tuloilmakammioon tulevan kanavapölyn bakteeripitoisuutta. Lisäksi tulee huomioida rakennuksen omat jäteilman-, autohallien-, valmiskeittiöiden-, takkojen poistot ja tuuletusviemärit ym (Ripatti 2002).

Hajua tuottavia hiukkasia ei saa hyväksyä vähäisiä määriäkään, vaikka ne eivät ylittäisi ihmisen tietoisesta tunnistamisen rajaa. (Rehva 9 2007,5)

Ulkoa tuleva vesi- ja lumisade tai kostutuslaitteen pisaraerottimen puutteellinen toiminta voi luoda mikrobikasvulle otolliset olosuhteet. Ulkomaisten tutkimusten mukaan huokoiset lämmön – tai äänieristeet toimivat kastuessaan kasvualustana massiiviselle mikrobikontaminaatiolle, ja siitä on aiheutunut kohonneita tuloilman mikrobipitoisuuksia. (Holopainen, 2012).

Toimistorakennuksissa tuloilman suositellut kuitupitoisuudet tulisivat olla alle 1 kuitua/m³, ja kahden viikon pölylaskeuma ohjearvoksi 0,2 kuitua/cm². Jos nämä ohjearvot ylittyvät käytössä olevan rakennuksen tuloilmassa, suositellaan selvitetäväksi kuitulähteet ja mahdollisuudet niiden poistamiseen (Kovanen 2006).

5.1 Ulkoilmasäleiköt

Ulkoilmasäleikön tehtävä on estää veden, lumen, pieneläinten ja kiinteiden aineosien pääseminen ulkoilmakammioon. Näiden toiminnan tehostamiseksi on edullista mitoittaa säleikkö siten että tuloilman virtausnopeus on riittävän matala. Säleikön otsapinnalle tuleva virtausnopeus tulisi jos mahdollista alle 1.5 m/s. Lisäksi kyseinen virtaus nopeus laskee huomattavasti säleiköstä johtuvaa melutasoa, varsinkin korkeammat taajuudet menevät kuulumattomiksi (Ripatti 2002, 36)

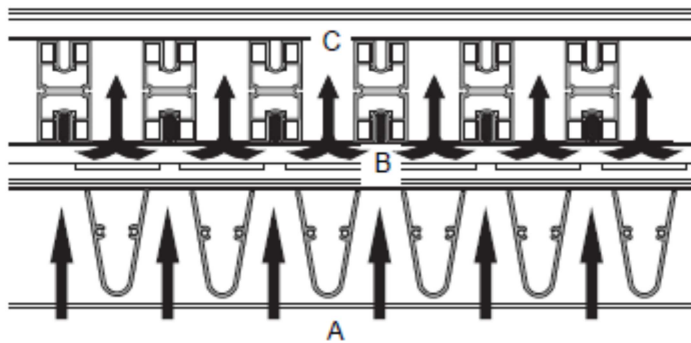
Veden ja lumen poistamisessa on mahdollista käyttää lämmitettävää säleikköä. Lämmitettävät säleiköt poistavat n. 97 % vedestä ja yli 75 % lumesta. Säleiköt vaativat oikean mitoituksen, jotta ne toimivat suunnitellusti. Lämmitettävät säleiköt kuluttavat kuitenkin energiaa talvikaudella noin 2 kW/m²h (Halton 2013b).

Joillakin valmistajilla on kuitenkin tarjottavana erikoissäleikköjä lumenpoistoon, ilman lämmitystä. Nämä vaativat kuitenkin hyvin matalan otsapinnan virtausnopeuden alle 0.7 m/s, tällöin poistavat vedet lähes kokonaan ja lumenkin poistuu tehokkaasti. (Flaktwoods 2012b).

Erikoissäleikköjen tarve tulee tarkastella tapauskohtaisesti, ja erottuva vesi ja jää tulee ulkona olevalta osalta varustaa sulanapitonkaapelilla ja vedenpoistoputkistolla (Ripatti 2002, 37).

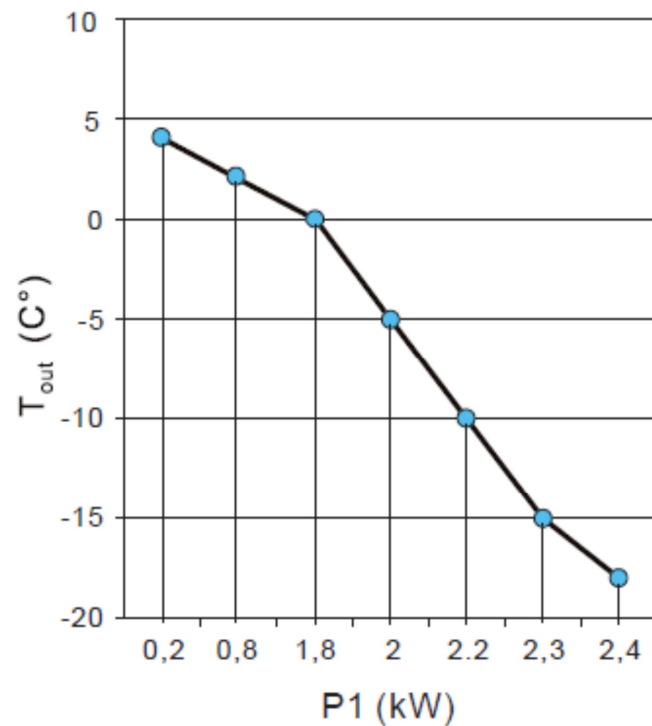
Tässä kuvataan erään valmistajan (Halton USL) lämmitettävän ulkoilmasäleikön toimintaperiaate. Säleikkö on tarkoitettu estämään sadeveden, lumen, lehtien, pieneläinten pääsyn ilmastointijärjestelmään. Kuvassa 5.1.1. näkyy säleikön rakenne ja siihen on merkitty tekstissä olevat kirjaimet.

Ilman mukana sisään tuleva lumi ja vesi ohjautuvat etusäleikön kartiomaisiin rakoihin (A), joissa ilmavirran nopeus kasvaa. Ilmavirta jakautuu etu- ja takasäleikköön väliseen tilaan (B). Lumihiutaleet osuvat lämmitettyyn takasäleikköön ja sulavat siinä (C). Sulavesi virtaa takasäleitä pitkin alas lämmitettävään poistovesiastiaan, josta vesi johdetaan viemäriin (Halton 2013b).



Kuva 5.1.1 Halton USL ulkosäleikön rakenne (Halton 2013b)

Ulkosäleikön lämmitys on itsesäätyvä ja saavuttaa maksimi lämmitystehon -18°C lämpötilassa, maksimi teho on $2,4\text{ kW/m}^2$. Kuvassa 5.1.2 näkyy lämmitystehon muutos erilämpötiloissa.



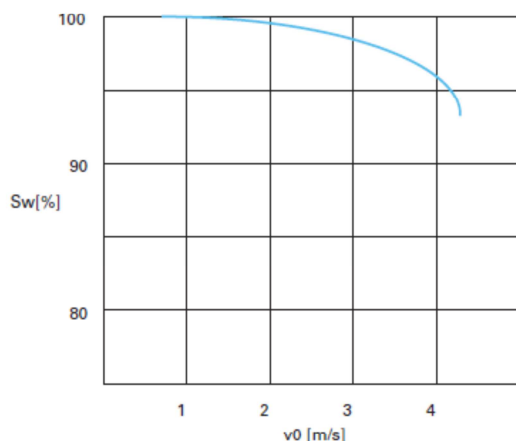
T_{out} (°C) = ulkolämpötila

$P1$ (kW/m²) = Lämmitysteho säleikön otsapinta-alaa kohden

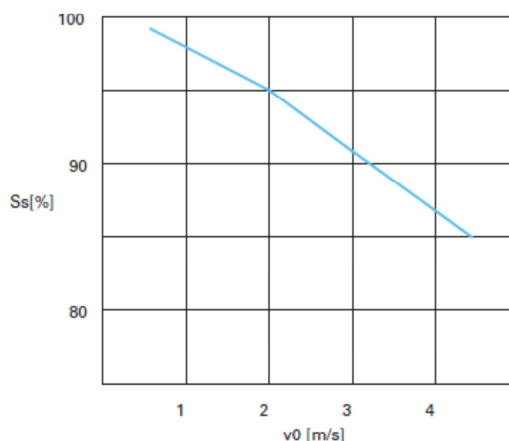
Kuva 5.1.2. Lämmitystehon muutos ulkoilman lämpötilan muuttuessa (Halton 2013b).

Tuloilman otsapintanopeuden vaikutus säleikön veden ja lumen poistokykyyn näkyy kuvassa 5.1.3. Otsapinnan nopeuden kasvaessa lumen poistokyky laskee voimakkaasti (Halton 2013b).

Veden läpäisykyvyn esto



Lumen läpäisykyvyn esto



v0 Otsapintanopeus

Kuva 5.1.3. USL-säleikön veden ja lumen läpäisykyvyn esto (Halton 2013b).

Neulalämmönsiirrintä voidaan käyttää esilämmittämään tuloilmaa ja sulattamaan ulkoilman mukana kulkeutuva lumi. Neulalämmönsiirrinten käytön on havaittu vähentävän tuloilma suodattimelle lumen määrää ja hienosuodattimelle tulevan ilman suhteellinen kosteus on todettu olevan alhainen (Halonen 2002).

Neulalämmönsiirrin on epäsuora lämmön talteenottojärjestelmä. Sen toiminta perustuu nestekiertoiseen järjestelmään, neulalämmönsiirrin ottaa talteen poistoilman lämpöenergiaa, siirtää sen nesteen avulla tulopuolen neulalämmönsiirtimeen, joka esilämmittää tuloilman ja sulattaa lumen. Neste siirretään pumpun avulla siirtimestä toiseen. Sulanut vesi johdetaan viemärintiin (Halonen 2002).

5.1 Ulkoilmakammio

Vaikka ulkosäleikkö olisi kuinka hyvä tahansa, se kuitenkin aina päästää sateella lunta ja vettä lävitseen. Ulkoilmakammion tehtävänä on poistaa tämä vesi ja lumi, estää näiden kulkeutuminen pitemmälle ilmanvaihtojärjestelmään. Kammion toiminta perustuu ilman nopeuden hidastumiseen ja pisaroiden painovoimaiseen laskeutumiseen kammion pohjalle.

Kammio tulee rakentaa tiiviiksi, helposti puhdistettavaksi, ja siinä tulee olla vedenpoiston viemäri ja kaivo. Kammio tulee olla lämmöneristettävä ja sen tulee olla diffuusiotiivis.

Kammion sisämateriaalin tulee olla puhdistuksen ja lumenpoiston kestävä ja siinä tulee olla huolto ovi. Yleensä kammio tehdään sinkitystä teräslevystä (Ripatti 2002, 37).

6 LAITTEITA

6.1 Patterit

Lamellilämmönsiirtimiä käytetään ilmanvaihtojärjestelmissä ilman lämmittämiseen, jäähdyttämiseen ja lämmön talteenottoon. Patterit koostuvat ohuista lamelleista ja putkista, putkien sisällä virtaava neste siirtää lämmön lamelleiden avulla ilmaan. Pinnoittamalla lamellit saavutetaan pattereiden parempi korroosion ja kosteuden kesto. Lisäksi sillä saavutetaan sileämpi pinta, johon lika ei tartu. Tämä lisää patterin käyttöikää vähentää huollontarvetta (Karjalainen 2013).

6.1.1 Lämmityspatteri

Lämmityspatteri on vesi - tai sähkökäyttöinen. Lämmityspatteri tulisi mitoittaa siten, että sen pintalämpötila jää reilusti alle 70 °C . Patterin pinnalle kertyvän orgaanisen pölyn termodesorptio alkaa 70 °C:sta alkaen. Termodesorptiotuotteiden määrä kaksinkertaistuu kun pintalämpötila nousee 100 °C:een ja 150 °C:ssa se on 7 – kertainen. Saksalaisten ohjeiden mukaan pintalämpötila tulisi olla enintään 55 °C, jottei patteri emittoisi haisevia yhdisteitä (Asikainen 2000).

6.1.2 Jäähdytyspatterit

Ulkoilman jäähdytys hoidetaan tarvittaessa jäähdytyspatterilla. Siinä kiertää jäähdyttävä neste tai höyrystyvä kylmäaine.

Patterin ulkopinnan lämpötilan laskiessa alle ulkoilman kastepisteen alkaa ilman sisältämä vesi kondensoitua jäähdytyspatterin pinnalle. Kondenssivedessä voi syntyä voimakas sieni- ja bakteerikontaminaatio, mikä aiheuttaa tuloilmaan hajuja ja orgaanisten epäpuhtauksien leviämisenriskin. Puhdistuksen laiminlyönti ja suodattimen

rikkoutuminen pahentavat ongelmaa. Ongelmarakennuksista pattereista ja niiden jälkeen on löydetty mm. bioaerosolien esim. Penicillium-, Cladosporium- ja Aspergillusitiöitä (Rehva 9 2007).

6.2 Suodattimet

Suodattimien tehtävänä on poistaa tuloilmasta ulkoa tulevat epäpuhtaudet. Sen tulee myös suojata ilmanvaihtolaitteiston komponentit epäpuhtauksilta, ja varmistaa että ilman laatu täyttää vaadittavat kriteerit.

Jos tuloilman laatu on heikohko ja siinä on kaasumaisia epäpuhtauksia, suositellaan käytettäväksi kaasusuodattimia. Näiden toiminta tulisi perustua ihmisten terveydelle turvallisiin ja harmittomaan kaasun erotteluun, sen sijaan että käytetään suodattimia, josta voi vapautua haitallisia kaasumaisia epäpuhtauksia. Turvallisia suodattimien tyyppejä ovat aktiivihiilisuodattimet ja turvalliseen erotteluun pohjautuvat suodattimet. Käytetyt suodattimet tulisivat olla EN 779 tai EN 1822 mukaisia, ja yksilöllisesti nimettyjä. Jos joudutaan käyttämään toisen tyyppisiä suodattimia esimerkiksi elektrostaattisia suodattimia, tulisi niidenkin täyttää yllä olevat standardit. (Rehva 9 2007, 16)

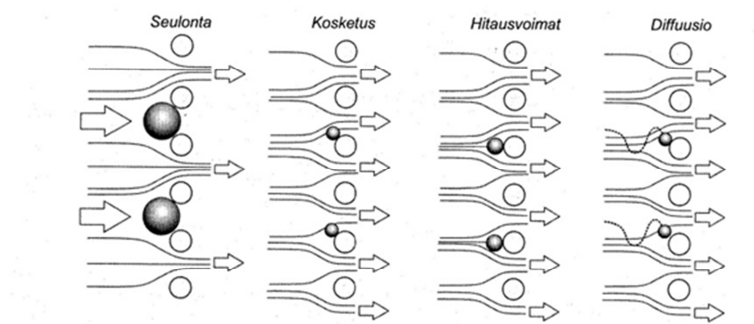
6.2.1 Suodattimen toiminta periaate

Kuitusuodattimet:

Kuvassa 6.2.1 näkyy kuitusuodattimien toimintaperiaatteita.

- Seulonta; Suurehkot hiukkaset jotka ovat suurempia kuin suodatinkuitujen välinen etäisyys, eivätkä ne siis mahdu kuitujen raoista läpi, poistetaan seulomalla. Menetelmää käytetään karkeasuodattimissa, eikä ilman virtausnopeus vaikuta erotusasteeseen.
- Kosketusvaikutuksessa; Pienimassaiset hiukkaset menevät ilmavirtauksen mukana suodatinkuidun ohi. Kokonsa takia ne kuitenkin koskettavat kuitua kiinnittyen siihen. Virtausnopeudella on vain vähän merkitystä suodatukseen.

- Hitausvoimien vaikutus; Ilmavirrassa kulkeva suuri hiukkanen törmää suoraviivaisen liikeratansa takia kuituun, vaikka ilmavirta kuidun ohittaakin. Kuituun törmättyään hiukkaset tarttuvat siihen pysyvästi kiinni. Hitausvoimat kasvavat hiukkasen nopeuden ja massan kasvaessa.
- Diffuusio; Vaikuttaa hyvin pieniin noin $0,5 \mu\text{m}$ hiukkasiin. Hiukkasten liike ei ole suoraviivaista vaan niillä on satunnainen liikerata. Mitä pienempi hiukkanen, sitä suurempi on satunnainen liikerata. Hiukkasen törmäys todennäköisyys kasvaa, mitä pitempään hiukkanen on suodattimen kohdalla. Pieni virtausnopeus parantaa suodatus tulosta (Harju 2008, 68). Hiukkasen satunnainen liike on nimeltään ”Brownin liike” keksijänsä mukaan. Liike perustuu molekyylien aiheuttamaan lämpöliikkeeseen (Brown 2013).

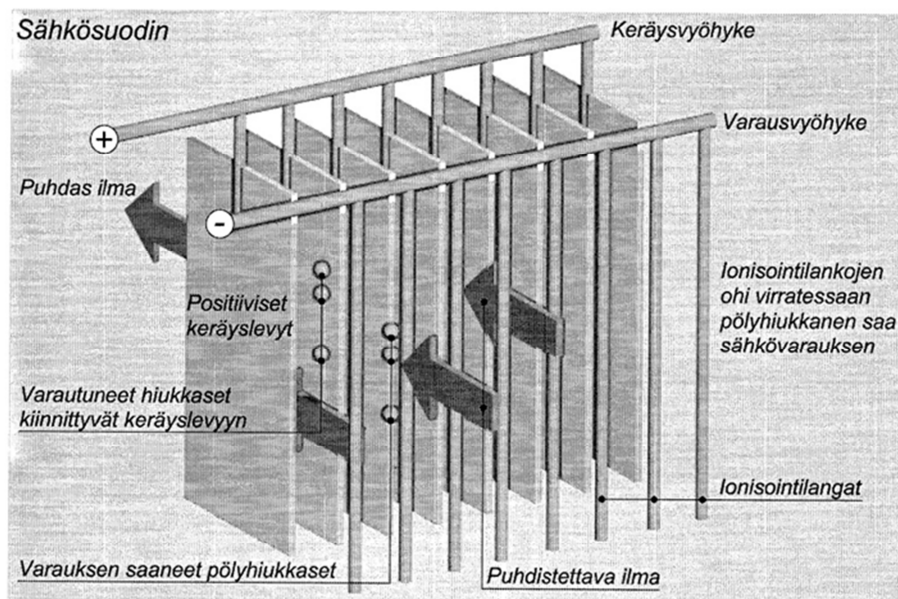


Kuva 6.2.1. Suodattimen erilaisia toimintatapoja (Harju 2008, 69).

Sähkösuodattimet:

- Sähkösuodatus; Perustuu pölyhiukkaselle annettavaan sähkövaraukseen, jonka jälkeen hiukkaset kerätään vastakkaismerkkisen sähkövarauksen omaavaan keräyslevyyn. Suodattimessa synnytetään sähköpurkauksella ioneja jotka tarttuvat läpivirtaaviin hiukkasiin. Kunnolla toimiakseen sähkösuodatin vaatii esisuodattimiksi karkeasuodattimen, eikä se siedä vesipisaroita ja otsapinta nopeus tulee olla alle $2,5 \text{ m/s}$, lisäksi suodatin synnyttää otsoneja (Harju 2008, 68).

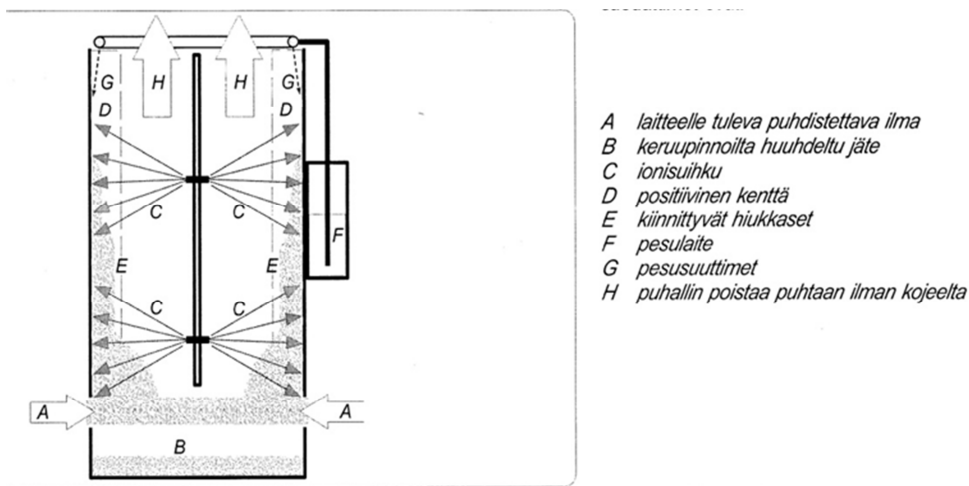
Suuret sähköjännitteet aiheuttavat usein koronapurkauksia, joka aiheuttaa ilmaan otsonia. Otsoni ja suodattimen pintojen likaantuminen aiheuttaa tuloilmaan hajuja epäpuhtaushaittoja (Asikainen 2000).



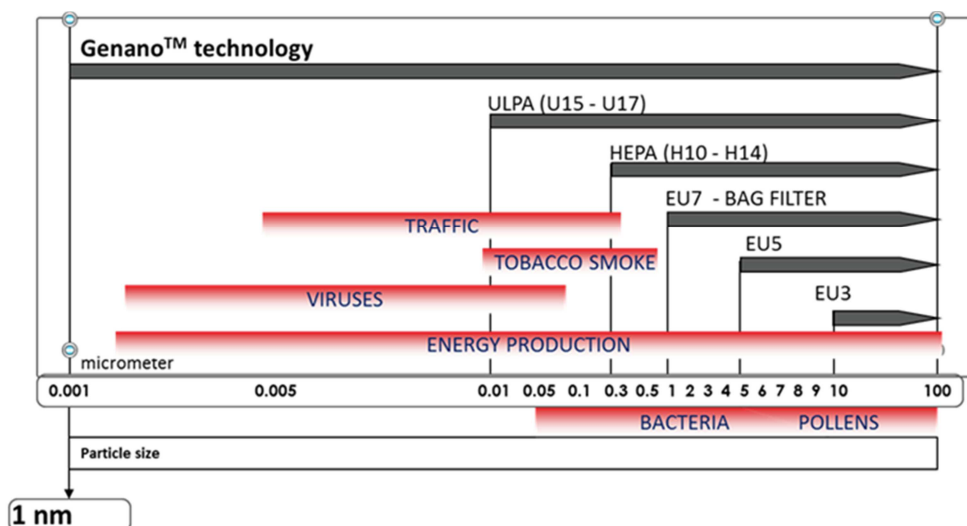
Kuva6.2.2. Sähkösuodattimen toimintaperiaate (Harju 2008, 69).

- Genano Oy on kehittänyt edelleen sähkösuodatinta ja nimittää tekniikansa Genano-teknologiaksi (Genano 2013)

”Laitteen läpi virtaan ilmaan kohdistuu voimakas ionisuihku, joka varaa haitalliset hiukkaset negatiivisiksi samalla työntäen niitä kohti seinämiä. Hiukkaset kiinnittyvät seinämään, josta ne huuhdotaan vesipesuaineliuksella alla olevaan keräysastiaan tai suoraan viemäriin. Toiminta periaate näkyy kuvassa 6.2.3. Suodattimen puhdistuskyky näkyy kuvassa 6.2.4. Laitetta käytetään esim. toimistoissa, apteekeissa, toimistoissa, päiväkodeissa, konepajoissa ja kouluissa” (Harju 2008, 69).



Kuva6.2.3. Genano-teknologisen suodattimen toimintaperiaate (Harju, 2008, 69).



Kuvassa 6.2.4. Genano-teknologisen suodattimen hiukkaspuhdistuskyky (genano).

6.2.2 Suodattimien suunnittelu

Suodattimen asennus ja huolto tulee ottaa suunnittelussa huomioon. Huolto tulee voida tehdä ilman, että suodatin ja kotelo saastuvat mikro-organismeilla, orgaanisella pölyllä ja hajuilla huollon yhteydessä (Rehva 9 2007, 16).

Suodattimen suunnitteluvaatimukset:

- Suodatinkotelon tulee olla tiivis, ja tiivisteiden tulee kestää toistuvia avaamisia.
- Käytön aikana tiivisteistä ei saa vapautua mitään jäämiä ilmavirtaan.
- Suunnittelulla tulee varmistaa suodattimen ja sen kehyksen helpon ja turvallisen asennuksen ja varmistaa kiinteän suodattimen tiiviin ja tukeva asettumisen kehykseen koko sen käyttöajan
- Ilman suodattimen tulee kestää, kaikkia käytön aikana tulevia mekaanisia rasituksia.
- Suodattimien tiiveys ja toimintaominaisuudet eivät saa häiriintyä vaikka ilman kosteus muuttuisi.
- Suodatinkammio pitää olla suunniteltu siten, että sen pystyy helposti puhdistamaan ja tuloksen näkemään koska tahansa. Kun yksikön korkeus on yli 1.6 metriä, tulee sen pystyä puhdistamaan molemmin puolin.
- Yksikön tärkeimmät tiedot tulee olla pysyvästi merkitty ilmansuodatin kammion ulkopuolelle. Tietoja ovat järjestelmän tilaavuusvirta, järjestelmän paine, ilman-suodattimien - lukumäärä, luokka, ja koko.
- Lämpötilan ollessa 0 °C tai hieman sen yli, aiheutuu jo 80 % ilmankosteudella ongelmia, samoin tapahtuu yli 90 % ilmankosteudella muillakin lämpötiloilla tai sumulla. Kosteutta tiivistyy ja sitoutuu helposti suodatinmateriaaleihin, ja tämä aiheuttaa mikrobikasvustoa suodattimeen. Tämä ongelma täytyy poistaa rakenteella, tai esim. suodattimen 3 C° lämmityksellä. (Rehva 9 2007, 17)

6.2.3 Suodattimen pinta-ala

Suodattimen pinta-ala vaikuttaa:

- suodattimen käyttöikä
- suodatusarvoihin
- ilmanvaihtokoneen energian kulutukseen.
-

Suodattimen pinta-ala lasketaan kaavalla 1.

$$\frac{\text{ilmanvaihtokoneen ilmavirta}}{\text{ilman materiaalinopeus}} = \text{tarvittava pinta - ala} \quad (1)$$

jossa ilmavirran yksikkö on m^3/s , materiaalinopeus m/s ja pinta-ala alan yksikkö m^2 (Halton).

6.2.4 Suodattimen valinta

Suodatin valitaan suodatusasteen, pölynvarauskyvyn, ilmanepäpuhtauksien, ilmanepäpuhtaustyypin, sisäilmavaatimusten ja tuloilmavirran mukaan. Hyvään lopputulokseen pääseminen vaatii käytettäväksi kaksiaasteista suodatusta.

Esisuodattimen tulee suodattaa isommat epäpuhtaushiukkaset ja ilman mukana tulevat vesipisarot ja lumihiutaleet. Esisuodattimena käytetään yleensä EU5 - luokan suodatinta. Esisuodatin asennetaan ilmankulkusuunnan mukaan ennen lämmöntalteenottolaitteita, tällöin se estää laitteiden likaantumisen. Lisäksi esisuodattimen käyttö alentaa hienosuodattimen hajuemissiota ja pidentää sen käyttöikä. Tätä ominaisuutta voidaan parantaa lyhentämällä esisuodattimen vaihtoväliä (Asikainen 2000).

Hienosuodatin tulee yleensä virtaussuunnan mukaan lämmöntalteenotto laitteiston jälkeen. Etuna kyseisessä järjestyksessä, on se että hienosuodatin tulee lämpimään ja kuivaan ilmavirtaan, tällöin se suodattaa ja kestää paremmin, lisäksi mikrobikasvu jää pienemmäksi kuivassa suodattimessa. Hienosuodattimena kannattaa käyttää EU8-luokan suodatinta ja vain poikkeustapauksessa matalamman tason suodatinta. Suodatinkokoina tulisi käyttää vakiokokoisia suodatinyksiköitä. (Ripatti, 2002)

6.2.5 Suodatinluokkien valinta

Kun pyritään korkeatasoiseen sisäilmaan (IDA 1), niin EN 13779:2007 standardi vaatii käytettäväksi F9 luokan suodatinta. Suomessa on ollut ajatuksena että hyvään sisäilmaan riittää F8 luokan suodatin. Pyrittäessä hyvää sisäilmaan kannattaa noudata tiukempaa EN standardin vaatimuksia (Kirjoittaja).

Eli aina kun pyritään sisäilmaluokkaan IDA 1 ja ulkoilmana on maaseutuilmatai hyvä kaupunki-ilma esisuodattimena tulee joko F5 – F7 suodatin ja pääsuodattimeksi F9, suodatinvalinta näkyy taulukossa 6.2.1.

Erityistapauksissa tai jos halutaan pidentää pääsuodattimen ikää voi olla perusteltua käyttää 3- portaista suodatusta, eli ennen lämmitystä F5 ja lämmityksen jälkeen F7 ja F9 suodattimet.

Ulkoilman ollessa luokkaa ODA 3, tulee käyttää 3- portaista suodatusta. Tällöin yhtenä suodattimena käytetään kaasusuodatinta suodattamaan kaasumaiset epäpuhtaudet, eli esisuodatin F5 - F7 ja pääsuodattimina GF + F9 suodatus.

Erityis-tapauksissa voidaan joutua käyttämään muitakin variaatioita. Lisää eri variaatioita taulukossa 6.2.1. (Gustavson 2011).

Taulukko 6.2.1 Suodatinluokat EN 13779:2007 standardin mukaan.

	Sisäilmaluokka			
Ulkoilmanluokka	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA4
ODA 1	F9	F8	F7	F5
ODA 2	F7 + F9	F6 + F8	F7	F5 + F6
ODA3	F7 + GF + F9	F7 + GF + F9	F5 +F7	F5 + F6

*GF = Kaasusuodatin (aktiivihiilisuodatin ja/tai kemikaali suodatin) (EN 13779:2007).

Aktiivihiilisuodattimilla voidaan alentaa merkittävästi tuloilman hajuemissiota. Toisaalta epäsovinnalla koostumuksella oleva aktiivihiilisuodatin voi itse lisätä huomattavasti hajuemissiota (Asikainen 2000).

6.2.6 Suodattimen painehäviö

Suodattimen painehäviöiden laskemista varten on suodatinvalmistajilla omat laskentaohjelmat (Halton 2013a).

6.2.7 Suodattimen huolto

Hygieeninen ilmanvaihto vaatii suodattimien säännöllisen tarkastuksen ja vaihdon sekä vaihtoon liittyvät puhdistus sekä suodatinkehysen ja suodattimen tiiveyden tarkastuksen.

Suodattimen vaihtotarpeen tulee määräytyä järjestelmällisesti, jottei vaihtoa laiminlyödä niin tahattomasti kuin tahallisesti. Suodattimen paine-eroon perustava suodattimien vaihtotarpeen määrittely ei ole tutkimusten mukaan osoittautunut riittävän luotettavaksi. Paine-ero ei korreloi suodattimeen kertyneeseen pölyyn ja hajuun. Tarkemman suodattimen kunnon saakin silmämääräisellä tarkastelulla suodattimen jättöpuolelta, vaihtotarpeesta kertoo jättöpuolen tummuus eli likaisuus. (Ripatti 2002, 39).

6.2.8 Suodattimen vaihtoväli

Ilmansuodattimen vaihto väli riippuu koneen sisä/ulko-olosuhteista, halutusta suodattintuloksesta, suodattimen materiaaleista ja energian kulutuksesta. Yleisohjeet on esitetty taulukossa 6.2.2.

Taulukko 6.2.2

Ilmansuodattimien vaihtoväli		
Tyyppi	Porras	Vaihtoväli [kk]
Yksiportaine	Yksi	6
kaksiportainen	Esisuodatin	3 - 6
	Hienosuodatin	6 - 12
	Hepasuodatin	12 – 24 *
	Kaasusuodatin	**

* Riippuu yksilöllisesti tilan puhtauden tasosta ja kohteen huolto ohjelmasta.

** Vaihtovälit suunnitellaan tapauskohtaisesti käyttökohteen olosuhteiden mukaan (Halton 2013a).

6.3 Lämmöntalteenottolaitteet

Lämmöntalteenottolaitteiden tulee olla hygieenisiä ja hyvän hyötysuhteen omaavia. Laitteet tulee voida helposti puhdistaa. Pyörivissä lämmöntalteenottolaitteissa on hyvä hyötysuhde, mutta niissä siirtyy hieman likaista poistoilmaa tuloilmaan. Tämä rajoittaa niiden käyttöä, tietyin varauksin niitä voidaan käyttää samaan puhtausluokkaan kuuluvissa kohteissa.

6.3.1 Regeneratiiviset lämmöntalteenottolaitteet

Laitteen toiminta perustuu pyörivään kiekkoon tai roottoriin. Kiekko koostuu pienistä laminaarisvirtauskanavista, joiden läpi ilmavirta kulkee. Toinen puoli kiekosta on kokoajan tuloilmapuolella ja toinen puoli poistoilmapuolella. Kiekko ja kanava varaa lämpöä poistoilmapuolella ja luovuttavat lämmön tuloilmapuolella. Kanavan

siirtyessä poistopuolelta tulopuoleen se siirtää mukanaan hieman ilmaa ja mahdollisia epäpuhtauksia, tätä ongelmaa pyritään vähentämään puhtaaksi puhallussektorilla, jossa kanavista pyritään puhaltamaan epäpuhtaudet pois. Puhtaaksi puhallussektorin kulman suuruudella voidaan vaikuttaa puhtaaksi puhalluksen tulokseen, mitä suurempi kulma (pitempi puhallus), sitä parempi puhdistus tulos., Valitettavasti tämä vaikuttaa negatiivisesti lämmön talteenoton hyötysuhteeseen.

Tutkimuksilla on todettu epäpuhtauksien siirtymisen kasvavan roottorin pyörimisnopeuksien kasvaessa, kun puhtaaksi puhallus sektori on käytössä. Epäpuhtauksien siirtymä kasvaa suhteessa pyörimisnopeuden neliöön (Asikainen 2000).

Kosteutta siirtävät hygroskooppiset lämmönsiirtimet siirtävät orgaanisia hiilivetyjä (VOC) tuloilmaan huomattavasti enemmän kuin ei-hygroskooppiset siirtimet. Myös ei-hygroskooppiset alkavat siirtää VOC-yhdisteitä muutaman käyttövuoden jälkeen. Monet regeneratiiviset lämmönsiirtimet toimivat käytännössä epäpuhtauslähteinä. Näitä ongelmia voidaan vähentää oikealla suunnittelulla, asennuksella, säännöllisellä huollolla ja välttämällä hygroskooppisia siirtimiä (Asikainen 2000).

Hygroskooppisella roottorilla varustetut pyörivät lämmön talteenottolaitteet ovat alkaneet yleistyä, ennen kaikkea niiden tarjoamien energian säästöpotentiaalın takia, suurin säästö tulee jäähdytyksestä (Kirjoittaja).

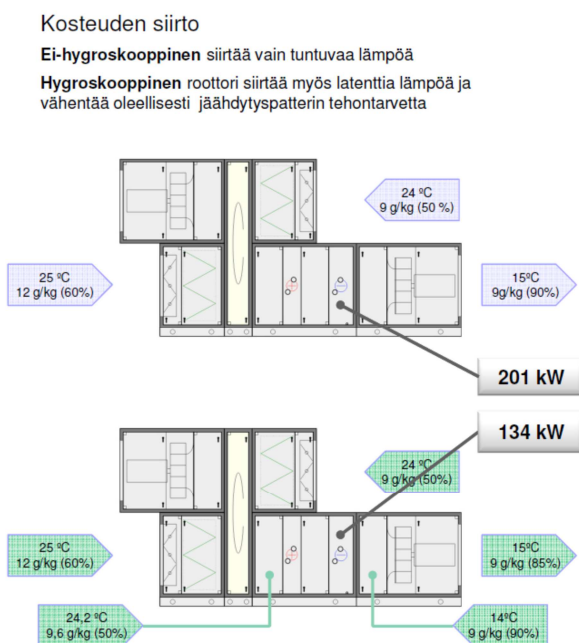
Kosteutta siirtävän roottorin edut:

- ”Kylmäkoneella tuotetun jäähdytystehon tarve kesällä pienenee, koska voidaan hyödyntää poistoilman jäähdytyksen talteenottoa”. Pienentää huomattavasti jäähdyttämiseen tarvittavaa sähkötehoa (Mäkinen 2013, 18)
- ”Pienempi tuloilman lämmityksen tarve talvella, koska huomattavasti vähemmän arka jäätymiselle, kun poistoilma sisältää kosteutta” (Mäkinen 2013, 18)
- Palauttaa poistoilman kosteutta hyvällä hyötysuhteella tuloilmaan. Parantaa sisäilman kosteusolosuhteita talvella (Mäkinen 2013, 18)

Toimintaperiaate kesätilanteessa:

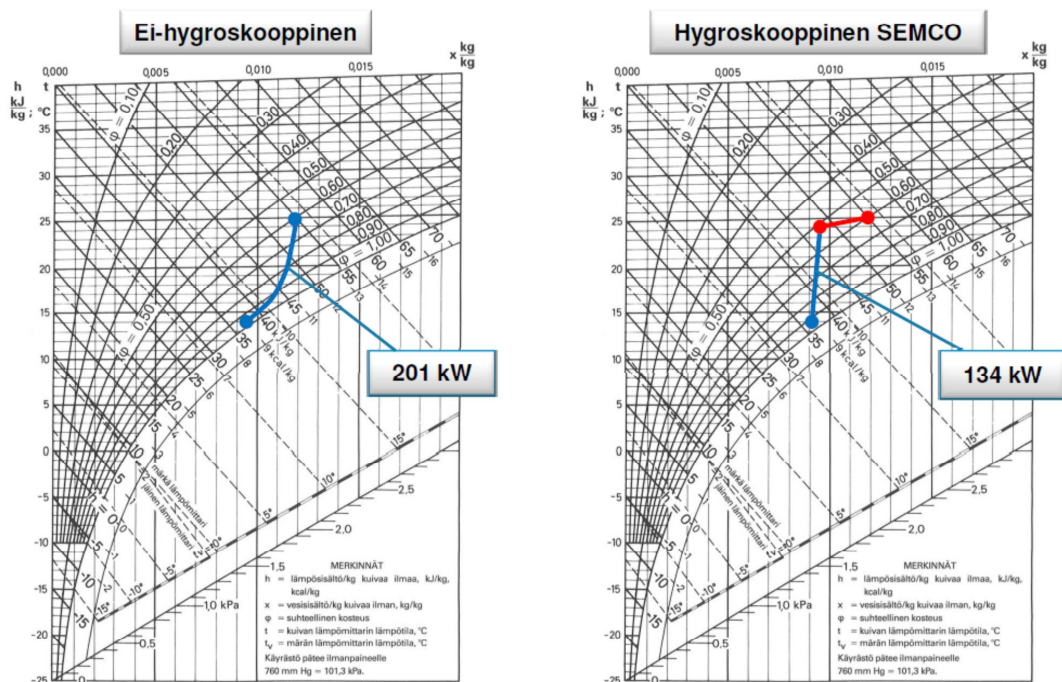
Hygroskooppisen roottorin avulla hyödynnetään rakennuksen poistoilman viileyden ja kuivuuden talteenottoa. Ulkoilman sisältämä kosteus sitoutuu tuloilmapuolella roottorin pintaan. Poistoilmapuolella ulkoilmasta tullut kosteus siirtyy kuivempaan poistoilmaan ja se poistuu ulos rakennuksesta jäteilman mukana. Näin ulkoilma kuivuu roottorissa, ja kosteuden siirtymisen johdosta ilma jäähtyy jonkin verran. Kun tämä kuivattu ulkoilma jäähdytetään, kuluttaa jäähdyttäminen vähemmän energiaa, koska energiaa ei tarvitse kuluttaa kosteuden tiivistämiseen.

Hygroskooppinen roottori siirtää myös latenttista lämpöä vähentäen näin huomattavasti jäähdytyspatterin tehoa. Tehontarve vähentyminen on kyseisessä tilanteessa noin 33 %. Tilanne näkyy kuvassa 6.3.1, lisäksi siinä näkyy hygroskooppisen ja ei hygroskooppisen ilmastointilaitteen tehontarpeet ja kosteuden siirtymät. Mollier-diagrammiin on piirretty tapahtuma samoilla tiedoilla kuvassa 6.3.2. Siinä näkyy selvästi, että energiaa kuluu huomattavasti vähemmän kuivumisessa tapahtuvaan entalpiamuutokseen hygroskooppisen roottorintapauksessa. (Mäkinen 2013, 18)



Kuva 6.3.1. Ilmastointikoneiden tarvitsema teho, kun on helteinen kesäpäivä, ilmanlämpötilan ollessa 25 °C ja ilman suhteellisen kosteuden ollessa 60 %. Ilmastointikoneen ilmamäärän ollessa 10 m³/s (Mäkinen 2013, 20)

Kesätilanne 1 "Normaali kesäpäivä"



Kuva 6.3.2. Prosessit kuvattuna Mollier-diagrammiin (Mäkinen 2013, 22).

Toimintaperiaate talvitilanteessa:

”Rakennuksen poistoilman sisältämä vesihöyry sitoutuu poistoilmapuolella roottorin pintaan höyrymuodossa. Tuloilmapuolella ilma on kuivaa ja höyrynpaine matalampi. Roottoriin sitoutunut vesihöyry vapautuu ja siirtyy tuloilmaan. Kosteus ei missään vaiheessa tiivisty vedeksi. Näin kosteus ei pääse kertyttämään huurretta ja jäätä lämmönsiirtimeen. Lämmön talteenotto voi toimia täydellä teholla lämpötilaan n. -24°C asti. Tämä säästää sekä energiakustannuksia että pienentää lämmitystehoon liittyvää investointia” (Fläktwoods 2012a).

Talvinen kuiva sisäilman laatu parantuu kostumisen ansiosta. Tässä tapauksessa tulevan ilman suhteellinen kosteus nousee 10 %:sta 30 %:iin, kuten kuvassa 6.3.3 näkyy.

Talvitilanne



Kosteuden siirto

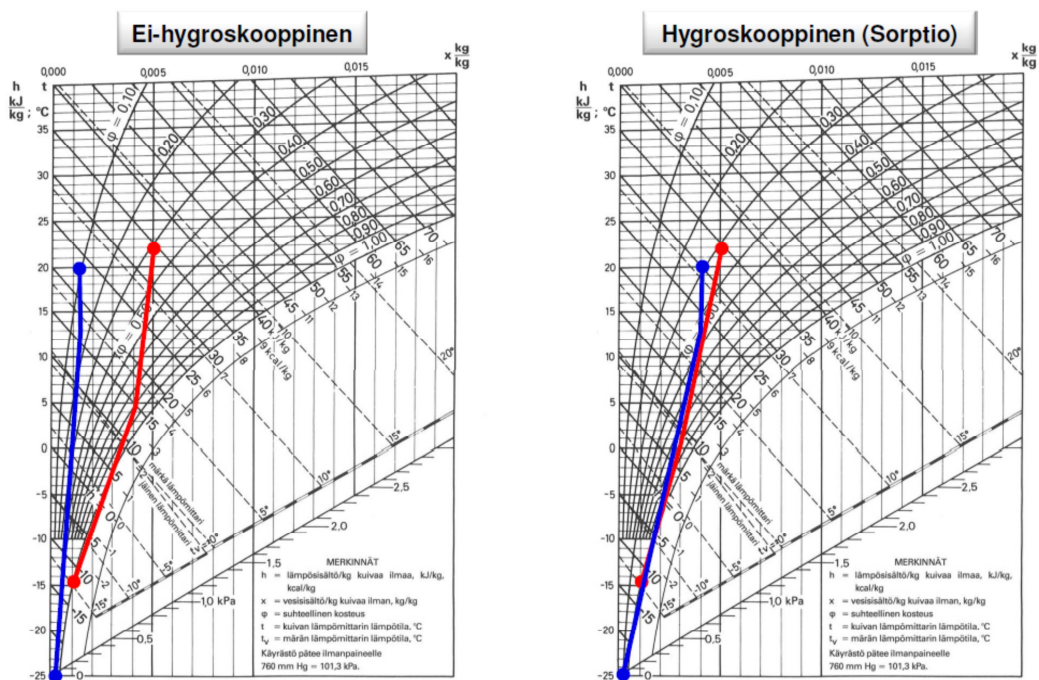
Ei-hygroskooppinen roottori palauttaa hyvin kuivaa tuloilmaa

Hygroskooppinen roottori palauttaa suurimman osan poistoilman kosteudesta takaisin tuloilmaan



Kuva 6.3.3. Ulkoilman lämpötilä -26 C ja kosteus 100% (Mäkinen 2013, 35).

Talvitilanne



Kuva 6.3.4 Mollier-diagrammiin piirretty kuvan 6.3.3 tietojen mukaan (Mäkinen 2013, 36).

6.3.2 Rekuperatiivinen lämmöntalteenotto

Rekuperatiiviset lämmön talteenottolaitteiden toiminta perustuu levymäisiin lämmönsiirtimiin, joissa tulo- ja poistoilmavirrat kulkevat omissa kanavissaan. Lämmönsiirtyminen tapahtuu johtumalla ilmavirtauksia erottavan seinämän lävitse. Lämmönsiirtimen kunnollinen rakenne estää ilmapuodot poistoilmasta tuloilmaan. Viallisella laiteella ja väärällä asennuksella (varsinkin huoltojen yhteydessä) vuotoja voi kuitenkin tapahtua.

Huolto, puhdistus ja suodattimien vaihto on tärkeä tällekin lämmönsiirtimelle, sillä epäpuhtauksien kertyminen huonontaa hyötysuhdetta ja lisää toki epäpuhtausmäärää tuloilmassa.

6.4 Sulkupellit

Sulkupeltien tulee olla tiiviitä, pellit tulee asentaa siten että niitä voidaan huoltaa. Sulkupellit tulisi lämmöneristää jos kanavatkin on eristetty. Ulkoilmakanava ja sulkupelin välinen osuus tulee eristää ja pellittää diffuusiotiiviiksi (Ripatti 2002, 46).

6.5 Säätopellit

Kanavistossa käytettävät säätopellit tulee olla avattavissa, ilman että niitä tarvitsee irrottaa kanavistosta. Tämä helpottaa puhdistamista. Säätopellit tulee varustaa asennon ilmoittamalla säätölaitteella, säätöasento tulee voida lukita.

Säätopellin valinnassa tulee huomioida virtausominaisuudet ja pellin aiheuttama äänenpainetaso, joka tulisi olla alle 10 dB (A) tilan suurimman sallitun äänenpainetason. Jos tasoa ei saavuteta, tulee käyttää äänenvaimenninta säätopellin yhteydessä (Ripatti 2002, 46).

6.6 Puhdistusluukut

Ilmastointikanavat tulee suunnitella helposti puhdistettavaksi, tätä varten kanavisto tarvitsee puhdistusluukut puhdistuksen mahdollistamiseksi. Ilmanvaihtolaitteisto kokonaisuutena tulee olla helposti puhdistettava. Kanavisto suunnitellaan siten, että puhdistusluukusta pystyy helposti puhdistamaan kanavaa seuraavan luukun puhdistusalueeseen asti. Päätelaitteiden kautta voidaan myös puhdistaa, jos sen on helposti irrotettavissa. Palo -, säätö – ja sulkupeltien molemmin puolin tulee olla puhdistusluukku, josta pitää pystyä puhdistamaan pelteihin asti.

Kahden luukun välissä saa olla enintään kaksi 45° käyrää. Vaakasuorissa kanavissa väli on 10 m, poikkeustapauksissa pitempi, jos puhdistaminen onnistuu hyvin luukujen välistä. Luukkuja tulee olla aina kanavien haarautumiskohdissa, jos niitä ei muuten voida puhdistaa helposti. Paloturvallisuuden ja puhdistettavuuden kannalta vaativien kohteiden vaakakanaviston puhdistusluukut sijoitetaan 3 – 5 m:n välein. (D2 2012)

Luukut tulee asemoida siten, että kanaviston puhdistus ja luukun avaaminen/sulkeminen onnistuu helposti. Lisäksi tullee huomioida alakattojen huoltoluukujen, seinien ja ym. vaikutukset huoltoon.

Puhdistusluukkuja tulisi olla tulo- ja poistokanavissa. Niiden määrä, välimatka ja paikka tulee valita puhdistusmenetelmän mukaan. (Ripatti 2002, 46).

Puhdistusluukun kasvaessa miesluukun kokoon, tulee kanavisto ja sen kannakkeet suunnitella siten että ne kantavat lisäksi puhdistajan painon välineineen (Rehva 9 2007)

Puhdistusluukkujen vähimmäiskoot on esitetty taulukoissa 6.6.1 ja 6.6.2.

Taulukko 6.6.1. Pyöreiden puhdistusluokkujen vähimmäiskoot (Holopainen 2012)

Pyöreät kanavat	
Kanavan koko	Puhdistusluokun vähimmäismitat
Min	400 * 100
$D < 200$	400 * 200
$200 < D \leq 500$	500 * 400
$D > 500$	600 * 600
Isommat	Miesluokku

Taulukko 6.6.2. Suorakaide puhdistusluokkujen vähimmäiskoot (Holopainen 2012).

Suorakaide kanavat. S mitta on kanavan luokkuvuon korkeus.	
Kanavan koko	Puhdistusluokun koko
$S < 200$	400 * 100
$200 < S < 500$	400 * 200
$S > 500$	500 * 400
Suuremmat	Miesluokku

6.7 Päätelaitteet

Päätelaitteet eivät saa huonontaa tuloilman laatua, eikä niistä saa irrota epäpuhtauksia. Ne täytyy olla helposti puhdistettavia, ja irrotettavissa siten, ettei säätöarvo muutu. Sekoittavat ilmanjakolaitteet puhaltavat ilmaa kattopintaa pitkin indusoiden mukana huoneilmaa, tämä suihku kuljettaa siten epäpuhtauksia mukanaan. Katon materiaali tulisi olla helposti puhdistettava ja sellainen johon ei liika paljonkaan tarttuisi. Rakennusmääräyskokoelman E7 – 2004 mukaan poistoilman laitteita saa asentaa alakaton päälle, jos katosta vähintään 75 % aukkoja. Tämä ei ole kuitenkaan suositeltavaa sinne kertyvän pölyn vuoksi. Tulo ilma laitteita sinne ei saa asentaa.

Päätelaitteet tulisi mitoittaa siten että paine – ero alue olisi riittävä ilmavirran säädön kannalta, jos alue ei ole riittävä tulee varata supistus - tai tehostusmahdollisuus. Puhallusominaisuudet tulisi tarkastaa suunnittelun loppuvaiheessa kun valaistus, alakatot ym. ovat tiedossa (Ripatti 2002, 48).

6.7.1 Pinnoitetut päätelaitteet

Valmistajilla on tarjolla pinnoitettuja päätelaitteita. Pinnoitteiden tarkoituksena on parantaa päätelaitteiden hygieniää. Pinnoitteet perustuvat nanoteknisiin pinnoitteisiin. Eri laitevalmistajat tarjoavat hieman eri pinnoitteita. Laitevalmistaja Flaktwoods käyttää pinnoitteina Avalonin valmistamia nanopinnoitteita (Cleanvent 2012. 3).

Niillä saavutetaan selviä hygieenisiä ja ilmastollisia etuja. Niitä on

- lian tarttuminen vähäisempää
- vähentää ja helpottaa puhdistusta
- hygieenisempi ilmanvaihto
- parempi elinkaaritaloudellisuus
- parantaa laitteiston toimintaa, puhtaat ilmanjakolaitteet säilyttävät suunnitellut ilmamäärät ja heittokuviot (Sairaala).

6.7.2 Ilmastointipalkit

Ilmastointipalkkien valinnassa tulee kiinnittää huomiota yksikköjen puhdistettavuuteen, jäähdytysominaisuuksiin ja jäähdytyskenttiin. Laitteen tulee olla avattavissa koko pituudeltaan puhdistusta varten.

Palkkeja on kahta päätyyppiä

- vapaasti asennettavat palkit eli avopalkit
- alakattoon asennettavat palkit (koteloidut palkit).

Alakattoon asennettavat palkit tulee olla koteloituja palkkeja, jossa huoneilma kiertää itse laitteessa eikä tule alakaton kautta.

Ilmastointipalkkien suojaaminen rakennusaikana on osoittautunut vaikeaksi. Hankintaohjelmassa tulee vaatia että

- pakkauksen päällä on suunnitelman mukainen koodi, josta tulee ilmetä mm. puhalluksen kätsisyys.
- jos kuljetusta ym. varten pakkauspahvit joudutaan avaamaan, tulee yksikkö olla suojattu vielä esimerkiksi muovilla, ettei se pääse likaantumaan.
- yksikön asennuksen aikana tulee yksikön olla suojattuna, suojaukset poistetaan vasta kuin tilan pölyävät rakennus ja viimeistely työt on tehty ja rakennus on siivottu. Mikäli töitä joudutaan myöhemmin tekemään, yksikkö on suojattava uudelleen (Ripatti 2002, 48).

6.7.3 Puhallinkonvektori

Puhallinkonvektoreita käytetään huonekohtaisina laitteina. Laitteeseen kuuluu puhallin, suodatin ja jäähdytyspatteri. Lisäksi siihen yleensä sisältyy myös viemäröinti ja äänenvaimennin. Laitteiden huolto on monesti laiminlyöty suuren lukumäärän ja vaikean huollettavuuden vuoksi. Lika ja pöly kerääntyvät helposti niihin. Jäähdytyskauden aikana kasvaa helposti sieniä, jos pintoihin kondensoituu vettä.

Puhallinkonvektorit voivat sijaita seinällä, lattialla, katossa. Lattialle asennettavia laitteita tulisi välttää puhtaussyistä, sillä yksikköihin tippuu pölyä, likaa ja roskia. Jos niitä käytetään, tulee varmistaa, että ne voidaan helposti huoltaa ja puhdistaa, ilman kalusteiden siirtämistä. Kattoasenteiset laitteet asennetaan siten, että alakatto laitteen ympäriltä on helposti avattavissa huoltoa ja puhdistusta varten.

Puhallinkonvektorit on yleensä varustettu suodattimella, suodattimen aiheuttama painehäviö on otettava huomioon mitoituksessa. Puhallinkonvektorit mitoitetaan

yleensä ei-kondensoivaksi, mutta jos näin ei toimita, tulee ne varustaa viemäröineillä (Ripatti 2002, 49).

6.8 Äänenvaimentimet

Äänenvaimentimet pitää pystyä puhdistamaan, eikä niistä saa irrota kuituja tuloilmaan. Äänenvaimentajan ilmanakanavan muoto on edullista olla lieriö, puhdistamisen helpottamiseksi. Jos muoto täytyy olla jokin muu, puhdistusmahdollisuus pitää hoitaa avattavalla äänenvaimentimella tai erityisjärjestelmällä. Ilmanvaihtokoneen yhteydessä olevan äänenvaimentimen kennot pitää pystyä helposti irrottamaan puhdistusta varten (Ripatti 2002, 39).

Jos äänenvaimennusmateriaalina käytetään lasi – tai mineraalivillaa ne eivät saa olla suorassa yhteydessä virtaavan ilman kanssa. Äänenvaimentajan on kestävä tavanomaista mekaanista puhdistusta, jos se ei kestä se on merkittävä ja ohjeistettava selvästi vaimentimeen tai paikkaan josta puhdistaminen suoritetaan.

Äänenvaimentimen täytyy olla vähintään yhtä tiivis kuin kanava tai ilmastointikone (Seppänen 2004, 76)

6.9 Puhaltimet

Ilmanvaihtokoneissa käytetään yleensä:

- keskipakopuhaltimia
- aksiaalispuhaltimia
- huippuimureita

Kaikki puhaltimet pyritään valitsemaan siten että niiden hyötysuhde on mahdollisimman korkea halutulla toiminta-alueella. Lisäksi puhaltimien ja ilmanvaihtolaitteiston kokonaishyötysuhteen tulee täyttää Suomen rakennusmääräyskokoelman osan D3 - 2012 ohjeavot.

Kaikkien puhaltimien tulee olla puhdistettavissa, joko yksiköitä ulos vetämällä tai huoltoluukun kautta suoritettavalla puhdistuksella (Ripatti 2002, 41).

6.10 Kostuttimet

Kostuttimia tulee välttää hygieniasyistä. Niitä joudutaan käyttämään erityisolosuhteissa terveydenhoitotiloissa ja erityisissä tuotantotiloissa.

Jos kostutusta joudutaan käyttämään, tulee käyttää höyry tai haihduttavia kostuttimia. Kostuttimen materiaaleina käytetään korroosion ja mikro – organismien estämiseksi haponkestävää terästä ja joskus harvemmin muovia.

Kostuttimeen kertyvät mikrobit ja kemialliset epäpuhtaudet voivat aiheuttaa hajuemissiota. Kostuttimen vesi ei saisi sisältää bakteeria ja pieneliöitä. Sen tulisi täyttää vaatimus

- eliöpesäkkeitä muodostamien eliöiden määrä tulisi olla alle 1000 CFU/ml
- legionella bakteerien määrä alle 1000 CFU/100ml. (Rehva 9 2007, 14).

6.10.1 Höyrykostutin

Höyrykostuttimessa vesi höyrystetään ja johdetaan höyrykehittimestä tuloilmaan. Tavanomaisessa ratkaisussa vesisäiliön vesi esikuumennetaan 70 – 80 °C:een, ja höyrystymiseen tarvittava lisälämpö kehitetään sähkövastuksin. Suoraan kanavaan höyryä puhaltavat kostuttimet voivat emittoida tuloilmaan haitallisia korroosionestoaineita, biosideja, levän estoaineita, happamuuden säätöaineita. (Asikainen. 2000)

Höyrysuuttimien suunnittelussa tulee huomioida niiden sijoittelu siten, että vältetään kosteuden tiivistymismahdollisuus kanaviston seiniin. (Rehva 9 2007,15).

6.10.2 Haihduttavat kostuttimet

Haihduttavassa kostuttimessa ilma kostuu, kun se joutuu suoraan kontaktiin kostuttimen pinnan kanssa. Haihduttavat kostuttimet siirtävät bakteereita tuloilmaan vain 1/200 – 1/20000 – osan verrattuna höyryä puhaltavat kostuttimeen.

6.10.3 Ruiskuttavat kostuttimet

Ruiskuttavassa kostuttimissa tuloilmaan ruiskutetaan suuttimista vettä hienojakoisena sumuna. Kostuttimen vesisäiliöissä mikrobiologinen kontaminaatio ja mikrobien lisääntyminen on mahdollista. Ruiskutus aiheuttaa todennäköisesti aerosolisoitumista. Lisäksi on mahdollista, että kostuttimen jälkeisissä komponenteissa esiintyy mikrobikasvustoja varsinkin, jos ruiskutusmäärät ovat liian suuria tai laitteissa on vikaa (Asikainen. 2000).

6.10.4 Ultraäänikostuttimet

Ultraäänikostuttimessa vesi hajotetaan ultraäänen avulla pieniksi pisaroiksi. (Asikainen. 2000)

6.11 Kuparinen lämmönsiirrin

Toisin kuin muut ilmanvaihtolaitteissa käytetyt materiaalit, kupari ja sen yhdisteet ovat laboratorio-olosuhteissa tuhonneet bakteereja ja sieni-itiöitä muutamien tuntien kuluessa. Kupari-ionien on todettu aiheuttavan mikrobeille niiden kromosomien DNA:n hajoamisen ja solukalvon tuhoutumisen.

Tutkimuksessa on tutkittu testiolosuhteissa kuparin antimikrobisia ominaisuuksia verrattuna alumiiniin. Tutkimuksessa käytettiin [liite 1] neljää kuparista ja alumiinista lämmönsiirrintä, ja ilmastointikanavien materiaalina käytettiin ruostumatonta terästä. Lämmönsiirtimillä / jäähdyttimillä ilmaa jäähdytettiin 13 C°:een.

Tutkimuksesta saadut arvot esitetään taulukossa [liite 2], siinä kuparisen siirtimen bakteerikasvusto oli 3500 kertaa vähäisempää kuin alumiinisella lämmönsiirtimellä. Lisäksi kuparisessa lämmönsiirtimessä sienikasvusto oli 577 kertaa vähäisempää kuin alumiinista valmistetussa siirtimessä [liite 3] (Attaway 2013).

6.11.1 Sienilajien vastustuskyky kuparimateriaaleja kohtaan

Tutkimuksessa on selvinnyt, että yleiset sienityypit kuten *Candida albicans*, *Fusarium colmoium*, *Fusarium oxysporium* ja *Fusarium solani* ja *penisillium schryso-genum* tuhoutuvat 24 tunnin kuparialtistuksen jälkeen. *Aspergillus flavus* ja *Aspergillus fumigatus* vaativat 120 – 144 tunnin kuparialtistuksen ennen kuin kasvustojen kuoleminen tapahtui.

Sienilajeista *Aspergillus niger* oli hyvin vastustuskykyinen eikä siinä havaittu tutkimusaikana merkittävää tuhoutumista. Kuitenkaan tämäkään sienilaji ei pystynyt leviämään itiöitensä kuparipinnalla. Tutkimuksessa suositellaan käyttämään kuparia sisältäviä ilmastointilaitteiden osia ainakin sairaala olosuhteissa (Keevil 2009)

6.11.2 Huoneilman itiöpitoisuus kuparisella lämmönsiirtimellä

Kuparisten ja alumiinisten lämmönsiirtimien vaikutusta huoneilmaan tutkittiin USA:n armeijan kasarmissa. Sienikasvustojen aiheuttamat itiöpitoisuudet olivat noin 2 kertaa pienemmät huoneissa, jossa ilmanvaihtokoneissa oli kupariset lämmönsiirtimet. Tulokset näkyvät oheisena olevasta taulukosta [liite 3] (Feigley 2011).

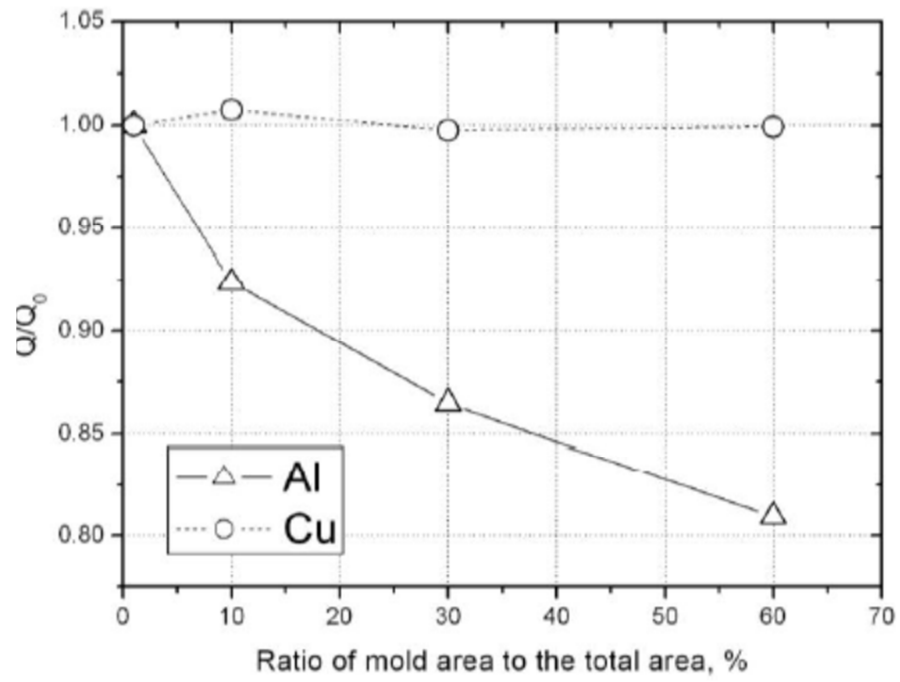
Mikrobit kasvavat helposti lämmönsiirtimen sisälle. Tämä alentaa lämmönsiirtimen tehokkuutta (Characklis 1990), aiheuttaa hajuhaittoja (Rose 2000) . Käynnistettäessä kotitalouden ilmastointikonehuoneen bakteeri pitoisuus voi kohota 2500 CFU/m³ ja sieni-itiö pitoisuus voi kohota 1000 CFU/m³. Pitoisuus palautuu kuitenkin 15 – 120 minuutin kuluttua normaali tasolle (Jo 2008).

Kupari LVI komponenttina voi estää bakteerien ja homeen kasvun, parantaa lämmönsiirron tehokkuutta ja vähentää ilman epäpuhtauksia. Epäpuhtauksien väheneminen parantaa sisäilman laatua (Energy 2013).

6.11.3 Energiatehokkuus kuparisella lämmönsiirtimellä.

Pitkän aikavälin laboratoriokokeessa, jossa tehtiin 4800 lämmitys- ja jäähdytysykliä, tutkittiin homekasvuston ja likaantumisen vaikutusta lämmönsiirtimeen tilavuusvirtaukseen. Kuparisiirtimeen tilavuusvirtaus pieneni 5.8 % ja alumiinisen lämmönvaihtimen tilavuusvirtaus pieneni 27 %. Kuparisessa siirtimessä ei ollut näkyvää homeenkasvustoa (Black 2013).

Toisessa tutkimuksessa käytettiin tutkimuskohteena 25 linja-autoa, niistä viidessätoista oli kuparinen lämmönsiirrin ja kymmenessä alumiininen. Tutkimuksessa lämmönsiirtimiin levitettiin tasaisesti nestemäisessä muodossa olevaa homeitiötä (*Aspergillus niger*) ja tutkimus aika oli 28 vuorokautta. Kuparisen lämmönsiirtimeen tilavuusvirrassa ei tapahtunut merkittävää muutosta, alumiinisen lämmönsiirtimeen ilmanvirtaus aleni 19 %, ja se näkyy kuvasta 6.11.3. Kuparinen lämmönsiirrin oli silmämääräisesti puhdas, kuten kuvasta näkyy [liite 5]. Alumiiniseen on selvästi kasvanut homekasvustoa, kuten kuvasta näkyy [liite4] (Black 2013).



Kuva 6.11.3. Kuparisen ja alumiinisen lämmönsiirtimen ilman tilavuusvirtauksien muutos.

7 ILMANVAIHTOLAITOKSEN ERISTYKSET

Ilmanvaihtokanavien eristykset jaetaan kahteen pääryhmään

- paloeristykset
- lämmöneristykset.
-

Paloeristykset tehdään Suomen rakentamismääräyskokoelman E7 – 2004 mukaan. Eristys tehdään yleensä kanavan ulkopuolelta tyyppihyväksytyllä verkkolankamatolla vaatimusten mukaan.

Lämmöneristyksen tarkoituksena on estää kylmän ilman lämpeneminen kanavassa, ja estää mahdollinen kondensoituminen kanavan ulko- tai sisäpintaan (Ripatti 2002, 51).

7.1 Ilmastointilaitteiden lämmöneristyskyky

Seuraavassa on esitetty lämmöneristys standardin EN 1886 mukaan.

Lämmön siirtymiskerroin U lasketaan kaavalla 2 (Iskid 2009).

$$U = \frac{P_{el}}{A \cdot \Delta t_{air}} \quad (2)$$

U = Lämmön siirtymiskerroin [$W/(m^2 \cdot K)$]

P_{el} = Lämmitys teho [W]

A = Ulkopintojen pinta-ala [m^2]

Δt_{air} = Lämpötila ero ($t_i - t_a$) [K]

t_i = sisäpuolen lämpötila [$^{\circ}C$]

t_a = ulkopuolen lämpötila [$^{\circ}C$] (Iskid 2009)

Taulukossa 7.1.1 on EN 1886 standardin mukaiset lämmöneristeluokat ilmastointilaitteille (Iskid 2009).

Taulukko 7.1.1 Lämmöneristys luokat EN 1886 standardin mukaan.

Lämmöneristys luokka	Lämmöneristys U [W*m ⁻² *K ⁻¹]
T1	$U \leq 0,5$
T2	$0,5 < U \leq 1,0$
T3	$1,0 < U \leq 1,4$
T4	$1,4 < U \leq 2,0$
T5	Ei vaatimuksia

((Iskid 2009))

7.2 Kylmäsilta

Seuraavassa on esitetty standardin EN 1886 mukaan.

Kylmäsilan (kylmäsilan arvo "k_b") on mitattu malli laatikossa ja laskettu siitä (kaava 3 ja kuva 7.2.1).

EN 1886 mukaiset ilmastointilaitteiden kylmäsilta arvot on esitetty taulukossa 7.2.1.

$$k_b = \frac{\Delta t_{\min}}{\Delta t_{\text{air}}} = \frac{t_i - t_{s-\max}}{t_i - t_a} \quad (3)$$

k_b = Kylmäsilan arvo []

Δt_{min} = Pienin lämpötilaero [K]

Δt_{air} = Ilmasta ilmaan lämpötilaero [K]

t_i = sisäpuolen lämpötila [°C]

t_{s-max} = Suurin pintalämpötila [°C]

t_a = ulkoilman lämpötila [°C] ((Iskid 2009)).

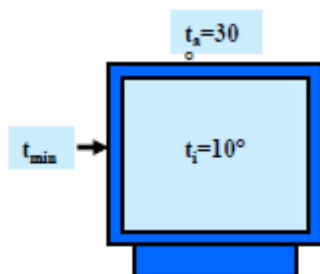
Taulukko 7.2.1. Lämmöneristeluokan mukaiset kylmäsilta-arvot.

Lämmöneristys luokka	Kylmäsilan arvo k_b
TB1	$0,75 \leq k_b < 1,0$
TB2	$0,6 \leq k_b < 0,75$
TB3	$0,45 \leq k_b < 0,6$
TB4	$0,30 \leq k_b < 0,45$
TB5	Ei vaatimuksia

(Iskid 2009)

Esimerkki

Riski kondensoitumiseen on suuri, kuin ulkoilma on lämpimämpi kuin sisäilma. Lasketaan ulkopinnan minimi lämpötila.



Kuva 7.2.1. Yksinkertainen malli kylmäsilan laskentaa varten.

Kylmäsilan arvo $k_b = 0,6$ Sisäilma $t_i = 10 \text{ °C}$ ulkoilma $t_a = 30 \text{ °C}$

$$k_b = \frac{t_{\min} - t_i}{t_a - t_i} \Rightarrow k_b \times (t_a - t_i) = t_{\min} - t_i \Rightarrow t_{\min} = t_i + k_b \times (t_a - t_i)$$

Tulos:

$$T_{\min} = 10 \text{ °C} + 0,6 \times (30 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) = 22 \text{ °C}$$

Ei ilmankosteuden tiivistymistä jos lämpötila on yli 22 °C ja ilman suhteellinen kosteus alle 62 % (Iskid 2009).

8 PUHDASTILA

”Huone, jossa ilman hiukkaspitoisuutta valvotaan, ja joka on rakennettu siten, ja jota käytetään sellaisella tavalla, että hiukkasten pääsy, kerääntyminen ja säilyminen huoneen sisällä on minimoitu. Lisäksi muita asiaankuuluvia suureita, kuten lämpötilaa, kosteutta ja painetta valvotaan tarpeen mukaan” (ISO-14644).

8.1 Puhdastilojen käyttökohteet

Puhdastiloja käytetään mm.

- sairaalat
- elintarviketeollisuus
- puolijohdeteollisuus
- biotekniikka
- mikromekaniikka
- optiikkateollisuus (Tuomi 2008).

8.2 Epäpuhtaudet puhdastilassa

Kontaminaatiota aiheuttavia kohteita puhdastilassa ovat

- suodattamaton tuloilma
- huoneilma
- pinnat
- ihmiset
- koneet
- raaka-aineet (Miettinen T. 2006)

Kävelevä ihminen tuottaa noin 5 000 000 partikkelia minuutissa (Palo 2006). Parhaiten tähän voidaan vaikuttaa käyttämällä puhdastila vaatetusta (Miettinen 2006).

8.3 Puhdastilan ilma

Puhdastilan ilmanlaadun suunnittelua ohjaa ISO 14644 standardi (Miettinen 2006). Lisäksi on muitakin standardeja ja viranomaismääräyksiä. Lääke- ja ravinneteollisuudella on käytössään tuotteiden valmistusta ohjaavat viranomaismääräykset GMP (Good Manufacturing Practice) ja FDA (Food and Drug Administration). Puhdastilat suunnitellaan täyttämät standardit ja viranomaismääräykset (Kannelsalo 2012).

Puhdastilan ilman puhtaus saavutetaan suurilla ilmavirroilla ja HEPA - suodattimilla, puhtaustilaluokituksesta riippuen (Miettinen 2006). HEPA ja EU-luokan suodattimien luokitukset eivät ole vertailukelpoisia keskenään. Puhdastilaan ilma tuodaan yhdensuuntaisesti tai turbulenttisesti HEPA – suodattimien kautta. Yleensä ilmavirta suunnitellaan, siten että se kulkee valmiiden tuotteiden alueelta raaka-aineiden vastaanottoalueiden suuntaan.

Ilmanvaihtojärjestelmän pääperiaatteina on käytössä kaksi tapaa ilman tuontiin:

Ilma tuodaan keskitetysti puhdastilan yläpuolella olevaan puhallinkammioon, josta ilma jaetaan HEPA–suodattimilla varustettujen päätelaitteiden kautta puhdastilaan. Toisaalta hajautetussa mallissa ilma tuodaan ilmanvaihtokoneelta ja tuloilma jaetaan jokaiselle HEPA - suodattimilla varustetulle päätelaitteelle (Miettinen 2006).

Puhdastiloissa käytetään suurta kiertoilmamäärää suurten ilmakertoimien vuoksi. Puhtaan ulkoilman osuus on normaalisti 2 – 10 % tuloilman määrästä.

“Määritettäessä puhdastilaan ilmanvaihtokerrointa, ilman vaihtuvuutta tilassa, käytetään taulukkoa. Taulukosta 8.3.1 ja 8.3.2 ilmenee ilmanvaihtokerroin ja ohjeellisia arvoja suodatin pinta-alalle ja vaadittava HEPA-suodattimen erotusaste ja luokka” (Miettinen 2006).

Taulukko 8.3.1. Puhdastilojen ISO – luokkien mukaiset Ilmanvaihtokertoimet, suodatin luokat, erotusasteet ja suodattimen pinta-alat prosentteina suhteessa pintaan nähden.

Puhdastilaluokka	Ilmavirran tyyppi	Ilmanvaihtokerroin [1/h]	HEPA-luokka	HEPA-suodattimen erotusaste	Suodattimen pinta-ala
ISO 3	L	360 - 600	U 15	ULPA 99,9995 %	+98 %
ISO 4	L	300 - 540	U 15	99,999	85 – 90 %
ISO 5	L/Y/T	240 - 480	H 14	99,99	60 – 80 %
ISO 6	Y/T	150 - 240	H 14	99,99	40 – 50 %
ISO 7	Y/T	60 - 90	H 13 – H14	99,97 – 99,99	10 – 20 %
ISO 8	Y/T	5 - 48	H 11	95	5 %

Taulukko 8.3.2. Kokemusperäiset ilmanvaihtokertoimet puhdastilaluokkien mukaan (Miettinen 2006).

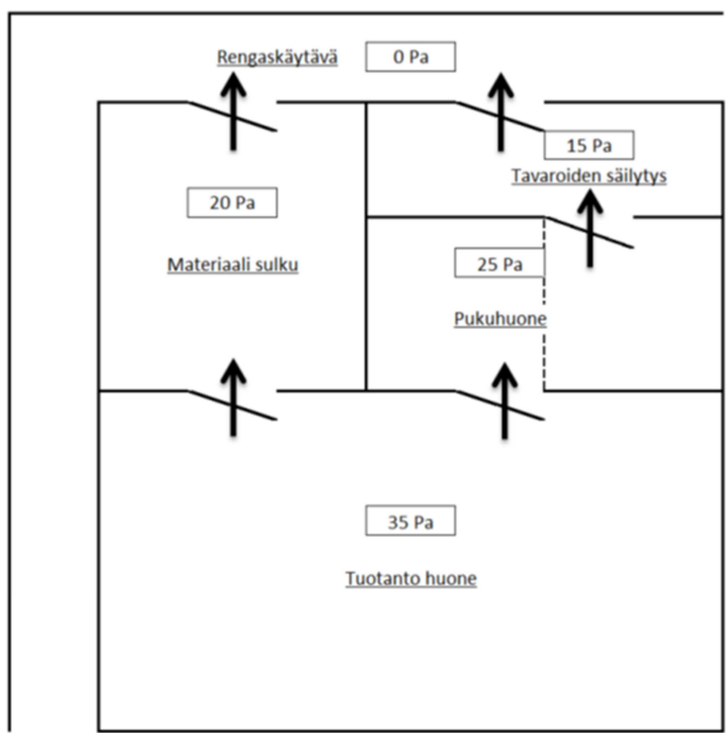
Puhdastilaluokka	Ilmanvaihtokerroin [1/h]
ISO 4	200 - 600
ISO 5	200 -400
ISO 6	50 - 100
ISO 7	20 - 60
ISO 8	12 -24

Puhdastilojen ilmanvaihtokertoimet ovat suuria verrattuna asuntojen ilmanvaihtokertoimiin. Asuntojen ilmanvaihtokerroin pitää olla vähintään 0,5 1/h (D2 2012)

8.4 Puhdastilan painetaso

Hiukkasten liikettä puhdastilassa täytyy hallita. Ilman liikesuuntia tilojen välillä pyritään hallitsemaan paine-erojen avulla. Tila, jonka tulee pysyä puhtaampana, pidetään ylipaineisena, jolloin epäpuhtaudet kulkeutuvat puhtaammasta tilasta likaisempaan. Ylipaine saadaan aikaan tuomalla suurempi määrä ilmaa tilaan kuin siitä poistetaan. Tämä ehkäisee epäpuhtauksien kulun puhtaampaa tilaan kun esim. kuljetaan ovista. Ylimääräinen ilma pyrkii kulkeutumaan rakenteiden ja ovien ym. välistä (Kannelsalo 2012).

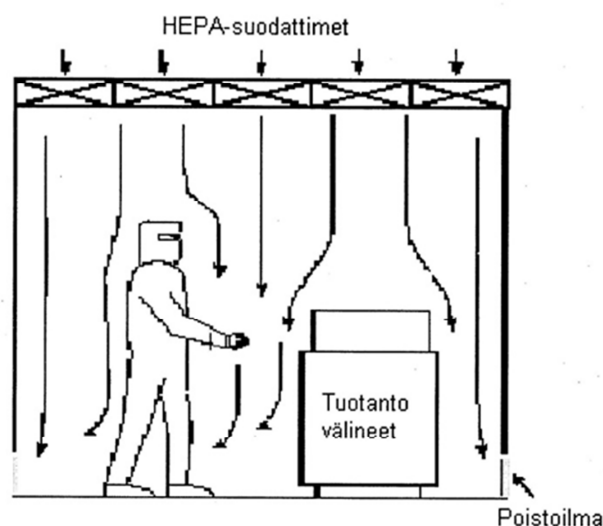
“ISO-14644-4:2001 ohjeistaa viereisten eri puhtausluokkaan luokiteltujen tilojen välille 5–20 Pa paine-eron, jolloin ovien avautuminen ei vaikeudu ja vältetään turhia ilman pyörteilyjä” Kuvassa 8.4.1 on kuva puhdastilan layoutista. Kuvasta saa periaatteellisen käsityksen puhdastilan eri huoneiden painetasoista ja ilmansiirtymisestä puhtaasta tilasta likaisempaan (Kannelsalo 2012).



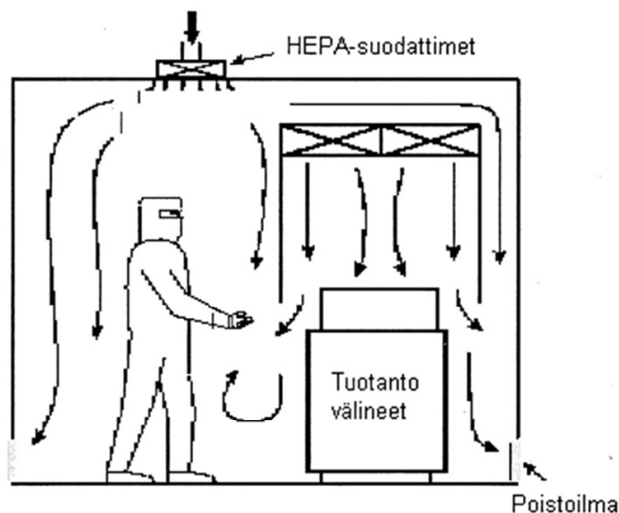
Kuva 8.4.1. Yksinkertainen puhdastilan layout, josta ilmenee painetasot ja ilmankulkuunnot (Kannelsalo 2012).

8.5 Ilmanjako

Puhdastiloissa käytetään yhdensuuntaista ilmavirtausta eli mäntävirtausta, joka on esitetty kuvassa 8.5.1. Lisäksi käytetään turbulენტtista virtausta eli sekoitusta ja yhdistettyä virtausta eli vyöhykeilmanjakoa, joka näkyy kuvassa 8.5.2. Turbulenttista virtausta voidaan käyttää puhtausluokka ISO 6 asti. Siinä ilma jaetaan turbulენტtisesti laimentamaan epäpuhtauspitoisuutta. Vyöhykeilmanjakoa käytetään yleisesti, sillä se yhdistää hyvät puolet ja minimoi huonot. Vyöhykeilmanjako on suosittua lääketeollisuudessa koska GMP – säädökset eivät salli rei'itettyä lattiarakennetta (Miettinen T. 2006).



Kuva 8.5.1. Yhdensuuntaisen ilmanjaon periaate (Miettinen T. 2006).



Kuva 8.5.2 Yhdistetty ilmanjako.

8.6 Rakenteet

Puhdastilojen rakenteilta vaaditaan:

- "ilmatiiviyttä
- seinien sisäpuolisten pintojen tulee olla sileitä ja helposti puhdistettavia
- kestävä hankaumia ja muuta rasitusta
- kestävä kemikaaleja
- antistaattisuus tai staattisuus" (Miettinen 2006).

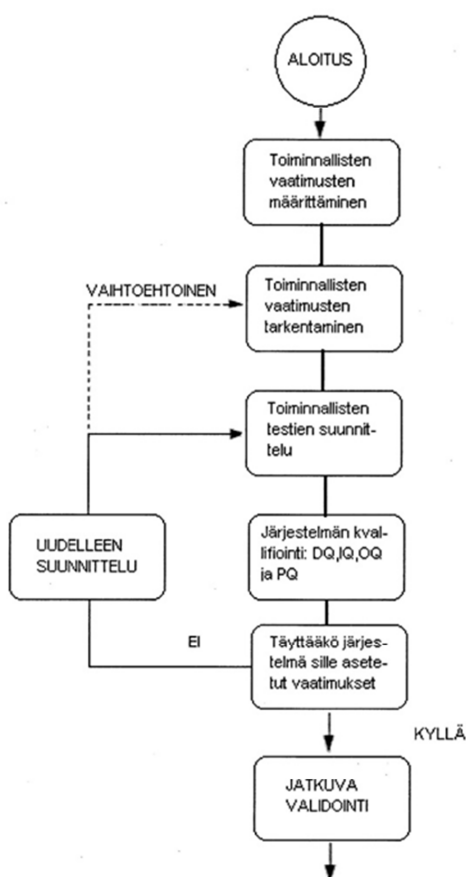
Puhdastilojen rakenteet voidaan jakaa luokkiin: moduulirakenteisiin ja perinteiseen tapaan. Perinteiset rakenteet tehdään paikan päällä (Miettinen 2006).

8.7 Prosessin validointi

Validointi tarkoittaa GMP:n määritelmän mukaan: "Sellaisten todisteiden hankkiminen hyvien tuotantotapojen periaatteen mukaisesti, joilla osoitetaan, että menettely, prosessi, laite, materiaali, toiminto tai järjestelmä todella johtaa vaadittuihin tuloksiin". Kuvassa 8.7.1 on periaate validoinnista (Miettinen 2006).

“Puhdastilatekniikka voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: Suunnitteluun, testaukseen ja käyttöön. Puhdastilat suunnitellaan ja rakennetaan, tilat testataan ja varmennetaan, jolloin valmistetaan tilojen toimivuudesta. Ja kolmanneksi huolehditaan oikeaoppisesta käytöstä, jotta kontaminaatio on minimissä” (Miettinen 2006).

Validoinnissa varmistetaan testaamalla ja varmennuksella, että tilat täyttävät standardin vaatimukset, ja tila täyttää tiukat tuotannon laatuvaatimukset. Näitä varten kerätään dokumentoituja aineistoja.



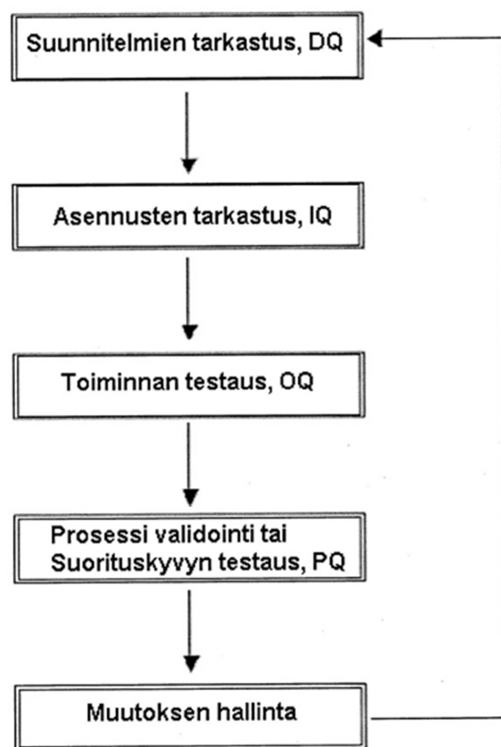
Kuva 8.7.1. Periaatekuva validoinnista ja sen toimintajärjestyksestä (Miettinen 2006).

8.8 Laitekvalifiointi

Kvalifiointi on GMP:n mukaan toiminto, jolla todistetaan, että laite toimii oikein, ja sen toiminnot todella johtavat vaadittuihin tuloksiin. Kvalifiointi on ohjeistettu ja dokumentoitu menetelmä, jolla todistetaan laitteen kelpoisuus prosessiin.

GMP – säädösten mukaan laitteille tehdään suunnitelmien tarkastus (DQ), asennusten tarkistus (IQ), toiminnon testaus (OQ) ja laitteiden suorituskyky testit (PQ).

Kuvassa 8.8.1 on suositeltava tapa edetä kvalifioinnissa, sitä voidaan pitää itsenäisenä osuutena koko validointiprosessissa (Miettinen 2006).



Kuva 8.8.1. Kvalifiointiprosessi.

8.8.1 Design qualification

Laitteiden suunnitelmien tarkastusvaiheessa tarkastetaan ja hyväksytään GMP:n mukaiset suunnitelmat, suunnitelmadokumentit ja laitteet.

8.8.2 Installation qualification

Laitteiden asennustarkastuksessa kootaan suunnitteluasiakirjat ja tekniset dokumentit ja näiden asiakirjojen perusteella tarkistetaan asennukset. Asennukset tulee olla tehty näiden mukaan. IQ – vaihe voidaan hyväksyä, jos asennukset on tehty asianmukaisesti.

8.8.3 Operational qualification

“Laitteiden toimintatestauksessa tarkistetaan täyttääkö laitteisto prosessille vaaditut ominaisuudet. Testaukset suorittaa tekninen henkilökunta, urakoitsijat tai suunnittelija” (Miettinen 2006). OQ – vaiheesta laaditaan kvalifointisuunnitelma, siinä tulee huomioida laitteistojen vaatimusten mukainen asennustarkastus. Suunnitelmassa tulee olla mukana testimenetelmät ja mittalaitteet kalibrointitodistuksineen.

8.8.4 Process qualification

Laitteiden suorituskyky testissä varmistetaan, laitteiden soveltuvuus prosessiin ja että niillä voidaan valmistamaan tuotetta hyväksyttävästi. Testi kuuluu käyttö- ja teknisen henkilökunnan tehtäviin.

8.9 Hygieenisten- ja puhdastilojen ilmastointikoneiden ominaisuuksia.

Laitteiston tulee minimoida veden ja lian kerääntyminen. Sisäpuolisten pintojen tulee olla mahdollisimman sileät lian kerääntymisen estämiseksi. Rakenteiden materiaalien tulee olla mikrobiologisesti passiivisia. Ovien rakenteet ja niiden salvat eivät saa kerätä likaa. Paneelien saumat tiivistetään sisäpuoleltaan mikrobikasvuston estämiseksi. Rakenneosat on suunniteltu helposti puhdistettaviksi ja huollettaviksi. Pattereiden pisara-altaat ovat helposti puhdistettavat. Rakenteissa ei ole kylmäsiltoja kondensoitumisen estämiseksi.

Lisäksi on suositeltavaa käyttää rakenneaineena ruostumatonta terästä, koska se kestää ja on helpompi puhdistaa. Lisäksi suositaan nestekiertoista lämmöntalteenottoa, jolloin tulo- ja poistoilma eivät pääse sekoittumaan (Fläktwoods 2013).

9 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN TOTEUTUKSEN VALVONTA

9.1 Rakennusaikainen valvonta

Rakentamisen aikaista valvontaa suorittaa urakoitsija ja työmaavalvoja. Urakoitsijan tulee käyttää omaa laatujärjestelmää. Työmaavalvojalle on kehitetty oma ohjelma nimeltään puhtauden valvontamenettely:

- Alkutarkastus.
Tehdään tarvikkeiden saapuessa työmaalle, tarkastetaan osien laatu, puhtausluokitusmerkinnät, asianmukainen suojaus ja kuljetus, sekä osien puhtaus.
- Varastokatselmus.
Osien varastointia seurataan, tarkastetaan varaston suojausten kunto likaantumista vastaan. Tarkastetaan kanavien tulppaukset ym. muut suojat.
- Asennusaikainen tarkastus.
Asennusaikana seurataan kanavien tulppausta ja asennusta odottavien osien suojausta. Samoin seurataan määriteltyjen työkalujen käyttöä. Kanavien puhtautta seurataan pistokoemaisesti.
- Asennettujen kanavien ja laitteiden rakennusaikaisten suojausten seuranta.
Seurataan asennettujen kanavien ja laitteiden suojausta rakennus ja loppusiivousten aikana. (Ripatti 2002, 52).

9.2 Käyttöönoton valvonta

Käytettäessä ilmanvaihtojärjestelmää rakennusaikana on varmistettava, että ilmanvaihtokone on varustettu suunnitelman mukaisilla suodattimilla. Ennen järjestelmän luovuttamista tilaajalle on ilmanvaihtojärjestelmä puhdistettava ja suodattimet vaihdettava.

Ilmanvaihtojärjestelmälle on laadittava järjestelmän kokoonpanoa vastaavat käyttö- ja huolto-ohjeet. Järjestelmä on pidettävä käynnissä vuoden ajan rakennuksen käyttöön oton jälkeen (Ripatti 2002, 52).

Huonetilojen, lämpöpattereiden, jäähdytyspalkkien ja konvektoreiden lämpötilamittaukset tai lämpökuvaukset ja –arvot dokumentoidaan. Rakennusautomaation toiminnan tarkastus, säätöjen tarkastus ja muutokset tehdään tarvittaessa urakoitsijan kanssa. Huoltohenkilöstö ohjeistetaan poikkeamatilanteissa.

Lopetuskokous pidetään rakennuttajan ja käyttäjän kanssa. (Manni 2011)

10 ILMANVAIHTOLAITTEIDEN HUOLTO

10.1 Laitteiden huolto

Tässä on esitetty huolto ohjeet P1 – puhtausluokan mukaisesti.

10.1.1 Suodattimen vaihto

Suodattimien vaihto tehdään: esisuodatin vaihdetaan 3-6 kk. välein, kaksiportaisessa suodatuksessa hienosuodatin vaihdetaan 6-12 kk. välein (Halton 2013a), tai poikkeustapauksissa tarpeen mukaan esim. jos suodatin on ollut märkä 2 viikkoa. Tarkastetaan pölyisyys, tummuus, haju ja kosteus, vaihdetut vanhat suodattimet pussitetaan pölyn leviämisen estämiseksi. Kammiot imuroidaan ja tiivisteet tarkastetaan (Harju 2009,151).

10.1.2 Lämmitys- ja jäähdytyspatterien puhdistus

Suoritetaan suodattimen vaihdon yhteydessä. Puhdistetaan imuroidamalla tai paineilmalla, vältetään kanavan likaantumista puhaltamalla pois päin siitä. Tarvittaessa patteri pestään höyryllä tai vedellä (Harju 2009,151).

10.1.3 LTO- laitteiston puhdistus

Suoritetaan suodattimen vaihdon yhteydessä. Puhdistetaan imuroidamalla tai paineilmalla, vältetään kanavan likaantumista puhaltamalla pois päin siitä. Tarvittaessa patteri pestään lämpimällä vedellä ja pesuaineella laitetyypin sen salliessa (Harju 2009,151).

10.1.4 Kanavien puhdistus

Suoritetaan 5 vuoden välein, kanavien puhdistuksen suorittaa siihen erikoistuneet liikkeet. Kanavisto puhdistetaan pölystä, kosteudesta ja mikrobeista. Tarvittaessa kanaviston puhdistustarvetta voidaan tarkastaa silmämääräisesti tai mittaamalla pölypitoisuus suodatinmenetelmällä. Kanavistosta valitaan viisi tarkastuspistettä jokaisesta kerroksesta tai alueesta (Harju 2009,151).

10.1.5 Puhaltimien, moottorien ja kotelon puhdistus

Puhdistus suoritetaan 6 kk välein. Rasvat, liat ja pölyt harjataan pois, tarvittaessa voidaan käyttää vettä ja pesuainetta. Laitteisto imuroidaan. Koteloiden ja luukkujen tiiveys tarkistetaan (Harju 2009,151).

10.1.6 Päätelaitteiden puhdistus

Päätelaitteet puhdistetaan 6 kk välein, puhdistus tehdään pyyhkimällä ja imuroimalla. Varmistetaan ettei laitteiden säädöt muutu (Harju 2009,152).

10.1.7 Ulkosäleikön ja tuloilmakammion puhdistus

Puhdistukset suoritetaan 6 kk välein ja tarkastus tehdään 3 kk välein. Ulkoilmasäleikkö puhdistetaan märkäpesuna harjaamalla ja tuloilmakammio puhdistetaan säleikön pesun yhteydessä. Kammio pestään tarvittaessa (Harju 2009, 152).

10.1.8 Äänenvaimennin puhdistus

Puhdistus tehdään 12 kk välein imuroimalla, paineilmalla tai harjaamalla (Harju 2009, 152).

10.1.9 Pisaraerottimen puhdistus

Tehdään 3 kk välein, se pestään vedellä ja pesuaineella (Harju 2009, 152).

Tämä on erityisen tärkeää, sillä tutkimuksen mukaan rakennukset joissa tämän tyhjennys ja puhdistus laiminlyödään, on kolme kertaa enemmän hengitystieoireilua (Michels 2013).

10.1.10 Kostuttimen puhdistus

Höyrykostutin puhdistetaan 6 kk välein. Samalla tarkastetaan höyrystimet ja pestään ne. Kennokostutin tarkastetaan ja pestään 1 kk välein (Harju 2009, 152).

10.1.11 Palo-, säätö- ja sulkupeltien puhdistus

”Tehdään 12 kk välein. Tiiveys ja likaisuus tarkistetaan ja pellit puhdistetaan tarvittaessa. Puhdistuksen jälkeen tarkastetaan toimivuus ja alkuperäinen asento” (Harju 2009, 152).

10.1.12 Alakaton yläpuolen puhdistus

Jos sitä käytetään ilmastonoinnin osana. Puhdistus tehdään 12 kk välein (Harju 2009, 152).

10.1.13 Kondenssivesiviemäreiden tarkastus

Tehdään huoltokäyntien yhteydessä.

10.1.14 IV-konehuoneen puhdistus

Tehdään 3 kk välein ja tarvittaessa useammin (Harju 2009, 152).

10.1.15 Säätolaitteiden huolto ja tarkastus

Säätolaitteet huolletaan ja tarkastetaan kahdesti vuodessa. Keväällä suoritetaan jäähdytyslaitteet ja syksyllä lämmityslaitteet. Lisäksi arvioidaan toimilaitteiden kuntoa silmämääräisesti, ja mahdollisuuksien mukaan testataan niiden liikkuvuus ääriasetoihin, tarkastetaan läpivientien kunto ja voidellaan nivelet, laakerit ja vetopyörästöt (Harju 2009, 152).

LÄHTEET

Asikainen V, Björkroth M, Holopainen R, Kovanen K, Luoma M, Palonen J, Pasanen P. 2000. Ilmanvaihtokomponenttien Puhtauden perusteet ja todentamismenetelmät Raportti B66. Espoo. Monila Oy.

Attaway H, Feigley C, Hussey J, Khan J, Michels H, Schmidt M, Steed L. 2013. Experimental tests of copper components in ventilation systems for microbial control. Charleston, SC, USA. Viitattu 27.5.2013.
<http://www.sendspace.com/folder/1z5g10>

Aurola R. Asumisterveysohje. Sosiaali ja terveystieteiden ministeriö 2003 Helsinki Viitattu 10.6.2013. http://www.finlex.fi/pdf/normit/14951-asumisterveysohje_pdf.pdf

Black J. 2013. Innovative copper solutions contribute to energy efficiency and air quality. Viitattu 10.6.2013. <http://www.sendspace.com/folder/1z5g10>

Brown 2013. Viitattu 18.5.2013 http://fi.wikipedia.org/wiki/Brownin_liike

Cleanvent. Ilmankäsittelytuotteet Fläktwoods 2012. Viitattu 15.4.2013
<http://www.flaktwoods.fi/aba10d04-c8e1-4019-b837-488587ef1772>

EN 13779:2007. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems. European Standard.

Energy Efficiency and Air Quality in Air Conditioning Viitattu 27.5.2013
<http://www.sendspace.com/folder/1z5g10>

Feigley C, Haselbach L, Hussey J, Khan J, Jahanian S, Michels H, Salzberg D, ja Schmidt M. 2011. Copper Heat Exchangers for Improving Indoor Air Quality: Cooling Season at Fort Jackson. . Viitattu 27.5.2013
<http://www.sendspace.com/folder/1z5g10>

Fläktwoods. Ilmankäsittelykone EQMaksimaalista energiatehokkuutta. Fläktwoods 2012 a. Viitattu 22.5.2013. <http://www.flaktwoods.fi/54aeac3f-720e-42c6-b6f4-f6b0b3acad10>

Flakwoods. Lumisuoja LSJ 2012 b. Viitattu 18.5.2013. // <http://www.flaktwoods.fi/eee9fb66-4464-4460-aa2b-026155e01206>

Fläktwoods. Sairaalan ilmastointiratkaisut 2013. Viitattu 15.4.2013.
<http://www.flaktwoods.fi/732a9933-4077-4f37-b644-7ae937c3dda4>

Genono 2013. Viitattu 15.5.2013.http://www.genano.fi/?Puhtaan_ilman_merkitys

Halonen R. Tuloilmasuodattimen olosuhteiden vaikutus tuloilmajärjestelmän mikro-bipitoisuuksiin. 2002. Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitoksen monistesarja.

Halton. Ilmansuodatuksen tuotekirja 2013 a Viitattu 15.5.2013.
(<http://www.halton.fi/ip/HCA2013F/index.html>).

Halton . USL ulkosäleikkö Halton 2013 b. Viitattu 18.5.2013.
http://www.halton.com/hit/pdf/fi/usl_fi.pdf.

Harju Pentti. Ilmastointitekniikan oppikirja 1 2008. Anjalankoski. Solverpalvelut Oy

Harju Pentti. Ilmastointitekniikan oppikirja 2 2009. Anjalankoski. Solverpalvelut Oy

Holopainen R, Räsänen P, Railio J, Säteri J & Virranta P. 2012.
Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus. Uudistettu painos. Opetushallitus.
Tampere Juvenes Print.

Iskid. European standards eurovent certification AHU. 2009. Istanbul. Viitattu 5.
4.2013. <http://www.iskid.org.tr/publishDocument.php>

Jo W.K, Lee J.H. (2008). Airborne fungal and bacterial levels associated with the use
of automobile air conditioners or heaters, room air conditioners, and humidifiers. *Ar-*
chives of Environmental and Occupational Health. 63:101–107 Viitattu 27, 5,2013.
<http://www.sendspace.com/folder/1z5g10>

Keevil C W, Michels H T ja Weaver L. Potential for preventing spread of fungi in
air-conditioning systems constructed using copper instead of aluminium 2009. Viitat-
tu 27, 5,2013. <http://www.sendspace.com/folder/1z5g10>

Kannelsalo H 2012. Puhdastilojen painehallintajärjestelmän suunnittelu
korjaushankkeessa. Helsinki. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Karjalainen Jari. Herosite pinnoitteella lisää käyttöikää ilmanvaihtojärjestelmän
lämmönsiirtimille. Viitattu 10.5.2013
([http://www.flaktwoods.fi/newsarchive9/herosite-pinnoitteella-pattereille-lisaa-](http://www.flaktwoods.fi/newsarchive9/herosite-pinnoitteella-pattereille-lisaa-kaytto)
[kaytto](http://www.flaktwoods.fi/newsarchive9/herosite-pinnoitteella-pattereille-lisaa-kaytto)

Kovanen K, Heimonen I & Laamanen J 2006. Ilmanvaihtolaitteiden hiukkaspäästöt.
VTT. Helsinki Edita Prima.

Lommi Ilpo 2013. Puijonkartano pysynyt sisäilmanlaadun edelläkävijänä.
Talotekniikka 2:2013. Helsinki Sanoma tekniikkajulkaisut Oy.

Manni Mikko. Rakennusprojektin LVI valvonta ohje 2011. Helsinki. Metropolin
AMK.

Mendell, M.J., M. Cozen, Q. Lei-Gomez, H.S. Brightman, C.A. Erdmann, J.R. Gir-
man, and S.E.Womble. 2006. Indicators of moisture and ventilation system contami-
nation in U.S. office buildings. as risk factors for respiratory and mucous membrane
symptoms:Analyses of the EPA BASE data. *Journal of Occupational and Environ-*
mental Hygiene 3:225–33. Viitattu 27.5.2013
<http://www.sendspace.com/folder/1z5g10>

Mäkinen. Energian käyttö ja jäähdytys Suunnittelijaseminaari. Flaktwoods 2013. Viitattu 22.5.2013 <http://www.flaktwoods.fi/f5227211-aca8-44bc-a2db-9225499eb334>

Miettinen T. Diplomityö. Puhdastilojen suunnitteluprosessi ja teknisten järjestelmien validointi 2006. Tampereen Teknillinen Yliopisto.

Palo J. Puhdastilatekstiilit – teollisuuden asettamat vaatimukset ja kehitystarpeet 2006. Tampereen Ammattikorkeakoulu.

Purtavaa. 2006 Viitattu 13.6.2013. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/purtavaapuhtaasti/mikrobit/mikrobit1.htm>

Rehva 9 2007. Hygiene requirement for ventilation and air - conditioning Rehva 2007. Forssa. Forsan kirjapaino

Ripatti H, Pentikäinen J, Saaristo P, Vasara J & Liljeström K. Puhtaan ilmanvaihdon suunnitteluohje. Kolmas painos. Sisäilmayhdistys 2002.

Rose, L.J. et al (2000). Volatile organic compounds associated with microbial growth in automobile air conditioning systems. *Current Microbiology*. 41:206–209.

Seppänen M, Seppänen O. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo: Sisäilmätieto Oy

Seppänen O. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Suomen LVI-Liitto. Forssa. Forssan Kirjapaino OY

SFS-EN 13779 -2007. Rakennusten ilmanvaihto. Muiden kuin asuinrakennusten ilmanvaihtosekä huoneilmastointijärjestelmien tehokkuusvaatimukset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 14644-1. 2000. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 1: Puhtausluokitus. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Sisäilmayhdistys. Perustietoa. Helsinki 2008. Viitattu 10.6.2013. http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/perustietoa/#_Yleinen_tieto

Solubiologia 2006. Viitattu 13.6.2013 <http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/mikrobit/>

Suomen RakMK D2. 2012. Rakennusten sisäilma ja ilmanvaihto 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto 2012.

Säteri. Sisäilmaluokitus 2008 sisäympäristön uudet tavoite arvot Viitattu 15.5 2013. www.sisailmayhdistys.fi/attachments/kehityshankkeet/sisailmastoluokitus2008-esittely.pdf

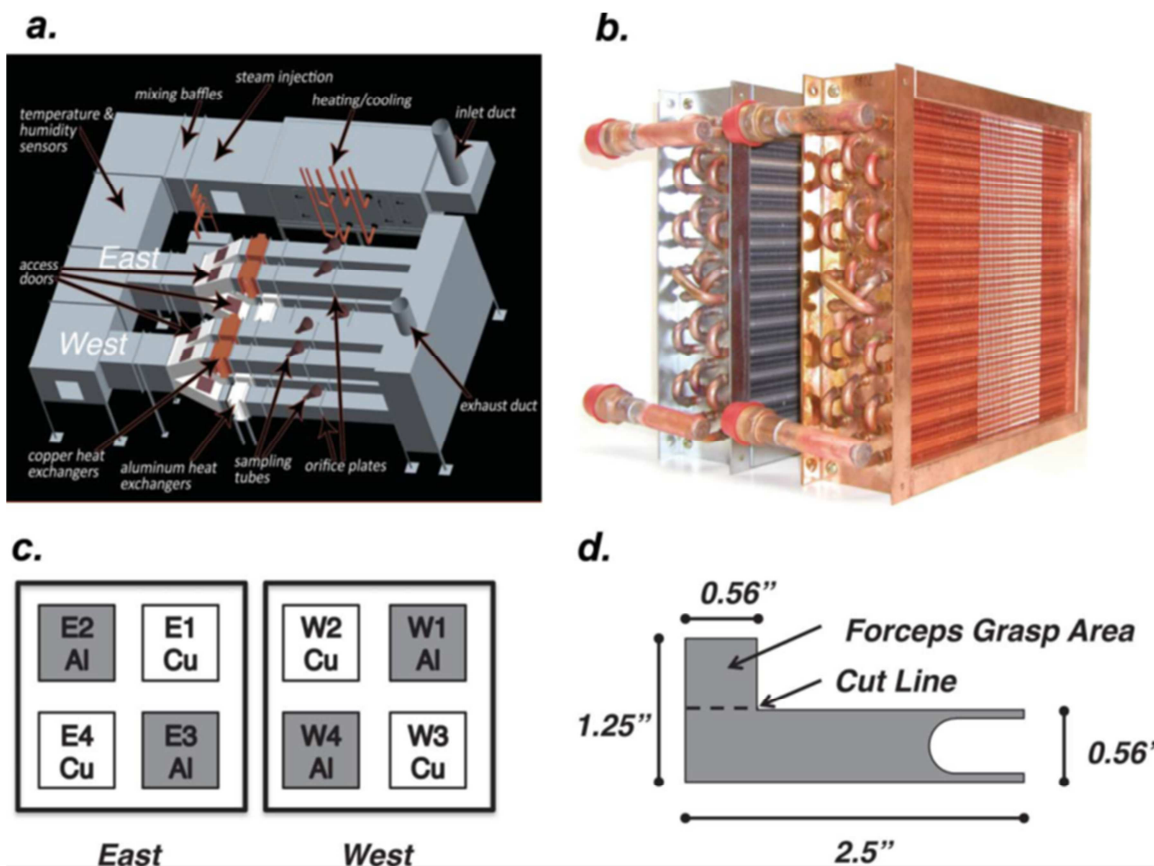
THL. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. Helsinki 2013. Viitattu 30.5.2013. http://www.thl.fi/fi_FI/web/fi/aiheet/tietopaketit/tupakointi/lainsaadanto/tupakkalaki

Tuomi A 2008, Siivoussuunnitelma puhdastilaan. Biomateriaalitekniikan laitos TTY.
Viittaus 15.4.2013.

http://www.sisailmayhdistys.fi/attachments/seminaarit/sem2008/tuomi_aura.pdf

ympäristö 2011. Mikrobit. Viitattu 13.6.2013.

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=75756>



Kuvassa tutkimuslaitteiston periaate kuva ja kuvat lämmönvaihtimista ja niiden paikoista (Attaway 2013).

LIITE 2

Taulukko. Arvioitu bakteeripesäkkeiden määrä (Attaway 2013).

Muuttuja materiaa- li / paikka	Arvioitu määrä CFU/cm ² <i>p</i>	<i>p</i>	Kommentti
Kupari	2.29	<0.0001*	Al > 3500 × Cu
Alumiini	8024		
East supply duct *	118.1	0.0344*	
West supply duct	155.8		
Upper branches	147.5	2013	Ei merkittävää
Lower branches	124.8		
Top rows	69.7	<0.0001	Top third of rows
Middle rows	157.5		Vähemmän
Bottom rows	227.2		than lower rows

Pidetään tilastollisesti merkittävänä kun ≤ 0.05

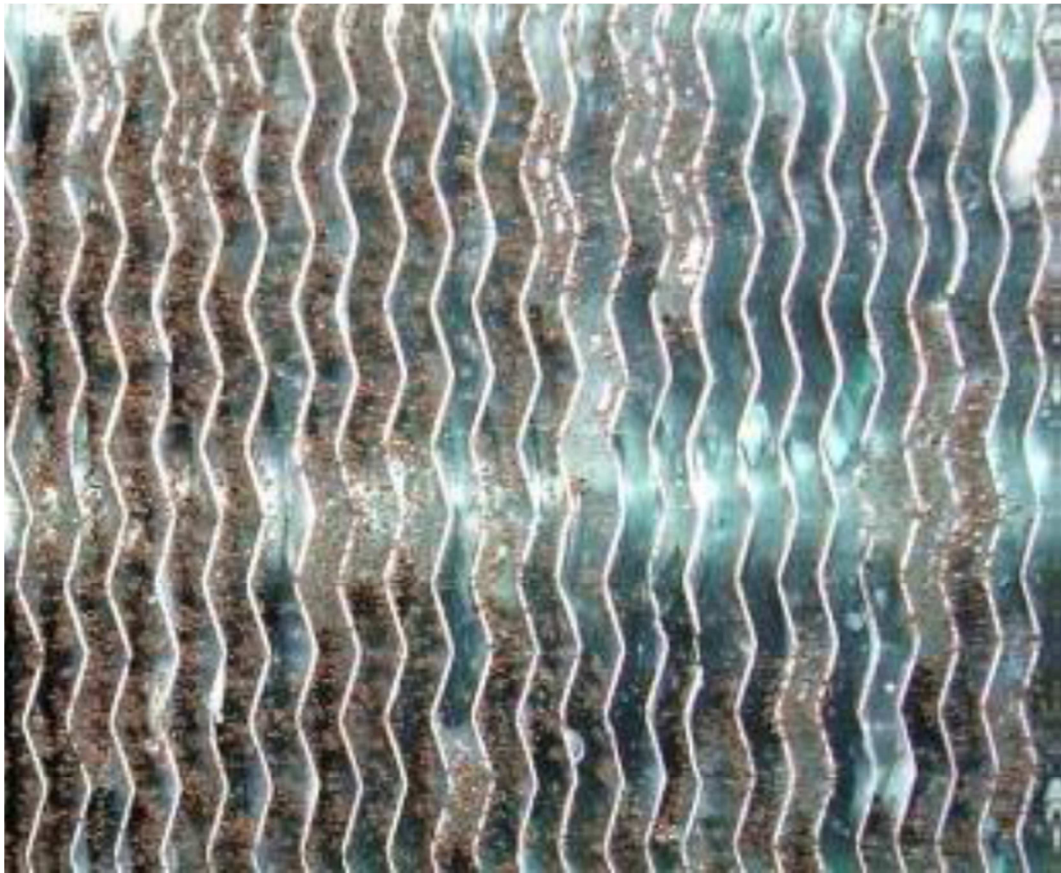
Taulukko a. Arvioitu Sieni pesäkkeiden määrä (Attaway 2013).

Muuttuja materiaa- li / paikka	Arvioitu määrä CFU/cm ² p	p	Kommentti
Kupari	0,33	<0.0001*	Al > 577 × Cu
Alumiini	190,3		
East supply duct *	4,88	< 0.0001*	west = 2,6*east
West supply duct	12,84		
Upper branches	6.31	0,0095	
Lower branches	9.92		
Top rows	4,18	<0.0004	Top third of rows
Middle rows	8,73		
Bottom rows	13,59		

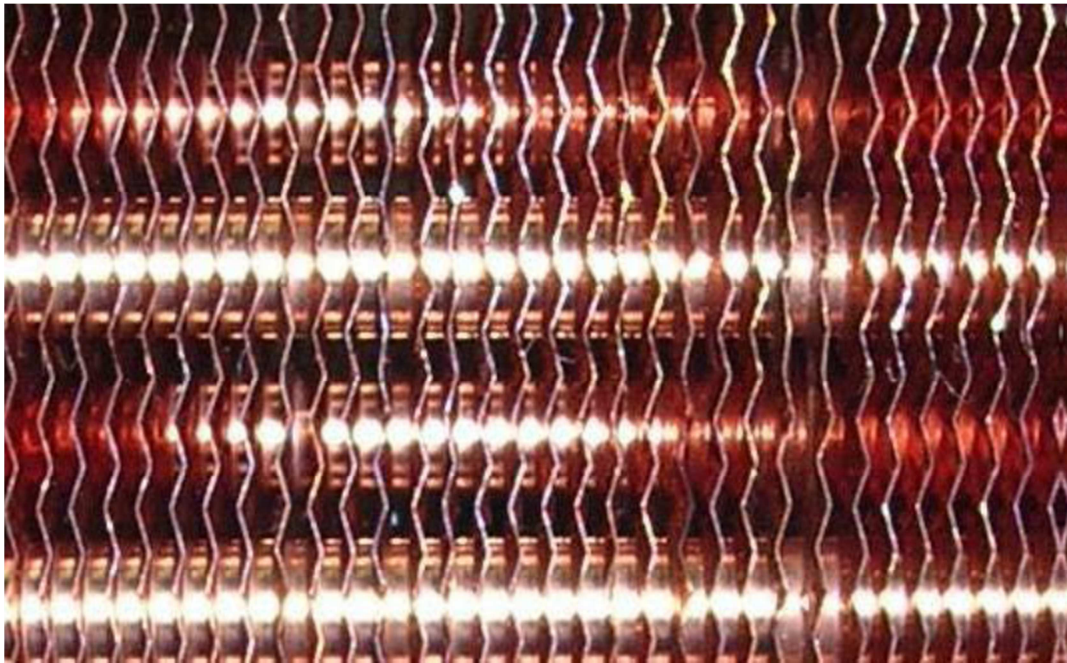
Pidetään tilastollisesti merkittävänä kun ≤ 0.05

Taulukossa b. On sienikasvuston aiheuttaman itiöpitoisuudet verrattuna alumiini / kupari lämmönvaihtimilla oleviin kasarmeihin. Pitoisuuksia on mitattu niin lämmitys kuin jäähdytys kaudellakin (Feigley 2011).

LSM sieni viljelmien pitoisuudet (CFU/m ³)						
Kausi	Huone			Tuleva ilma		
	Cu	Al	Cu/Al	Cu	Al	Cu/Al
Lämmitys	131	281	2,1	108	254	2,4
Jäähdytys	305	392	1,3	345	456	1,3
Lämmitys/jäähdytys	2,3	1,4		3,2	1,8	



Kuvassa on alumiininen lämmönvaihdin, joka on ollut liikennöivässä bussissa 28 vuorokautta, ja selvästi näkyvä homekasvusto on [*Aspergillus niger*] (Black 2013)..



Kuvassa on kuparinen lämmönvaihdin joka on ollut 28 vrk:ta liikennöivässä bussissa, ja siinä ei ole näkyvää homekasvustoa (Black 2013).