



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Mikael Ignatius

# Sairaaloiden ilmanvaihtoratkaisut Suomessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

1.12.2019

Tekijä Otsikko	Mikael Ignatius Sairaaloiden ilmanvaihtoratkaisut Suomessa
Sivumäärä Aika	40 sivua 1.12.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	diplomi-insinööri Tapani Idman, Granlund Oy lehtori Seppo Innanen
<p>Insinööriyön tavoite oli tehdä perusteellinen selvitys Suomen sairaaloiden ilmanvaihdosta ja sen mitoituksesta. Sairaaloiden ilmanvaihdosta ei vielä ole Suomessa standardia eikä määräyksiä tai asetuksia, joten suunnittelun lähtökohtana on ollut eri osapuolien asiantuntemus sekä kokemus ja myös eri asiakkaiden kanssa laaditut yhteiset ohjeistukset. Insinööriyö tehtiin Granlund Oy:lle, jolla on vuosien kokemus ja asiantuntemus sairaaloiden LVI-suunnittelusta. Ilmanvaihtoratkaisut ja mitoitukset, joita on sairaaloissa käytetty, on selvitetty keskustelujen, selvityksien, erilaisten dokumenttien sekä haastattelujen avulla.</p> <p>Työssä on myös selvitetty Saksan, Iso-Britannian ja USA:n sairaaloiden ilmanvaihtostandardit ja verrattu niiden mitoitusohjeistuksia Suomessa tehtyihin ilmanvaihtoratkaisuihin. Ulkomaisten standardien vertailussa selvisi, että jokaisella maalla on hyvin erilaiset ja mielenkiintoiset ilmanvaihtomitoitukset. Iso-Britannian standardissa on korkeat ilmamäärät, ja suodatusvaatimus on hyvin alhainen. USA:n standardissa suurin osa suunnitellusta ilmamäärästä on kiertoilmaa. Saksan standardissa ei paljon mitoitukseen kuuluvia asioita tuotu esille, vaikka kyseessä onkin sairaalan ilmanvaihtostandardi.</p> <p>Työssä pohdittiin myös haastattelujen ja selvityksien perusteella esiin tulleita suomalaisia mitoitusohjeistuksia. Eri tilojen mitoituksia on mietitty kriittisesti ja pohdittu, voidaanko eri tilojen mitoituksia jopa muuttaa.</p>	
Avainsanat	ilmanvaihto, sairaala, ilmanvaihtomitoitus

Author Title	Mikael Ignatius Hospital Ventilation Solutions in Finland
Number of Pages Date	40 pages 1 December 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Tapani Idman, M.Sc. Seppo Innanen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to make a comprehensive study on ventilation in Finnish hospitals. Finland does not currently have a standard for hospital ventilation design, so the aim was to gather the different instructions for dimensioning hospital ventilation.</p> <p>An additional purpose for this final year project was to study the hospital ventilation standards of the UK, USA and Germany and compare them to the Finnish hospital ventilation solutions. The result of the comparison showed that the ventilation requirements vary greatly from country to country, although the German standard did not discuss the design aspect of hospital ventilation a lot.</p> <p>The Finnish design guidelines and dimensioning were reviewed through discussions, studies and interviews. The ventilation of different hospital spaces was examined critically, and the result was that the ventilation in some hospital spaces may be overdimensioned, so there is reason to consider whether the dimensioning of various spaces could be changed.</p>	
Keywords	ventilation, hospital, dimensioning

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sairaaloiden ilmanvaihto Suomessa	1
2.1	Ilmansuodatus	2
2.1.1	Ilmansuodatuksen standardi EN ISO 16890	3
2.1.2	ISO 16890 -standardin vertaaminen EN 779:2012 -standardiin	4
2.2	Lämpötila ja kosteus	5
2.3	Äänivaatimukset	6
3	Sairaalalaitteet	7
3.1	Luokan 2 biologinen suojakaappi	7
3.2	Vetokaappi	9
3.3	Huuvat	10
3.4	Sairaalalaitteiden pesukoneet	11
4	Ulkomaiset sairaalatiilojen ilmanvaihtostandardit	12
4.1	Saksan sairaalatiilojen ilmanvaihto	12
4.1.1	Standardi DIN 1946-4, 2018	12
4.1.2	DIN 1946-4, 2018 -standardin luokitusjärjestelmä ja vaatimukset	12
4.2	Iso-Britannian sairaalatiilojen ilmanvaihto	14
4.2.1	Standardi HTM3	14
4.2.2	Iso-Britannian sairaalatiilojen ilmanvaihdon mitoitusohjeet	15
4.3	Yhdysvaltalainen sairaalatiilojen ilmanvaihto	18
4.3.1	Standardi S170	18
4.3.2	Standardin S170:n suodatinluokat	18
4.3.3	S170-standardin mitoitusohjeet	21
5	Ulkomaisten standardien vertailu	22
5.1	Potilashuone	23
5.1.1	Ulkomaiset potilashuoneiden mitoitukset	24

5.1.2	Potilashuoneiden mitoitusvertailu	25
5.2	Heräämötila	25
5.2.1	Ulkomaiset heräämötilojen mitoitukset	26
5.2.2	Heräämötilojen mitoitusvertailu	27
5.3	Synnytyssali	28
5.3.1	Ulkomaiset synnytyssalimitoitukset	28
5.3.2	Synnytyssalien mitoitusvertailu	29
5.4	Tehohoituhuone	30
5.4.1	Ulkomaiset tehohoituhuonemitoitukset	30
5.4.2	Tehohoituhuoneiden mitoitusvertailu	31
5.5	Eristystilat	32
5.5.1	"Ventilation in hospitals" -standardi	32
5.5.2	"Ventilation in hospitals" -standardin vertailu S170-standardiin	33
6	Sairaalatilojen mitoituspohdinta	34
6.1	Tilanimikkeet	34
6.2	Steriilivarasto	34
6.3	Kuvantamisen tilat	35
6.4	Heräämö	35
6.5	Näytteenotto	36
6.6	Käytävä	36
6.7	Pukuhuone	36
6.8	Potilas-osaston hoitajien kanslia	36
6.9	Tutkimus- ja vastaanottohuone	37
7	Yhteenveto	37
	Lähteet	39

## Lyhenteet

ASHRAE	Amerikkalainen LVI-alan insinööriyhdistys
DIN	Saksalainen standardointi-instituutio
HTM	Iso-Britannian viranomaisten julkaisema sarja standardeja
HEPA	High Efficiency Particulate Filter, korkean erotusasteen suodatin
ISO	Kansainvälinen standardisoimisjärjestö
KSL	Kiinteät sairaalalaitteet
LTO	Lämmöntalteenotto
LTF	Laminaarivirtaus
MERV	USA:n S170 standardin suodatinluokka

## 1 Johdanto

Sairaalan teknisen toimivuuden kannalta ilmanvaihto on yksi tärkeimmistä osa-alueista. Sairaaloissa on hyvin monipuolisia tiloja, jotka kaikki vaativat erilaista ilmanvaihtoa. Tämän työn tavoitteena on tehdä perusteellinen selvitys sairaalatiilojen ilmanvaihdosta. Tutkimuksien ja haastatteluiden avulla on pyritty selvittämään eri tilojen mitoitusohjeet sekä pohtimaan kriittisesti mitoituksien perusteita. Työssä on myös selvitetty Saksan, Iso-Britannian sekä Yhdysvaltojen sairaalatiilojen ilmanvaihtostandardeja ja pyritty vertaamaan niitä Suomen suunniteltujen sairaaloiden ilmanvaihtomitoituksiin. Työstä on rajattu pois leikkaussalien sekä puhdastilojen ilmanvaihtomitoitukset.

Insinööriyön toimeksiantaja on talotekniikkasuunnittelun asiantuntijakonserni Granlund Oy, jolla on vahva osaaminen sairaaloiden taloteknisessä suunnittelussa. Granlund Oy on yksi Suomen suurimmista talotekniikka-alan suunnittelua tarjoavista yrityksistä.

## 2 Sairaaloiden ilmanvaihto Suomessa

Sairaaloissa ilmanvaihto ja puhtaus tulee olla korkealla tasolla. Sairaalat palvelevat sairaita ihmisiä ja ilmanvaihto on potilaan toipumisen kannalta tärkeä tekijä. Sairaala on ilmanvaihdon näkökulmasta monipuolinen rakennus, sillä sairaalassa löytyy monenlaisia tiloja eri käyttötarkoituksiin.

Suunnittelussa tulee huomioida mm. eri tilojen halutut ilmamäärät, painetasot, erillispoistot, suodatusvaatimukset, äänenvaatimukset sekä lämpötila- ja kosteusvaatimukset. Infektioiden ja bakteereiden ehkäisyssä on ilmanvaihto tärkeässä roolissa. Sairaalat suunnitellaan huomattavasti suuremmalla ilmamäärällä kuin esimerkiksi tavanomainen kerrostalo. Ilmanvaihdossa käytetään useasti korkealla erotusasteella olevia suodattimia infektioiden sekä bakteereiden ehkäisyyn. Ilmanvaihtokoneet, jotka palvelevat hoitoon liittyvää tilaa, tulee varustaa nestekiertoisella lämmöntalteenottojärjestelmällä (LTO). Nesteellä toimivat LTO-järjestelmät edesauttavat infektioiden ja bakteereiden ehkäisyä, sillä kyseisessä järjestelmässä tulo- ja poistoilmat eivät sekoitu keskenään. Pyörivällä

kiekolla toimivalla lämmöntalteenottojärjestelmällä poistoilma sekä tuloilma voi sekoittua keskenään, tehden siten tuloilman mahdollisesti epäpuhtaaksi.

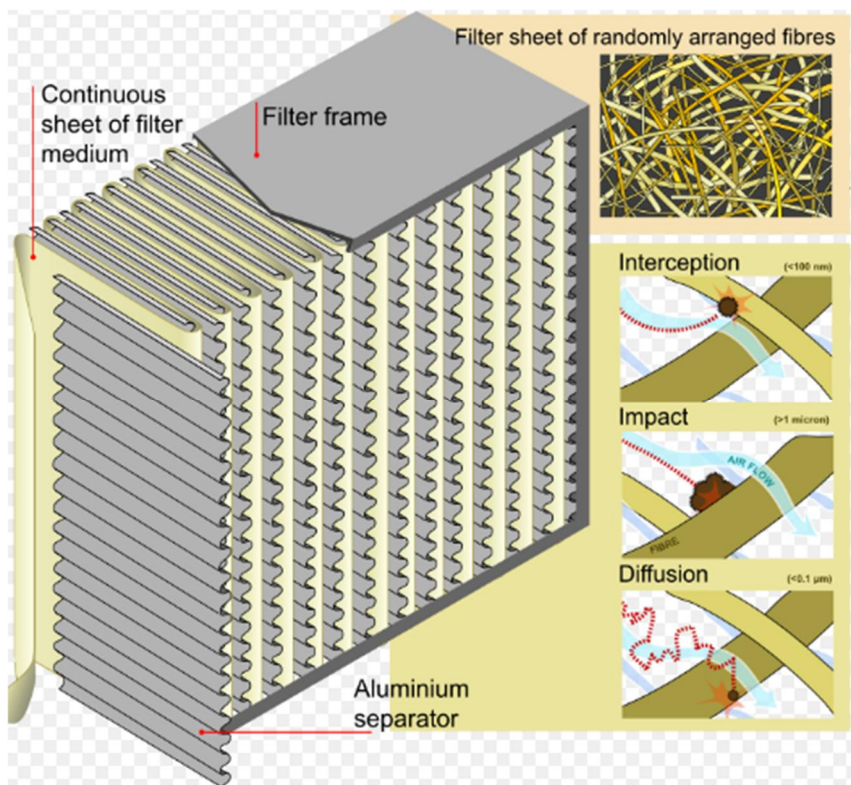
Ilmanvaihtoa suunniteltaessa tulee myös huomioida erilaiset sairaalalaitteet ja erikoistilat. Erikoistiloja ovat mm. eristystilat, puhdistilat ja leikkaussalit. Useat erikoistilat suunnitellaan tapauskohtaisesti yhdessä käyttäjien kanssa.

## 2.1 Ilmansuodatus

Ilman puhtaus on yksi sairaalan tärkeimmistä osa-alueista. Ilmanvaihtojärjestelmiä tarvitaan, jotta saavutetaan hyvä ilmanlaatu, mutta ilmanvaihto on myös tärkeä järjestelmä ehkäisemään erilaisia infektioita. Suomessa hoitoon liittyviä infektioita on vuosittain noin satatuhatta kappaletta [1]. Luku on hyvin korkea, ja ilman tarkoituksenmukaista ilmanvaihtoa luku olisi entistä korkeampi. Käyttämällä asianmukaista ilmansuodatustekniikkaa sairaalan ilmanvaihtojärjestelmissä, voidaan tuottaa lähes hiukkasetonta ilmaa.

Tilat, jotka vaativat korkeinta mahdollista ilmanlaatua ovat mm. leikkaussalit ja puhdistilat. Käyttämällä HEPA, eli "High Efficiency Particulate Air Filter"-suodattimia, saadaan ilman epäpuhtaudet suodatettua lähes kokonaan. Suodatin suodattaa ilman kolmella eri tavalla (kuva 1): Interseptio, jossa hiukkaset tarttuvat ilman virratessa suodattimen kuituihin staattisen voiman avulla. Törmäys, jossa hiukkaset törmäävät suodattimen kuituihin, jääden siten suodattimeen kiinni. Diffuusio, jossa ilman pienimmät hiukkaset hidastuvat törmätessään kaasumolekyyleihin ja siten estyvät menemästä suodattimen läpi.





Kuva 1. HEPA-suodattimen toimintaperiaate [23]

Sairaaloissa HEPA-suodattimet ovat yleensä varustettu ultraviolettilampulla, jonka tarkoituksena on tuhota suodattimeen kiinni jääneitä bakteereita. Kun HEPA-suodatin on varustettu ultraviolettilampulla, saavutetaan 99,995 %:n ilmansuodatus. [2] HEPA-suodattimilla on korkeat painehäviöt, joten ilmanvaihtokone täytyy varustaa tavanomaista tehokkaammalla puhaltimella, jotta ilmanvaihtojärjestelmä saavuttaisi mitoitettun ilmavirran sekä ilman nopeuden ilmanvaihtokanavistossa. [3, s. 1271]

### 2.1.1 Ilmansuodatuksen standardi EN ISO 16890

EN ISO 16890 -standardi käsittää yleisilmanvaihdon ilmansuodatuksen. Standardissa on laadittu suodattimille luokitusjärjestelmä, joka perustuu hiukkasmaisen aineiden erotusasteeseen. Kyseinen standardi on melko uusi, joten tätä työtä kirjoittaessa suurimmat ilmanvaihtosuodattimien valmistajat eivät ole vielä luokitelleet suodattimiaan nykyisen standardin mukaisesti. Kun vertaa nykyistä standardia vanhaan EN 799:2012 -standardiin, jonka mukaan suodattimia on vielä luokiteltu, on nykyisen standardin luokitus

monimutkaisempi. Uudessa luokituksessa määritetään hiukkasten koko prosentuaalisesti neljässä eri luokassa.

Taulukko 1. ISO 16890 -standardin suodatinryhmät

Ryhmätunnus	Vaatimus		
	ISO ePM <sub>1, min</sub>	ISO ePM <sub>2,5, min</sub>	ISO ePM <sub>10, min</sub>
ISO Karkea			< 50 %
ISO ePM <sub>10</sub>			≥ 50 %
ISO ePM <sub>2,5</sub>		≥ 50 %	
ISO ePM <sub>1</sub>	≥ 50 %		

Taulukosta 1 nähdään neljä eri ryhmätunnusta ja niiden eri vähimmäisvaatimukset. Suodattimien prosenttiarvot ilmoitetaan 5 prosenttiyksikön välein. Esimerkiksi suodatin, jonka määrätty suodatusluokka on ISO Karkea 40 %, suodattaa hiukkasia kooltaan 10 µm 40–44-prosenttisesti. ISO ePM<sub>10</sub> -luokassa olevat suodattimet suodattavat hiukkasia kooltaan 10 µm yli 50-prosenttisesti. ISO ePM<sub>2,5</sub> -luokassa olevat suodattimet suodattavat hiukkasia kooltaan 2,5 µm yli 50-prosenttisesti ja ISO ePM<sub>1</sub> -luokassa olevat suodattimet suodattavat hiukkasia kooltaan 1 µm yli 50-prosenttisesti. [4]

### 2.1.2 ISO 16890 -standardin vertaaminen EN 779:2012 -standardiin

ISO 16890 -standardin ja EN 779:2012 -standardin luokitusjärjestelmät poikkeavat huomattavasti toisistaan, joten niiden suoranainen vertailu on haastavaa. Eurooppalainen suodatinvalmistaja Venfilter on vertaillut keskenään kyseisten standardien suodattimien luokitusjärjestelmiä.

Taulukko 2. Venfilterin tekemä EN779:2012 ja ISO 16890 -standardien suodattimien luokitusjärjestelmien vertailu. [5]

EN779:2012	EN ISO 16890
G1	-
G2	Karkea-40%
G3	Karkea-50%
G4	Karkea- >60%
M5	ePM <sub>1</sub> - <20% ePM <sub>2.5</sub> - <40% ePM <sub>10</sub> - ≥50%
M6	ePM <sub>1</sub> - <40% ePM <sub>2.5</sub> - 50-60% ePM <sub>10</sub> - >60%
F7	ePM <sub>1</sub> - 50-70% ePM <sub>2.5</sub> - >65% ePM <sub>10</sub> - >80%
F8	ePM <sub>1</sub> - 70-80% ePM <sub>2.5</sub> - >80% ePM <sub>10</sub> - >90%
F9	ePM <sub>1</sub> - >80% ePM <sub>2.5</sub> - >90% ePM <sub>10</sub> - >95%

Taulukosta 2 nähdään, että nykyisessä ISO 16890 -standardissa ei ole EN 779:2012 -standardin G1-suodatinluokalle vastaavaa luokitusta. G1-luokan suodattimia ei kuitenkaan käytetä sairaalatiilojen ilmanvaihdossa. [5]

## 2.2 Lämpötila ja kosteus

Lämpötila eri sairaalatiiloissa vaikuttavat mm. potilaan toipumiseen. Sairaalassa on erilaista hoitoa tarvitsevia ihmisiä, joille täytyy olla mukavat ja terveelliset olosuhteet

sairaalassa ollessaan. Lämpötilan nousu voi olla suuri ongelma kuumana kesänä. Korkea lämpötila voi pahimmassa tapauksessa olla jopa hengenvaarallista.

Suomessa normaalisti tilat varustetaan lämmityspattereilla tai säteilypaneeleilla, joilla voidaan myös jäähdyttää tiloja. Vaihtoehtoisesti tilaa voidaan jäähdyttää esim. puhallin-konvektorilla. Ilmanvaihtoa ei käytetä hallitsemaan tilan lämpötilaa vaan ylläpitämään tilan suunniteltua sisäilman laatua pois lukien erityistilat, missä ilmanvaihtoa käytetään hallitsemaan tilan olosuhteita.

Ilmanvaihtokoneet sairaaloissa varustetaan lähes poikkeuksetta lämmitys- ja jäähdytyspattereilla. Jälkijäähdytys- ja jälkilämmityspattereita käytetään myös tarvittaessa. Erilaisilla pattereilla ilmanvaihtojärjestelmässä saadaan suunniteltu lämpötila tuloilmalle. Eri-tyistapauksissa voidaan myös hallita ilman suhteellinen kosteus ilmanvaihtojärjestelmän pattereilla. Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenottojärjestelmä sairaanhoidollisissa tiloissa tulee olla nestekiertoinen [18]. Tiloissa, jossa ei ole lainkaan sairaanhoidollisia toimenpiteitä, kuten porraskäytävät ja tekniset tilat, voidaan varustaa pyörivällä LTO-järjestelmällä.

### 2.3 Äänivaatimukset

Ilmanvaihdosta syntyvä melu on usein sellainen, johon käyttäjä ei pysty vaikuttamaan. Kanaviston ilman nopeus sekä kanaviston paine vaikuttaa melutasoon. Myös eri pääte-laitteet ja kanaviston muut komponentit aiheuttavat ylimääräistä melua. Erilaiset äänilas-kelmat ovat keskeinen osa ääniteknistä suunnittelua. Ilmanvaihtoa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon, että ilmanvaihdon kanavisto siirtää ääntä tilasta toiseen. Esimerkiksi potilashuoneissa puheääni voi kuulua huoneesta toiseen yhteisen kanavan tai venttiilien kautta. Ymmärtämällä ilmanvaihdosta tulevaa melua ja ottamalla se huomioon kanaviston rakennetta suunnitellessa vältetään hankalilta meluhaitoilta. Konkreettisia tapoja on välttää suoraa kanavayhteyksiä tilojen välillä ja lisäämällä äänenvaimentimia tilojen välille.

Sairaalassa on useita erilaisia tiloja, joiden äänivaatimukset ovat erilaisia. Esimerkiksi potilashuoneissa äänitaso tulisi olla 28 dB (A) ja vastaavasti paineilmakeskuksessa

äänitaso voi olla jopa 50 dB (A). Jatkuva melutaso, joka ylittää 30 dB (A) vaikuttaa tutkusti ihmisen unenlaatuun [14]. Sairaaloissa voi olla määrättyt kuulontutkimustilat, joissa äänivaatimukset ovat vaativat ja tapauskohtaisesti määriteltynä [19]. Sairaalahankkeissa on nykyään usein mukana akustikko, joka mm. määrää äänivaatimukset eri tiloille. Ilmanvaihtosuunnittelija pystyy kuitenkin aktiivisella yhteistyöllä akustiikon kanssa vaikuttamaan määrättyihin äänivaatimuksiin. [18]

### 3 Sairaalalaitteet

Sairaaloissa on useita erilaisia kiinteitä sairaalalaitteita, eli KSL-laitteita, jotka vaikuttavat sairaalan ilmanvaihtoon. Sairaalan ilmanvaihtoa suunnitellessa on syytä tutustua sairaalan eri laitteisiin ja tehdä tiivistä yhteistyötä sairaalalaitteiden suunnittelijoiden kanssa. Tilassa, jossa on poistoilmaliitosta tarvitseva sairaalalaitte, täytyy laitteen ilmamäärä huomioida tilan mitoituksessa siten, että järjestelmä pysyy tasapainossaan.

#### 3.1 Luokan 2 biologinen suojakaappi

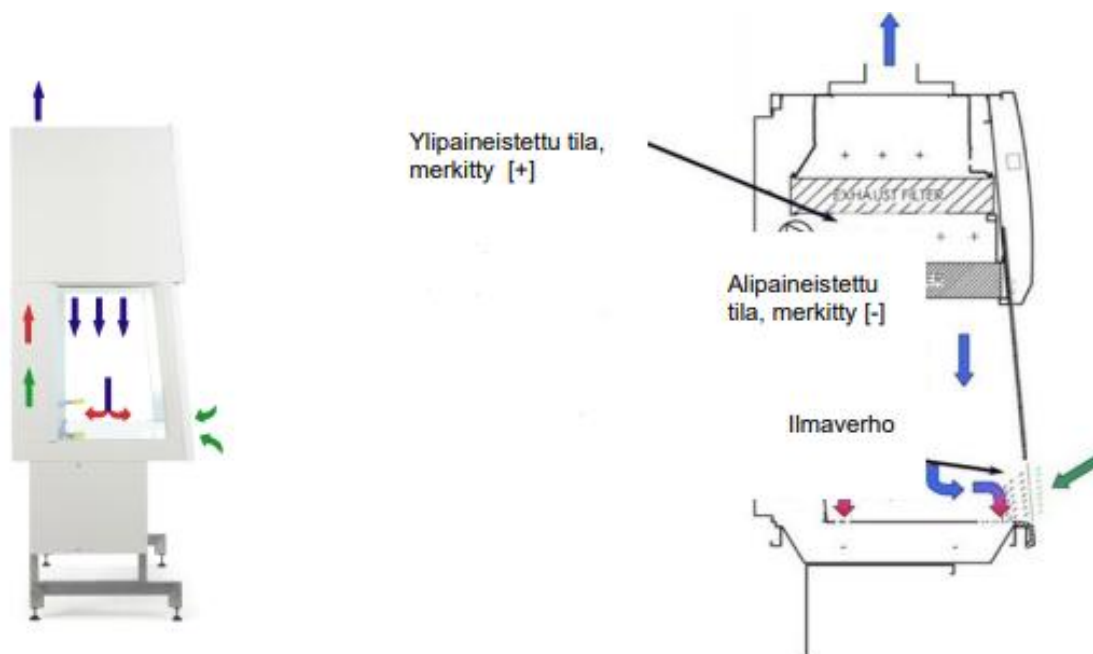
Luokan 2. biologinen suojakaappi, jota kutsutaan yleisemmin laminaarivirtauskaapiksi, on suojakaappi, jossa käsitellään terveydelle haitallisia mikro-organismeja. Kaapit suojaavat myös ympäristölle alttiita käsiteltäviä materiaaleja. Suojakaappeja käytetään mm. soluviljelyyn, steriilien työvaiheiden suorittamiseen, lääkeaineiden käsittelyyn ja patogeenisten mikro-organismien ja isotooppien käsittelyyn.



Kuva 2. Kojair Tech Oy:n Biowizard Silver Line -laminarivirtauskaappi [16]

Laminarivirtauskaappeja on monenlaisia, ja niiden toimintaperiaate vaihtelee. Kuvassa 2 oleva Kojair Tech Oy:n Biowizard Silver Line -laminarivirtauskaappi toimii kiertoilma-periaatteella, joka on esitetty kuvassa 3.

Kiertoilma-periaatteella toimivan laitteen antama suojaus perustuu siihen, että työaukosta imetty korvausilma siirtyy työtason etureunassa olevan rei'ityksen kautta laitteen pohjaltaaseen ja sieltä puhaltimelle. Tällöin korvausilma muodostaa työaukkoon ilmaverhon estäen ilman ulosvirtauksen työskentelyaukosta. Kierrätetty ilma laitteen sisällä puhdistuu laitteessa olevalla HEPA-suodattimella. Suodattimen jälkeen ilma virtaa laminaarisesti työtilaan pitäen työtilan puhtaana hiukkasista ja muista epäpuhtauksista.



Kuva 3. Laminaarivirtauskaapin toimintaperiaate [16]

Kaapista poistuva ilma suodatetaan vielä HEPA-suodattimella ja kytketään ilmanvaihtokanavaan. Usein laminaarivirtauskaapin ilmanvaihtojärjestelmä on erillispoisto, johon ainoastaan kyseinen laite kytketään. Erillispoisto varustetaan huippumurilla, joka sijaitsee esimerkiksi vesikatolla. [16]

### 3.2 Vetokaappi

Vetokaappeja käytetään yleisesti suojelemaan laboratoriohenkilökuntaa myrky- tai hajuhöyryiltä, tuhkilta ja kaasuilta. Vetokaapit varustetaan poistoilmaliitännällä, jonka ilmamäärä on noin 100–200 l/s. Ilmamäärä riippuu käyttötarkoituksesta sekä vetokaapin tyy-  
pistä.



Kuva 4. Esco Frontier Acela, M-sarjan vetokaappi [17]

Vetokaappi toimii siten, että poistoilmakanavaan imettävä ilma aiheuttaa työskentelytilaan alipaineen. Ilma poistuu työtilasta kolmen rei'itysalueen kautta. Alipaineiseen vetokaappiin tulee korvausilmaa työaukon kohdalta estäen siten mahdollisten kaasujen pääsyn vetokaapista ulos huonetilaan. Huonetilan tuloilma tulisi olla säädettävissä, sillä vetokaappien poistoilmamäärän muuttuessa, huoneen painesuhteet vaihtelevat. [17]

### 3.3 Huuvat

Sairaalatilojen huoltohuoneisiin ja välinehuollon tiloihin suunnitellaan usein huuvia. Huuva on laite, jolla poistetaan ja hallitaan eri laitteista tulevaa höyryä ja lämpökuormia. Huuvat asennetaan esimerkiksi desinfioivien huuhtelulaitteiden sekä välinehuollon sairaalapesukoneiden luukkujen yläpuolelle. Suuremmat huoltohuoneet ovat usein jaettu likaiseen ja puhtaaseen puoleen, ja tilojen väliin tulee ns. läpianto huuhtelulaite, jossa likaiset välineet viedään huuhtelulaitteen läpi likaiselta puolelta puhtaalle puolelle. Kyseisessä tilanteessa huuva tulee sijoittaa puhtaalle puolelle huuhtelulaitteen yläpuolelle. Huuvien ilmamäärä tulee ottaa huomioon tilan ilmanvaihtoa mitoittaessa sekä tilojen painesuhteiden määrittelyssä. [22]





Kuva 5. Esimerkkihuvu [24]

### 3.4 Sairaalalaitteiden pesukoneet

Sairaaloissa käytetään suuria rullakkopesukoneita, jotka ovat tarkoitettu kuljetus-, varastointi- ja jätevaunujen käsittelyyn. Pesukone voi myös käsitellä mm. instrumenttirasioita, muovilaatikoita sekä työkenkiä. Puhdistuksen lisäksi, rullakkopesukoneet desinfioi sekä kuivaa käsittelyssä olevat tuotteet. [15]



Kuva 6. Rullakkopesukone Steelco LC-80

Usein rullakkopesukone vaatii oman poistoilmaliitännän, jonka ilmamäärä on keskimäärin noin 150 l/s laitteesta riippuen. Kyseinen poistoilmamäärä täytyy huomioida huonetilan mitoituksessa.

## 4 Ulkomaiset sairaalatiilojen ilmanvaihtostandardit

Tässä työssä on pyritty selvittämään suomalaista ilmanvaihtomitoitusta eri sairaalatiiloissa. Työhön on otettu vertailuun saksalainen (DIN 1946-4), brittiläinen (HTM3) ja yhdysvaltalainen (S170) ilmanvaihtostandardi. Kaikki standardit ovat tarkoitettuja sairaalatai terveydenhuollon tiloille.

### 4.1 Saksan sairaalatiilojen ilmanvaihto

#### 4.1.1 Standardi DIN 1946-4, 2018

Saksassa terveydenhuollon tiloille on käytössä ”DIN 1946-4, 2018: Raumlufttechnische Anlagen in Gebaeuden und Raeumen des Gesundheitswesens” -standardi. Standardissa on ilmanvaihdon mitoitusohjeita sairaalatiiloille sekä ohjeistuksia kohteen käytölle ja kunnossapidolle. ”Deutsches Institut für Normung”, lyhennettynä DIN, on saksalainen voittoa tavoittelematon standardointi-instituutio. DIN yhdistys perustettiin Berliinissä 1917 ja edustaa Saksaa ISO standardiorganisaatiossa. [6]

#### 4.1.2 DIN 1946-4, 2018 -standardin luokitusjärjestelmä ja vaatimukset

Standardin ilmanvaihdon mitoitusohjeet ovat vähimmäisvaatimuksia ja sairaalaa mitoittaessa tulee huomioida eri tilojen sisäisiä kuormia, kuten ihmismäärät ja laitteet. Standardissa käsitellään, millä eri tavoilla saavutetaan paras mahdollinen infektioiden ehkäisy.

Sairaalan tilat on luokiteltu kahteen eri luokkaan:

- Luokka 1
- Luokka 2

Luokka 1 on jaettu kahteen eri alaluokkaan:

- Luokka 1a
- Luokka 1b

Luokkaan 1a kuuluvat leikkaussalit, joissa on ”low turbulence flow”, eli LTF-ilmanjako. Suomessa vastaavaa LTF-ilmanjakoa kutsutaan laminaarikseksi virtaukseksi. Laminaarisen virtauksen avulla leikkaussaliin saadaan infektioilta ja bakteereilta suojattu alue. Tilan sisälämpötilan tulee olla korkeampi kuin käyttäjän määrittämä tuloilman lämpötila. Tuloilma varustetaan HEPA-suodattimella ja mahdollisesti virtauksen stabilisaattorilla, jotta mahdollinen turbulентtinen virtaus estyy. 1a-luokitetuissa leikkaussaleissa tehdään mm. ortopedisia leikkauksia, neurokirurgisia toimenpiteitä, proteesileikkauksia sekä elinsiirtoja. Kyseisen luokan tuloilma vaatii 3-vaihe suodatuksen. 1-vaihe toteutetaan vähintään ISO ePM<sub>1</sub> ≥ 50% tason suodattimella. 2-vaihe toteutetaan ISO ePM<sub>1</sub> ≥ 80% tason suodattimella. Viimeinen vaihe toteutetaan vähintään H13-suodattimella (HEPA). 3-vaihe suodatuksessa ensimmäiset kaksi suodatinta sijoitetaan ilmanvaihtokoneeseen ja viimeinen H13-suodatin sijoitetaan joko suoraan tuloilmalaitteeseen tai ilmanvaihtokanavistoon palvelevan tilan välittömään läheisyyteen.

Luokkaan 1b kuuluu leikkaussalit, joissa ei ole tarvetta laminaariselle virtaukselle, eli kyseisillä leikkaussaleilla ei ole määrättyä suojattua aluetta. Jos luokassa 1b oleva leikkaussali on sijoitettu luokan 2 olevan tilan viereen, tulee leikkaussali varustaa sulkutilalla, jolla estetään epäpuhtauksien pääsy leikkaussaliin. Kyseisessä luokassa olevissa leikkaussaleissa tehdään mm. implanttileikkauksia, endoskooppisia tutkimuksia sekä sydämen katetrointia. Kyseisessä luokassa on samat suodatusvaatimukset kuin luokassa 1a.

Luokissa 1a ja 1b tilojen kokonaisilmamäärät määritetään tapauskohtaisesti, mutta ulkoilmaa tulisi olla vähintään 1200 m<sup>3</sup>/h, eli noin 335 l/s. Loput ilmamäärästä saadaan kierrättämällä samassa luokassa olevan tilan ilmaa. Kokonaisilmamäärä on suunniteltava siten, että tila saavuttaa positiivisen painetason. Äänitaso kummassakin luokassa ei saa ylittää 48 dB(A). Lämpötilan tulee olla välillä 19–26 °C. Suhteellisen kosteuden tiloissa on oltava 30–65 %:n välillä. Absoluuttinen kosteus ei saa ylittää lukemaa 13 g/kg. Tiloissa on korkeat hygieniavaatimukset, joten koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä

oleva lämmöntalteenotto on oltava nesteellä kiertävä järjestelmä. Ilmalla kiertävät lämmöntalteenotot, kuten pyörivä- ja vastavirta lämmöntalteenottojärjestelmät eivät ole sallittuja luokissa 1a tai 1b.

Luokkaan 2 kuuluvat käytävät ja tilat, joissa lääketieteellistä hoitoa toteutetaan mutta jotka eivät kuitenkaan kuulu luokkaan 1a tai 1b. [6]

## 4.2 Iso-Britannian sairaalatilojen ilmanvaihto

### 4.2.1 Standardi HTM3

Isossa-Britanniassa sairaaloiden ilmanvaihto toteutetaan "Health Technical Memorandum 03-01: Specialised ventilation for healthcare premises" -standardin mukaisesti (HTM3). "Health Technical Memorandum" on Iso-Britannian viranomaisten julkaisema sarja standardeja, joiden tarkoitus on antaa kattava ohjeistus terveydenhuollon tilojen suunnitteluun ja rakentamiseen. [7]

Iso-Britannian standardi on suunnattu suunnittelijoille, urakoitsijoille sekä ylläpidon toimihenkilöille. On huomioitava, että standardissa määritetyt ilmamääräsuositukset ovat vähimmäisvaatimuksia.

Standardissa ilmamääräsuositukset ovat esitetty ilmanvaihtokertoimena, eli AC/hr. Tuloilman suodatus yleisillä alueilla toteutetaan EN 779:2012 -standardin G4-luokan suodattimella, joka vastaa nykyisen standardin ISO Karkea  $\leq 50\%$  -suodatinta. Kriittisimmillä alueilla ilmanvaihdon suodatus toteutetaan EN 779:2012 -standardin F7-luokan suodattimella, joka vastaa nykyisen standardin ePM<sub>1</sub> 50-70% -suodatinta. HEPA-suodattimien tarpeellisuus on arvioitava tarkasti. Yleisellä tasolla HEPA-suodattimia käytetään ainoastaan puhdastiloissa ja leikkaussaleissa. Jos sairaalatilan tuloilma suodataan HEPA-suodattimella, tulee kyseiselle ilmalle tehdä määräysten mukainen suorituskykytesti, jonka avulla todetaan HEPA-suodattimen toimivuus.

HTM3-standardin mukaan painovoimainen ilmanvaihto on sallittua yksi- sekä monipaikkaisissa potilashuoneissa, mutta jos tila on yli 3 metriä korkea, on painovoimainen

ilmanvaihto kielletty. Ilman kulku eri palvelualueiden läpi tulee olla mahdollisimman esteetön, jotta painovoimainen ilmanvaihto olisi toimiva ratkaisu. Sairaalan rakenne tekee painovoimaisesta ilmanvaihtoratkaisusta hyvin hankalan toteuttaa, sillä ilmalla ei yleisesti ottaen ole esteetöntä kulkua eri palvelualueiden läpi. Isossa-Britanniassa on avautuvien ikkunoiden asentaminen turvallisuussyistä kielletty, joka hankaloittaa huomattavasti painovoimaisen ilmanvaihdon toteuttamista. Standardissa kuitenkin suositetaan painovoimaisen ilmanvaihdon käyttöä tai sen hyödyntämistä aina silloin, kun se olisi

toimiva ratkaisu. Standardin mukaan käyttämällä hyödyksi painovoimaista ilmanvaihtoa tulee ilmanvaihdosta taloudellisempaa kuin toteuttamalla ilmanvaihto koneellisesti. [8]

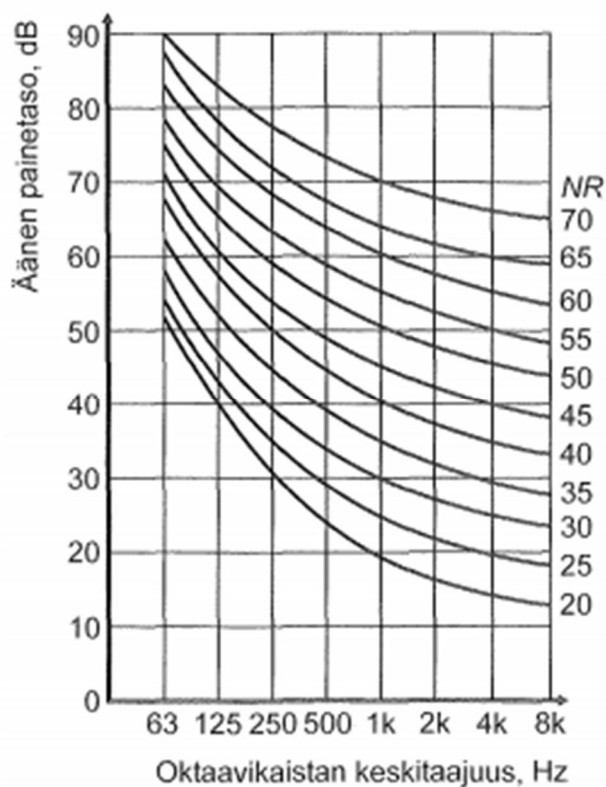
#### 4.2.2 Iso-Britannian sairaalatiilojen ilmanvaihdon mitoitusohjeet

Taulukosta 3 nähdään eri sairaalatiilojen ilmanvaihdon mitoitusohjeet. Standardissa ilmamääräsuositukset ovat esitetty ilmanvaihtokertoimina. Tuloilman suodatus on esitettyä EN 779:2012 -standardin mukaisella luokituksella, eli standardi ei ole päivittynyt nykyiseen ISO 16890 -standardiin. Lämpötilan sarakkeessa tummalla tekstillä esitetyt asteet ovat lämpötilavaatimuksia ja loppujen lämpötilojen tulee olla säädettävissä. [8]

Taulukko 3. Iso-Britannian HTM3-standardin mitoitusohjeet eri tiloille [8]

Application	AC/hr	Supply filter	Noise (NR)	Temp (°C)
General ward	6	G4	30	<b>18-28</b>
Single room	6	G4	30	<b>18-28</b>
Clean utility	6	G4	40	<b>18-28</b>
Dirty utility	6	-	40	-
Infectious diseases isolation room	10	G4	30	<b>18-28</b>
Netropenic patient ward	10	H12	30	<b>18-28</b>
Critical care areas	10	F7	30	18-25
Birth room	15	G4	40	18-25
Preparation room (lay-up)	>25	F7	40	18-25
Preparation room (sterile pack store)	10	F7	40	18-25
Operating theatre	25	F7	40	18-25
UCV operating theater	25	>H10	50	18-25
Anaesthetic room	15	F7	40	18-25
Theatre sluice	>20	-	40	-
Recovery room	15	F7	35	18-25
Endoscopy room	15	F7	40	18-25
Day-case theatre	15	F7	40	18-25
Treatment room	10	F7	35	18-25
Pharmacy aseptic suite	20	H14	-	18-22
Post-mortem room	S=10 E=12	G4	35	<b>18-22</b>

Ilmanvaihdon äänivaatimukset on esitetty NR-käyrästössä olevalla NR-meluluvulla. Kuvassa 7 esitettyssä käyrästössä nähdään, kuinka eri NR-lukujen äänen painetasot (dB) määrittyy oktaavikaistan keskitaajuudesta (Hz). [9]



Kuva 7. NR-melukäyrästä [9]

HTM3-standardin mukaan sairaalutiloissa on sallittua käyttää ns. yksittäisiä poistojärjestelmiä. Tällä tarkoitetaan ilmanvaihtojärjestelmiä, jotka käynnistyvät ainoastaan silloin, kun tilassa on ihmisiä. Järjestelmän tulee olla käynnissä vähintään 15 minuuttia sen käynnistyttyä. Järjestelmä ei tarvitse olla automatisoitu, vaan riittää, että tilassa on valokatkaisijan kaltainen kytkin ilmanvaihdolle. Yksittäiset WC-tilat on mahdollista varustaa kyseisellä järjestelmällä.

HTM3-standardin mukaan sairaalutiloissa sallitaan pyörivien lämmöntalteenottolaitteiden käyttö. Pyörivissä LTO-laitteissa on mahdollista, että tulo- ja poistoilmat sekoittuvat keskenään. Ilmavirtojen sekoituksesta syntyvät mahdolliset epäpuhtaudet eivät ole standardin mukaan merkittäviä, joten tuloilma oletetaan kuitenkin saastumattomaksi. Lämmöntalteenotto on pakollinen ilmanvaihtokoneissa, poikkeuksena tilanteet, joissa todetaan lämmöntalteenoton olevan epätaloudellinen ratkaisu. [8]

### 4.3 Yhdysvaltalainen sairaalatilojen ilmanvaihto

#### 4.3.1 Standardi S170

Yhdysvalloissa käytetään standardia "ASHRAE Standard 170, Ventilation of Health Care Facilities". ASHRAE, eli "The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers", on yhdysvaltalainen LVI-insinööriyhdistys, joka tukee LVI-suunnittelun sekä rakentamisen ammatillista kehittymistä. Yhdistys on maailmanlaajuinen ja siihen kuuluu yli 57 000 ammattihenkilöä. ASHRAE teettää jatkuvasti tutkimuksia, ohjeistuksia sekä käsikirjoja. ASHRAE on julkaissut useita käsikirjoja, kuten "The ASHRAE Handbook-Fundamentals" ja "ASHRAE HVAC Hospital Book". ASHRAE S170 -standardissa on ainoastaan ilmanvaihdon vähimmäisvaatimukset esitettyinä. ASHRAE:n käsikirjat pyrkivät tuomaan suunnittelijalle paremman käsityksen ilmanvaihtoratkaisuista ja mitoituksista.

ASHRAE S170 -standardissa käsitellään myös painovoimaisen ilmanvaihdon mahdollista toteuttamista. Standardissa on määritelty, minkälaiset tilat tarvitsevat kanavoitua ilmanvaihtojärjestelmää. Standardissa todetaan, että tiloissa, joissa on eri painetaso viereisiin huoneisiin verrattuna ja tarve painetason hallitsemiseen, täytyy poistoilma sekä jäteilma varustaa kanavoidulla ilmanvaihtojärjestelmällä. Heräämötilat, hoituhuoneet ja tehohoituhuoneet ovat tiloja, joissa ei tarvitse standardin mukaan olla eri painetasoja viereisiin huoneisiin nähden, mutta kyseiset tilat tulee kuitenkin varustaa kanavoiduilla poisto- sekä jäteilmajärjestelmillä.

#### 4.3.2 Standardin S170:n suodatinluokat

USA:n S170-standardissa käytetään ilmansuodatuksessa ns. "MERV" -luokitusta. MERV, eli "minimum efficiency reporting value", tarkoittaa suodattimen vähimmäistehokkuutta. MERV1–MERV4-luokituksilla olevat suodattimet suodattavat suurempia hiukkasia, kuten siitepölyä, hiontapölyä ja tekstiilikuituja. Kyseiset suodattimet soveltuvat kohteisiin, jossa ei ole paljon henkilöitä tai liikennettä. MERV5–MERV8-luokituksilla olevat suodattimet soveltuvat parhaiten kotitalouksiin ja liikerakennuksiin. Kyseisten luokkien suodattimet suodattavat esimerkiksi hometta, hiuslakkaa sekä sementtipölyä.



MERV9–MERV12-luokituksilla olevat suodattimet on tarkoitettu erikoisempiin kohteisiin, ja ne suodattavat hiukkasia, jotka vastaavat kooltaan esimerkiksi lyijypölyä, autojen päästöjä ja hitsauskaasuja. Kyseisillä luokituksilla olevat suodattimet soveltuvat parhaiten esimerkiksi tehtaisiin ja sairaaloihin.

MERV13–MERV16-luokituksilla olevat suodattimet suodattavat hiukkasia, jotka vastaavat kooltaan esimerkiksi tupakansavua ja bakteereita. Kyseisillä luokituksilla olevat suodattimet soveltuvat parhaiten leikkaussaleihin ja eristystiloihin. HEPA- ja ULPA-suodattimet kuuluvat MERV17–MERV20-luokituksiin, ja kyseiset suodattimet pystyvät suodattamaan hiukkasia, jotka ovat kooltaan alle 0,3 µm. Kyseisillä luokituksilla olevat suodattimet soveltuvat parhaiten puhdastiloihin, laboratorioihin ja tiloihin, joissa käsitellään syöpää aiheuttavia aineita. Myös tiloissa, joissa käsitellään radioaktiivisia aineita, ilma voidaan suodattaa MERV17–MERV20-luokitusilla olevilla suodattimilla. (11)

USA:n standardin S170 mukainen MERV-luokitus eroaa huomattavasti ISO 16890 -standardin mukaisesta luokituksesta, joten niiden suoranainen vertaaminen toisiinsa on haastavaa. Eurooppalaisen suodatinvalmistajan Venfilterin mukaan MERV- ja ISO-luokitukset voidaan yleisellä tasolla suoraan verrata toisiinsa, mutta vertailua ei voi kuitenkaan pitää mitoituksen perusteena. [5]

Taulukko 4. ASHRAE S170 -standardin suodatinluokkien vertailu ISO 16890 -standardin suodatinluokkiin [5]

ASHRAE S170	EN ISO 16890
MERV 1	-
MERV 2-4	Karkea-40%
MERV 5-6	Karkea-50%
MERV 7-8	Karkea- >60%
MERV 9-10	ePM <sub>1</sub> - <20% ePM <sub>2.5</sub> - <40% ePM <sub>10</sub> - ≥50%
MERV 11-12	ePM <sub>1</sub> - <40% ePM <sub>2.5</sub> - 50-60% ePM <sub>10</sub> - >60%
MERV 13	ePM <sub>1</sub> - 50-70% ePM <sub>2.5</sub> - >65% ePM <sub>10</sub> - >80%
MERV 14	ePM <sub>1</sub> - 70-80% ePM <sub>2.5</sub> - >80% ePM <sub>10</sub> - >90%
MERV 15	ePM <sub>1</sub> - >80% ePM <sub>2.5</sub> - >90% ePM <sub>10</sub> - >95%

Taulukossa 4 on esitetty, miten eri standardien suodatinluokat voidaan verrata toisiinsa.

## 4.3.3 S170-standardin mitoitusohjeet

Taulukko 5. ASHRAE S170 -standardin mitoitusohje [11]

Function of space	Pressure relationship to Adjacent Areas	Min Outdoor ach	Min total ach	Supply filter, MERV	Design relative humidity, %	Temp (°C)
Critical and intensive care	-	2	6	8, 14	30-60	21-24
Delivery room	Negative	4	20	8, 14	20-60	20-24
Newborn intensive care	Positive	2	6	8, 14	30-60	22-26
Operating room	Positive	4	20	8, 14	20-60	20-24
Procedure room	Positive	3	15		20-60	21-24
Radiology waiting room	Negative	2	12		max 60	21-24
Trauma room	Positive	3	15	8, 14	20-60	21-24
Recovery room	-	2	6	8, 14	20-60	21-24
Wound intensive care	-	2	6		40-60	21-24
Medical /anesthesia gas room	Negative	-	8		-	-
Continued care nursery	-	2	6	8, 14	30-60	22-26
Patient room	-	2	4	8, 14	max 60	21-24
Physical therapy	Negative	2	6	8, 14	-	21-24
Protective environment (PE) room	Positive	2	12	8, 17	max 60	21-24
PE anteroom	-	10	-	8, 14	-	-
Pharmacy	Positive	2	4	13	-	-
Dialysis treatment area	-	2	6		-	22-26
Laboratory work area, general	Negative	2	6		-	21-24
Sterilizer equipment room	Negative	-	10	13	-	-
Sterile storage room	Positive	2	4	8, 14	max 60	max 24
X-ray (diagnostic and treatment)	-	2	6	13	max 60	22-26
X-ray (surgery/critical care)	Positive	3	15	13	max 60	21-24

ASHRAE S170 -standardissa esitetyt ilmanvaihdon mitoitusohjeet erilaisille tiloille on esitetty taulukossa 5. Standardissa ilmamäärät on esitetty ilmanvaihtokertoimina (ach). Standardissa on esitettynä eri tilojen kokonaisilmamäärät sekä ulkoilman osuus kokonaisilmamäärästä. Esimerkiksi potilashuone vaatii ulkoilmaa ainoastaan 2 1/h ja loput 4 1/h voidaan toteuttaa esimerkiksi kierrätysilmalla. Taulukosta 5 suodatuksen sarakeesta huomataan, että standardissa ei ole jokaiselle tilalle määritettyä suodatustasoa. Suurin osa tiloista toteutetaan 2-vaihesuodatuksella, eli ensimmäisessä vaiheessa

MERV8-suodatin ja toisessa vaiheessa MERV14-suodatin. Suhteellinen kosteus eri tiloissa on myös määritetty standardissa. [11]

## 5 Ulkomaisten standardien vertailu

Suomessa mitoitusohjeistuksia on monenlaisia, sillä tällä hetkellä sairaalatiilojen ilmanvaihdolle ei ole mitään virallista ohjeistusta. Haastattelujen, tutkimuksien sekä erilaisten asiakirjojen perusteella on tähän työhön selvitetty referenssimitoitusarvot, joita voidaan käyttää Suomessa sairaalatiilojen ilmanvaihdon suunnittelussa.

USA:ssa, Isossa-Britanniassa ja Saksassa on viralliset ohjeistukset ilmanvaihdon mitoitukseen sairaalatiiloissa. Kyseisten maiden standardeissa ilmamäärät on lähes poikkeuksetta esitetty ilmanvaihtokertoimina, mikä eroaa huomattavasti suomalaisen LVI-suunnittelijan tavasta esittää ilmamääriä, joka yleisesti on l/s tai m<sup>3</sup>/h. Verratessa eri sairaalatiiloja täytyy määrittää eri tilojen kokonaisvolyymi, jotta saadaan ilmanvaihtokertoimesta vastaava ilmamäärä l/s-muotoon, jolloin vertailut keskenään eri standardien mitoituksissa onnistuvat. Vertailussa käytettyjen tilojen tilavuudet ovat määritetty sairaala suunnitelmien tyyppihuoneiden tilavuuksien mukaan.

Ilmanvaihtokerroin lasketaan kaavalla

$$n = \frac{qv}{V} * 3,6, \text{ jossa} \quad (1)$$

V on rakennuksen tilavuus, m<sup>3</sup>

qv on ilmamäärä, l/s

n on ilmanvaihtokerroin, 1/h

Ilmamäärä saadaan selville muuntamalla kaavaa seuraavasti

$$qv = \frac{V*n}{3,6} \quad (2)$$

Äänivaatimuksissa on käytössä dB (A) Saksassa, USA:ssa ja Suomessa. Isossa-Britanniassa äänivaatimuksena on käytössä NR-meluluku, joten Iso-Britannian vertaaminen muiden maiden äänivaatimukseen on haastavaa, mutta on todettu, että NR-luku on yleensä noin 5 dB kokonaisäänitasoa pienempi. [21]

Ilman suodatuksessa ISO 16890 -standardin mukaista luokitusta käytetään Saksassa ja Suomessa. Iso-Britannian standardissa on vielä käytössä EN 779:2012 -standardin mukainen luokitus, mutta mitoitukset voidaan verrata toisiinsa taulukon 2 mukaisella tavalla. USA:lla on ilman suodatukseen käytössä MERV-luokitus ja vertailu ISO 16890 -standardin mukaiseen luokitukseen onnistuu taulukon 4 mukaisella tavalla.

## 5.1 Potilashuone

Potilashuone on potilaan tila hänen sairaalassa olonsa aikana. Suomessa potilashuoneen sisäilman suositusarvot vaihtelevat välillä 21–22 °C. Kesäisin sisälämpötila ei saa ylittää 26 °C. Potilashuoneessa on mahdollista tehdä pienimuotoisia hoitotoimenpiteitä, kuten haavan hoitoa ja virtsarakon katetointia. Suomessa potilashuoneiden ilmanvaihdon mitoitukseen käytetään ensisijaisesti henkilöperustetta, sillä henkilömäärä potilashuoneissa on suurin vaikuttaja ilmanvaihtoon. Usean potilaan potilashuoneen perusilmanvaihdon mitoituksena käytetään usein 10 l/s/hlö. Tulo- ja poistoilmavirrat mitoitetään yhtä suuriksi. Mitoituksessa otetaan myös huomioon mahdolliset märkätilat, kuten WC:t. WC:llä varustetuissa potilashuoneissa on suurempi ilmamäärä. Jos potilashuoneen henkilömäärä ei ole tiedossa, voidaan ilmanvaihto mitoittaa neliöiden mukaan. Tällöin potilashuoneen ilmanvaihto mitoitetään 2,5 l/s/m<sup>2</sup>.

Potilashuoneessa on samat äänivaatimukset kuin tavanomaisessa asuinhuoneessa. Ilmanvaihto täytyy suunnitella siten, että enimmäisäänitaso ei ylitä 33 dB. Keskiäänitaso on pyrittävä suunnittelemaan alle 28 dB:n [13]. Jatkuva melutaso, joka ylittää 30 dB, voi vaikuttaa potilaan uneen. Melu voi vaikuttaa myös hengitysnopeuteen sekä sydämen syketiheyteen. [14]

### 5.1.1 Ulkomaiset potilashuoneiden mitoitukset

Saksan DIN 1964-4:2017 -standardissa potilashuoneet mitoitetaan 40 m<sup>3</sup>/h henkilöä kohden, mikä vastaa 10 l/s ilmavirtaa henkilöä kohden. Saksan standardissa ei ole määritetty neliöperusteista ilmamäärämitoitusta, vaan ainoastaan henkilömäärään pohjautuva ilmamäärämitoitus. Tässä vertailussa henkilömäärään pohjautuva mitoitus on muunnettu neliöperusteiseen mitoitukseen [19]. Potilashuoneita palveleva ilmanvaihtokone varustetaan standardin mukaisella 2-vaiheisella suodatuksella. Sisälämpötila potilashuoneissa tulee olla ohjattavana välillä 22–26 °C. Huoneiden suhteellinen kosteus tulee olla välillä 30–60 %. [6]

Iso-Britannian standardin HTM3 mukaan potilashuoneiden ilmanvaihto mitoitetaan ilmanvaihtokertoimella 6. Esimerkkinä yksipaikkainen potilashuone, joka on 20 m<sup>2</sup> ja alakaton korkeus on 2,7m, jolloin huoneen tilavuus on 54 m<sup>3</sup>. Jotta tila saavuttaa standardin mukaisen ilmanvaihtokertoimen, täytyy huoneeseen tuoda 90 l/s tuloilmaa. Äänivaatimuksena potilashuoneelle on asetettu NR-luku 40 ja huoneen sisälämpötila tulee olla välillä 18–28 °C. Suodatus toteutetaan EN 779:2012 -standardin mukaisella G4-luokituksella olevalla suodattimella, joka vastaa ISO 16890 -standardin ISO Karkea > 60 % -luokituksella olevaa suodatinta. [8]

USA:n standardin ASHRAE S170 mukaan potilashuoneet tulee mitoittaa vähintään ilmanvaihtokertoimella 4 1/h, josta ulkoilmaa on oltava vähintään 2 1/h, eli tilassa on sallittua käyttää kiertoilmaa saavuttaakseen määrätyn ilmanvaihtokertoimen. Suhteellinen kosteus tilassa saa olla enintään 60 % ja lämpötilat on oltava välillä 21–24 °C. [11]

### 5.1.2 Potilashuoneiden mitoitusvertailu

Taulukko 6. Potilashuoneiden mitoitusvertailu

Potilashuone 20 m <sup>2</sup> (54 m <sup>3</sup> )	Ilmamäärä	Suodatus	Äänitaso	RH	Lämpötila
	l/s		dB (NR)	%	°C
Suomi	50	ePM <sub>1</sub> - 70-80% ePM <sub>2,5</sub> - >80% ePM <sub>10</sub> - >90%	28	-	22-26
Iso-Britannia	90	Karkea- >60%	(30)	-	18-28
Saksa	50	2-vaihe suodatus	-	30-60	22-26
USA	60 (30 Ulkoilma)	MERV-7	-	max 60	21-24

Taulukossa 6 on mitoituksen vertailuun valittu esimerkki potilashuone, joka on 20 m<sup>2</sup> ja huonekorkeus on 2,7 m, jolloin huoneen tilavuudeksi tulee 54 m<sup>3</sup>. Potilashuoneiden mitoituksen vertailussa nähdään, että Suomessa ja Saksassa on samankokoiselle potilashuoneelle sama ilmamäärä. Saksan standardin mukainen suodatus potilashuoneelle on 2-vaihesuodatus, josta jälkimmäinen suodatus vastaa ISO 16890:n mukaisen standardin suodatusluokkaa ePM<sub>1</sub> > 80 %.

Isossa-Britanniassa potilashuoneisiin suunnitellaan 40 l/s enemmän ilmaa kuin suomalaisiin potilashuoneisiin, ja Britannian suodatusluokka on huomattavasti alempi kuin Suomessa tehtyjen potilashuoneiden suodatusluokka.

Yhdysvaltalaisen standardin mukainen mitoitus on 60 l/s, mutta ainoastaan 30 l/s ilmasta täytyy standardin mukaan olla ulkoilmaa. Potilashuoneiden sisälämpötiloissa on Iso-Britannian standardissa eniten vaihtelua. Saksan ja USA:n standardeissa ei ole äänitasovaatimuksia.

### 5.2 Heräämötila

Heräämö on tila, johon leikkauksesta toipuva nukutettu potilas viedään toipumaan. Suomessa heräämöjä on mitoitettu ohjeistusarvolla 6 l/s/m<sup>2</sup>. Mitoituksessa ja päätelaitteiden sijoituksessa on otettava myös huomioon, että potilas hengittää ulos anestesiakaasuja. Liiallinen altistuminen anestesiakaasuille on vaarallista henkilökunnalle. Jotta

anestesiakaasuille altistumiselta välttyttäisiin, tulisi poistoilman päätelaite sijoittaa potilaan pään lähetyville, jotta suurin osa kaasuista saisi poistettuja. Heräämöt on usein varustettu ns. alapoistolla, jolla saa vielä tehokkaammin kaasut poistettua tilasta. Heräämössä on hyvä pitää ilman kosteus vähintään n. 40 %, sillä kosteahkoa huoneilmaa on helpompi hengittää kuin kuivaa huoneilmaa. Heräämöissä lämpötila tulisi olla 22–26 °C.

### 5.2.1 Ulkomaiset heräämötilojen mitoitukset

Saksan standardin DIN 1946-4 mukaan sairaalan heräämöt mitoitetaan 150 m<sup>3</sup>/h ulkoilmaa potilasta kohden, eli noin 40 l/s ulkoilmaa potilasta kohden. Heräämöt kuuluvat luokkaan 2 ja suodatus heräämöissä toteutetaan 2-vaihesuodatuksella. [6]

Heräämöt ovat Iso-Britannian HTM3-standardin mukaan mitoittava ilmanvaihtokertoimella 15 1/h. Tuloilma tulee suodattaa EN 779:2019 -standardin mukaisella F7-luokan suodattimella, joka taulukon 2 mukaisesti vastaa ISO 16890 -standardin suodatusluokkaa ePM<sub>2,5</sub> > 65 %, ja tilan lämpötilan täytyy olla säädettävänä välillä 18–25°C. Äänivaatimuksena on tilalle asetettu NR-luku 35, eli noin 30 dB (A). [8]

USA:n standardin ASHRAE S170 mukaan heräämöt tulee mitoittaa vähintään ilmanvaihtokertoimella 6 1/h, josta ulkoilmaa on oltava vähintään 2 1/h, ja loput kiertoilmaa tai siirtoilmaa. Sisälämpötilavaatimus heräämöissä on 21–24 °C. Suhteellinen kosteus tilassa on enimmillään 60 %. Standardissa tilan äänivaatimuksia ei ole esitetty. [11]



## 5.2.2 Heräämötilojen mitoitusvertailu

Taulukko 7. Heräämöjen mitoitusvertailu

Heräämöpaikka 20 m <sup>2</sup> (54 m <sup>3</sup> )	Ilmamäärä	Suodatus	Äänitaso RH		Lämpötila
	l/s		dB (NR)	%	°C
Suomi	120	ePM <sub>1</sub> - 70-80% ePM <sub>2.5</sub> - >80% ePM <sub>10</sub> - >90%	28	-	22-26
Iso-Britannia	225	ePM <sub>1</sub> - 50-70% ePM <sub>2.5</sub> - >65% ePM <sub>10</sub> - >80%	(35)	-	18-25
Saksa	40 l/s / potilas	2-vaihe suodatus	-	-	22-26
USA	90 (30 Ulkoilma)	MERV-7, MERV-14	-	max 60	21-24

Taulukossa 7 on mitoituksen vertailuun valittu esimerkki heräämöpaikka, joka on 20 m<sup>2</sup> ja huonekorkeus on 2,7 m, jolloin huoneen tilavuudeksi tulee 54 m<sup>3</sup>.

Iso-Britannian HTM3-standardin mitoitusohjeistuksella tulee huomattavasti korkeampi ilmamäärä kuin Suomella. Iso-Britannian ilmanvaihtokerroin 15 1/h on USA:n ilmanvaihtokertoimeen verrattuna yli kaksinkertainen. Iso-Britannian standardin suodatus on EN 779:2012 -standardin mukaisella luokituksella F7, joka taulukon 2 mukaisesti vastaa ISO 16890 -standardin suodatusluokkaa ePM<sub>2,5</sub> > 65 %.

Suomalaisella ohjeistuksella 6 l/s/m<sup>2</sup> saadaan taulukon 7 mukaiseen heräämötilaan ilmanvaihtokertoimeksi 8 1/h. Saksalaisen standardin mukainen ohjeistus 150 m<sup>3</sup>/h/potilas, eli noin 40 l/s/potilas, on suomalaiseseen mitoitukseen nähden pieni. Vertailussa olevien heräämötilojen oletetaan olevan yksipaikkaisia, joten suoranainen vertailu Saksan standardin ohjeistukseen on haastava. USA:n standardin ASHRAE S170 mitoitusohjeistuksella saadaan heräämööseen 90 l/s ilmaa, josta ulkoilmaa vaaditaan olevan ainoastaan 30 l/s. Ilmamäärältään USA:n standardin mitoitusohjeistus on Suomen ohjeistuksiin nähden melko samalla tasolla. Kun tarkastellaan suodatusta, on Saksassa sekä USA:ssa kaksivaiheinen suodatus.

### 5.3 Synnytyssali

Suomessa yleisesti käytetyn ohjeistuksen mukaan synnytyssalit tulisi mitoittaa  $10 \text{ l/s/m}^2$ . Sisälämpötilan tulisi olla säädettävissä välillä  $22\text{--}26 \text{ }^\circ\text{C}$ . Synnytyksen aikana voi esiintyä erilaisia komplikaatioita, joten synnytyssalit tulisi sijoittaa leikkaussalien läheisyyteen. Tuloilma suodatetaan esimerkiksi  $\text{ePM}_{2,5} > 80 \%$  -luokan suodatuksella. Tapauskohtaisesti ilmanvaihtojärjestelmä suodatetaan myös HEPA-suodattimella. Synnytyssaleissa on käytössä anestesiakaasuja, joten tilaan tulee sijoittaa anestesiakaasunpoisto tai ns. alapoisto. Jotta henkilöstön altistuminen kaasuille vähentyisi, tulisi ilmanvaihdon päätelaitteiden sijainti suunnitella ajatuksella. Sijoittamalla tuloilman päätelaitteet potilassängyn jalkapäähän ja poistoilman päätelaitteet tyynypäättyyn, varmistetaan hyvä ilmanvaihtuvuus tilassa, ja vähennetään kaasuvuodosta aiheutuvia haittoja.

#### 5.3.1 Ulkomaiset synnytyssalimitoitukset

Iso-Britannian standardin ohjeistuksen mukaan synnytyssalit tulee mitoittaa ilmanvaihtokertoimella  $15 \text{ l/h}$ . Tilan tulee olla alipaineistettu ja tuloilman tulee olla suodatettu G4-luokan suodattimella, mikä ISO 16890 -standardissa vastaa  $\text{ePM}$  Karkea  $>60\%$  -luokan suodatinta. Äänivaatimuksen meluluku on 40 NR, joka on noin 35 dB (A). Sisälämpötila tulee olla hallittavissa välillä  $18\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Suhteellinen kosteus on oltava  $35\text{--}65 \%$ . [8]

Saksalaisessa standardissa DIN 1946-4 ei ole mitoitusohjeita synnytyssalien ilmanvaihtoon.

Yhdysvaltalaisen standardin ohjeistuksen mukaan synnytyssalit tulee mitoittaa ilmanvaihtokertoimella  $20 \text{ l/h}$ , josta ulkoilmaa täytyy olla vähintään  $4 \text{ l/h}$ . Tila täytyy suunnitella ylipaineistetuksi. Sisälämpötila tulee olla hallittavissa välillä  $20\text{--}24 \text{ }^\circ\text{C}$ . Suhteellinen kosteus on oltava  $30\text{--}60 \%$ . Standardissa ei ole esitetty äänivaatimuksia tilalle. Synnytyssalissa jälkimmäinen suodatin on MERV14-luokan suodatin, joka vastaa ISO 16890 -standardin mukaista  $\text{ePM}_{2,5} > 80 \%$  -luokan suodatusta. [11]

## 5.3.2 Synnytyssalien mitoitusvertailu

Taulukko 8. Synnytyssalien mitoitusvertailu

Synnytyssali 30 m <sup>2</sup> (90 m <sup>3</sup> )	Ilmamäärä	Suodatus	Äänitaso	RH	Lämpötila
	l/s		dB (NR)	%	°C
Suomi	300	ePM <sub>1</sub> - 70-80% ePM <sub>2.5</sub> - >80% ePM <sub>10</sub> - >90% H10	33	-	22-26
Iso-Britannia	375	Karkea- >60%	(40)	-	18-25
Saksa	-	-	-	-	-
USA	500(100ulkoilma)	MERV-7, MERV-14	-	20-60	20-24

Taulukossa 8 on mitoituksen vertailuun valittu esimerkki synnytyssali, joka on 30 m<sup>2</sup> ja huonekorkeus on 3 m, jolloin huoneen tilavuudeksi tulee 90 m<sup>3</sup>. Saksa ei ole mukana tässä vertailussa, sillä saksalaisessa standardissa ei ole synnytyssaleille mitoitusohjeistuksia.

Taulukosta 8 voidaan todeta, että Suomen sekä Iso-Britannian mitoitukset ovat ilmamääriltään melko samanlaisella tasolla. Iso-Britannian mitoitus ilmanvaihtokertoimella 15 1/h, tuo tilaan 75 l/s enemmän ilmaa kuin suomalaisella mitoituksella. Tuloilman suodatuksessa on huomattava ero Iso-Britannian ja suomalaisen mitoituksen välillä, sillä standardin HTM3:n mukaan synnytyssaleissa tulee olla EN 779 -standardin G4-luokan suodatin, mikä vastaa ISO 16890 -standardissa suodatinta ePM Karkea > 60 %. Suomessa synnytyssalit on usein myös varustettu HEPA-suodattimella, eli suodatustasossa ero on suuri.

Suomen ja USA:n synnytyssalien ilmamäärissä on huomattavia eroja. USA:n standardin mukaan 90 m<sup>3</sup>:n kokoiseen synnytyssaliin suunnitellaan 500 l/s tuloilmaa, josta ainoastaan 100 l/s on ulkoilmaa. Suomessa kyseiseen synnytyssaliin tuodaan 200 l/s enemmän ulkoilmaa, mutta kokonaisilmamäärä on 200 l/s enemmän USA:n standardin mitoituksessa. USA:n standardin S170:n mukaisesti jälkimmäinen suodatus toteutetaan MERV14-luokan suodattimella. Kyseinen luokka vastaa samaa Suomen ohjeistuksien ISO 16890 -standardin mukaista luokitusta, eli suodatusluokkaa ePM<sub>2.5</sub> > 80 %.

## 5.4 Tehohoituhuone

Tehohoituhuoneessa annetaan tehohoitoa ja tarkkaillaan vaativia potilaita. Tehohoituhuoneessa potilaalla on oma hoitaja, joka tarkkailee potilaan vointia jatkuvasti ja tekee tarvittavat dokumentoinnit. Suomessa yleisesti käytetyn ohjeistuksen mukaan tehohoituhuoneen ilmanvaihto mitoitetaan  $4 \text{ l/s/m}^2$ . Tuloilma tulee suodattaa vähintään  $\text{ePM}_{2,5} > 65 \%$  -luokan suodatuksella ja lämpötila tulee olla välillä  $22\text{--}26 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tehohoituhuoneessa tarvitaan paljon sairaalalaitteita, esimerkiksi hengityskone ja typpioksidikaasun annostelulaite. Tilassa tulee myös olla erilaisia elimistön toimintaa seuraavia laitteita. Tilassa voidaan hätätapauksissa toteuttaa kirurgisia toimenpiteitä.

### 5.4.1 Ulkomaiset tehohoituhuonemitoitukset

Iso-Britannian standardin ohjeistuksen mukaan tehohoituhuoneet tulee mitoittaa ilmanvaihtokertoimella  $10 \text{ l/h}$ . Tilan tulee olla ylipaineistettu ja tuloilman tulee olla suodatettu EN 779 -standardin F7-luokan suodattimella, joka vastaa ISO 16890 -standardin  $\text{ePM}_{2,5} > 65 \%$  -luokan suodatinta. Äänivaatimuksen meluluku ei saa ylittää  $35 \text{ NR}$ , joka on noin  $30 \text{ dB (A)}$ . Sisälämpötila tulee olla hallittavissa välillä  $18\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C}$ . [8]

Saksalaisessa standardissa on useita mitoitusohjeita tehohoituhuoneen mitoitukseen. Tehohoituhuoneet voidaan mitoittaa  $40 \text{ m}^3/\text{h}$  henkilöä kohden tai  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  potilasta kohden. Standardissa kuitenkin todetaan, että tilan sisäiset kuormat on otettava huomioon mitoituksessa. Jos sisäiset kuormat ovat suuret, voidaan tehohoituhuone mitoittaa enimmillään  $350 \text{ m}^3/\text{h}$  virtaamalla potilasta kohden. Suhteellisen kosteuden mitoituksesta riippumatta täytyy olla välillä  $30\text{--}35 \%$ . Absoluuttinen kosteus ei saa olla yli  $13 \text{ g/kg}$ . Tuloilman ulospuhallusnopeus potilaan lähetyvillä ei saa ylittää  $1 \text{ m/s}$ . Tilassa lämpötila ei saa ylittää  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ :ta. Lämpötilan alarajaa ei standardissa ole esitetty. Jos tehohoituhuoneessa on tarve tehdä kirurgisia toimenpiteitä, täytyy asetettu sisäilma olla hallittavana siten, että lämpötilavaihtelu on enimmillään  $0,5 \text{ K}$ . [6]

USA:n standardin ohjeistuksen mukaan tehohoituhuoneet tulee mitoittaa ilmanvaihtokertoimella  $6 \text{ l/h}$ , josta ulkoilmaa tulee olla vähintään  $2 \text{ l/h}$ . Suhteellinen kosteus on oltava

30–60 %. Sisälämpötila tulee olla hallittavissa välillä 20–24 °C. Standardissa ei ole tilan äänivaatimuksia esitetty. [11]

#### 5.4.2 Tehohoitohuoneiden mitoitusvertailu

Taulukko 9. Tehohoitohuoneiden mitoitusvertailu

Tehohoitohuone 35 m <sup>2</sup> (90 m <sup>3</sup> )	Ilmamäärä l/s	Suodatus	Äänitaso RH		Lämpötila °C
			dB (NR)	%	
Suomi	140	ePM <sub>1</sub> - 70-80%	33	-	22-26
		ePM <sub>2,5</sub> - >80%			
		ePM <sub>10</sub> - >90%			
Iso-Britannia	265	ePM <sub>1</sub> - 50-70%	(30)	-	18-25
		ePM <sub>2,5</sub> - >65%			
		ePM <sub>10</sub> - >80%			
Saksa	100	2-vaihe suodatus	-	-	≤ 26
USA	160 (50 Ulkoilma)	MERV-7, MERV-14	-	30-60	21-24

Taulukossa 9 on mitoituksen vertailuun valittu esimerkki tehohoitohuone, joka on 35 m<sup>2</sup> ja huonekorkeus on 2,7 m, jolloin huoneen tilavuudeksi tulee 90 m<sup>3</sup>.

Suomen sekä USA:n mitoitusohjeistukset ovat ilmamäärältään samalla tasolla. USA:n mukaisesta ilmamäärästä vähintään 50 l/s täytyy olla ulkoilmaa. Iso-Britannian ja Suomen välisessä vertailussa huomaa, että samankokoisessa tehohoitohuoneessa Iso-Britannian mitoituksella tulee yli 120 l/s enemmän ilmaa tilaan kuin Suomen ohjeistuksilla. Iso-Britannian standardin mukainen suodatusluokka on hieman Suomen ohjeistuksiin vaatimattomampi.

Saksalaisen standardin mukaisella ohjeistuksella on useita lopputuloksia. Taulukossa 9 olevien esimerkkitehohoitohuoneiden oletetaan olevan yksipaikkaisia ja oletetaan myös, että tilan sisäiset kuormat ovat suuret. Kyseinen tehohoitohuone kovilla sisäisillä kuormilla mitoitetaan virtaamalla 350 m<sup>3</sup>/h potilasta kohden, eli noin 100 l/s. Vaikka tehohoitohuone on mitoitettu Saksan standardin mukaisella enimmäisilmamäärällä, on kuitenkin huomattava ero Suomen ohjeistuksiin nähden, sillä Suomessa mitoitetään kuitenkin yli

40 l/s enemmän ilmaa tilaan. Sisälämpötilalle ei ole Saksan standardissa asetettu alarajaa, ainoastaan yläraja, joka on 26 °C:ta.

Taulukosta 9 voidaan todeta, että Iso-Britannian mitoituksessa on suurin ilmamäärä. Iso-Britannian mitoitus ilmanvaihtokertoimella 10 1/h tuo tilaan 125 l/s enemmän ilmaa kuin Suomen mitoituksella. Ilman suodatuksessa on Iso-Britannian standardin mukainen ohjeistus hieman vaatimattomampi Suomen ohjeistuksiin nähden.

USA:n standardin mukaan 95 m<sup>3</sup>:n kokoiseen tehohoituhuoneeseen tulisi 160 l/s ilmaa, josta noin 50 l/s tulisi olla ulkoilmaa. Suodatus on luokaltaan MERV 14, joka on samaa luokkaa Suomen tehohoituhuoneen suodatukseen nähden.

## 5.5 Eristystilat

### 5.5.1 "Ventilation in hospitals" -standardi

Euroopassa tekeillään oleva sairaaloiden ilmanvaihtoa koskeva "Ventilation in hospitals" -standardin nykyinen luonnos on jaettu kolmeen osaan, josta viimeisin osa koskee eristystiloja. Uuden standardin myötä ilmamäärät eristystiloissa tulevat nousemaan huomattavasti nykyisistä ohjeistuksista. Vertailussa "Ventilation in hospitals" -standardia kutsun nimellä Euroopan standardi.

Eristyshuoneet on tarkoitettu potilaille, jotka ovat sairastuneet ilmateitse leviävälle infektiolle tai potilaille, jotka ovat heikon vastustuskyvyn vuoksi tartunta-alttiita. Tiloissa käytetään hyödyksi sekä yli- että alipaineistuksia.

Potilas sijoitetaan alipaineistettuun eristystilaan tapauksessa, jossa potilas on sairastunut ilmateitse leviävään infektiin. Tällöin voidaan ehkäistä infektion leviämistä muihin tiloihin ja saastunut ilma saadaan hallitusti poistettua tilasta poistoilmalaitteilla.

Potilas sijoitetaan ylipaineistettuun eristystilaan tapauksessa, jossa potilas on heikon vastustuskyvyn vuoksi tartunta-altis. Tällöin ulkopuolinen sisäilma ei tule mahdollisena siirtoilmana tilaan ja vaaranna potilaan terveydentilaa. Eristyshuoneilla on sulku-tila,

jonka tarkoitus lyhyesti sanottuna on varmistaa, ettei eristysruoneeseen pääse ulkopuolista ilmaa sisään. "Ventilation in hospitals" -standardissa on viisi eri eristystilaa, joista Suomessa S<sub>A</sub>-tasoinen tartuntaeristys on yleisin. [20, s.4–23.]

### 5.5.2 "Ventilation in hospitals" -standardin vertailu S170-standardiin

Eristystilojen vertailun kohteina on ilmateitse leviävien potilaiden eristysruone, eli USA:n standardin S170 mukainen "airborne infection isolation room" sekä "Ventilation in Hospitals" -standardin mukainen S<sub>A</sub>-tasoinen tartuntaeristys.

Taulukko 10. Eristystilojen mitoitusvertailu

Eristystila 25 m <sup>2</sup> (75 m <sup>3</sup> )	Ilmamäärä	Suodatus	Äänitaso	RH	Lämpötila
<b>Ventilation in Hospitals standardi</b>	l/s		dB	%	°C
S <sub>A</sub> , eristysruone	250	SUP1	28	-	22-26
S <sub>A</sub> sulkutila	300				
<b>ASHRAE S170</b>					
Eristysruone	250 (40 ulkoilmaa)	MERV-7, HEPA	-	Max 60	21-24
Sulkutila	70	-	-	-	-

Taulukossa 10 on mitoituksen vertailuun valittu esimerkki eristysruone, joka on 25 m<sup>2</sup> ja jonka huonekorkeus on 3 m, jolloin huoneen tilavuudeksi tulee 75 m<sup>3</sup>, ja sulkutila, jonka tilavuus on 24 m<sup>3</sup>.

Eristysruoneille tuodaan yhtä paljon ilmaa Euroopan standardissa ja S170-standardissa, mutta S170-standardissa ulkoilmaa tarvitsee olla ainoastaan 40 l/s. S170-standardissa ei myöskään ole eristysruoneelle määritettyä sulkutilaa, mutta standardissa on kuitenkin maininta eristysruoneen odotustilasta, jonka tulisi toimia kuin sulkutila. Kyseinen odotustila tulisi mitoittaa ilmanvaihtokertoimella 10 1/h, ja tilan painetason tulisi olla säädettävissä eristystilan käyttötarkoituksesta riippuen. Euroopan standardin mukaan eristysruone tulee mitoittaa ilmanvaihtokertoimella 12 1/h ja sulkutila tulisi mitoittaa ilmanvaihtokertoimella 46 1/h.

Euroopan standardin mukaan tuloilman täytyy suodattaa vähintään SUP1-luokan suodattimella, joka vastaa ISO 16890 standardin  $ePM_{10} > 60\%$  -luokan suodatusta. S170-standardissa vaaditaan MERV7- ja HEPA-suodatusta. MERV7-suodatusluokan suodatin on Euroopan SUP1-suodatukseen verrattuna erittäin karkea suodatus. Euroopan standardissa ei kuitenkaan HEPA-suodatusta vaadita niin kuin S170-standardissa, mutta on yleistä, että eristystilat varustetaan HEPA-suodattimilla olevilla päätelaitteilla.

Äänitaso ja lämpötila Euroopan standardissa ovat kuin tavanomaisessa potilashuoneessa. Euroopan standardin mukaan lämpötilassa saa olla enemmän vaihtelua kuin S170-standardin mukaisesti.

## 6 Sairaalojen mitoituspohdinta

Työn edetessä on haastattelujen ja tutkimuksien perusteella tullut esille eri tilojen mitoituksia ja muita sairaalailmanvaihtoon liittyviä asioita, joita olisi syytä pohtia kriittisesti sekä tutkia tarkemmin. Esiin on myös tullut erilaisia ehdotuksia, joita olisi syytä tarkastella.

### 6.1 Tilanimikkeet

Hankkeen alkuvaiheessa ilmanvaihtosuunnittelu perustuu pitkälti tilanimikkeisiin, eli arkkitehtipohjassa olevien tilojen nimiin. Sairaalojen tilanimikkeille ei ole olemassa mitään standardia. Suunnittelun näkökulmasta tilanimikkeiden standardisointi olisi kuitenkin kannattavaa, sillä standardisoiduilla tilanimikkeillä ei tulisi ilmanvaihtoon liittyviä epäselvyyksiä. [18]

### 6.2 Steriilivarasto

Steriilivarastolla tarkoitetaan varastoa, jossa säilytetään steriileissä pakkauksissa olevia välineitä ja instrumentteja. Haastatteluiden ja tutkimuksien perusteella on selvinnyt, että steriilivarastojen ilmanvaihto mitoitetaan  $8 \text{ l/s/m}^2$ . Ilmamäärä on todella suuri tilalle, jossa



ei juuri lainkaan oleskella. Ainoa peruste steriilivaraston korkealle ilmamäärälle on, että pakkaukset eivät kestä liian kosteaa ilmaa, jolloin suurella ja olosuhdehallitulla ilmalla pyritään pitämään tilan kosteus tasaisena ja matalana. Suunnittelun näkökulmasta olisi hyvä selvittää, ovatko steriilit pakkaukset todellakin alttiita liian kostealle ilmalle. Olisi myös syytä tutkia, voiko steriileitä pakkauksia parantaa, sillä steriilivarastojen mitoitus  $8 \text{ l/s/m}^2$  on kallis ratkaisu. Toinen vaihtoehto olisi suunnitella steriilivarastot tavanomaisen varaston mitoitusohjeistuksen mukaan ja suunnitella tilaan vakioilmastointikone, joka pitää tilan kosteuden hallinnassa. [18]

### 6.3 Kuvantamisen tilat

Haastatteluiden ja tutkimuksien perusteella on selvinnyt, että kuvantamisen tilojen ilmanvaihto mitoitetaan  $6 \text{ l/s/m}^2$ . Ilmamäärä on suuri ottaen huomioon, että normaalissa käyttötilanteessa tilassa on 2 henkilöä. Kuvantamisen tilat varustetaan lähes aina myös puhallinkonvektoreilla, jotka pitävät tilan lämpötilan asetetussa arvossaan [18]. Nykyään useat kuvantamisen laitteet toimivat siten, että niiden lämpökuorma ei tule itse tilaan. Kuvantamisen tilan ilmanvaihdon ilmamäärää olisi syytä tutkia, onko nykyinen mitoitus turhan suuri. Mitoitusohjeistus voi olla siltä aikakaudelta, kun puhallinkonvektoreita ei ollut käytettävissä, jolloin ilmanvaihtoa käytettiin myös tilan jäähdyttämiseen.

### 6.4 Heräämö

Heräämöt on mitoitettu ilmamäärällä  $6 \text{ l/s/m}^2$ . Kyseinen mitoitus on heräämöille lähtökohtaisesti riittävä ja toimiva, mutta eräässä sairaalassa on kyseisellä mitoituksella huomattu lämpötilan laskevan öisin liian alhaiseksi. Olisi syytä miettiä, voidaanko järjestelmä esimerkiksi varustaa jonkinlaisilla ilmamääräsäätimellä, jolla ilmanvaihtoa voidaan hallita ja siten estää lämpötilan liiallisen laskemisen. [18]

## 6.5 Näytteenotto

Tutkimuksien ja selvitysten perusteella näytteenottotiloja on mitoitettu ilmamäärällä 8 l/s/m<sup>2</sup>. Näytteenottohuoneiden yleisin toimenpide on verinäytteenotto, jolloin kyseinen mitoitettu ilmamäärä vaikuttaa turhan suurelta. Näytteenottohuoneessa on yleensä vain 2 henkilöä. Ilmanvaihtoa suunniteltaessa kyseiseen tilaan olisi syytä pohtia, mitä tilassa tarkalleen tehdään ja voiko näytteenottohuoneet mitoittaa pienemmällä ilmamäärällä.

## 6.6 Käytävä

Sairaaloissa käytävät toimivat usein myös odotushuoneina. Odotushuoneena käytettävät käytävät voidaan merkata arkkitehtipohjaan esimerkiksi tuoleilla. Käytävät ja odotustilat mitoitetaan lähtökohtaisesti eri ilmamäärillä, joten ilmanvaihtoa suunniteltaessa on kyseinen asia syytä huomioida. [19]

## 6.7 Pukuhuone

Sairaaloiden työntekijöiden pukuhuonetilat on mitoitettu 4 l/s pukukaappia kohden. Kun mitoittaa kyseisellä tavalla, voi pukuhuonetilaan tulla turhan suuret ilmamäärät. Pukuhuonetilat olisi syytä mitoittaa samanaikaisesti käytettävissä olevien pukukaappien lukumäärällä. Tämä toki edellyttäisi enemmän tietoa tilasta ja sen käyttötavoista, mikä on varsinkin hankkeen alkuvaiheessa haastavaa. Jos on mahdollisuus selvittää samanaikaisesti käytettävissä olevien pukukaappien määrä, olisi järkevää mitoittaa sen perusteella, koska silloin voidaan vähentää ilmamäärää ja lopputulos olisi edullisempi ratkaisu. [18]

## 6.8 Potilas-osaston hoitajien kanslia

Potilas-osaston hoitajien kansliassa olisi syytä miettiä ilmanvaihdon tehostusmahdollisuutta. Hoitajat antavat vuoron päätteeksi raportin vuoron tapahtumista seuraavaan vuoroon tuleville hoitajille. Raportin esittämiseen voi mennä jopa tunti, jolloin tilassa on sen

aikana huomattavasti suurempi henkilömäärä kuin, mihin tilan ilmanvaihto on suunniteltu. Samankaltaisiin tapauksiin olisi syytä pohtia, onko kannattavaa varustaa ilmanvaihto tehostusmahdollisuudella. [19]

## 6.9 Tutkimus- ja vastaanottohuone

Tutkimus- ja vastaanottohuoneet ovat tiloja, joissa lääkärit ja hoitajat vastaanottavat potilaita. Tutkimushuoneet on mitoitettu ilmavirralla 6 l/s/m<sup>2</sup> ja vastaavasti vastaanottohuoneet on mitoitettu ilmavirralla 4 l/s/m<sup>2</sup>. Molemmissa tiloissa on vähintään 2 henkilöä, joten molempien ilmamäärät vaikuttavat turhan suurilta. Suunnittelun näkökulmasta olisi syytä selvittää, tarvitsevatko kyseiset tilat jo aiemmin mainitut ilmamäärät vai voidaanko ilmamääriä mahdollisesti vähentää. [19]

## 7 Yhteenveto

Sairaalan ilmanvaihtoa suunniteltaessa tulee ottaa useita asioita huomioon ja työn edessä huomasi, että kokemuksella on suuri arvo suunnittelussa. Suunnittelijan tulee tunnistaa erilaiset KSL-laitteet sekä ymmärtää niiden käyttötarkoitus ja siten ottaa kyseiset laitteet huomioon ilmanvaihtoa mitoittaessa. Sairaalassa on useita erilaisia tiloja eri olosuhdevaatimuksilla, joka tekee suunnittelusta haastavaa. Ilmanvaihto suomalaisissa sairaaloissa on kokonaisuudessaan korkealla tasolla.

Ulkomaisten standardien vertailussa kävi ilmi, että mitoitus ilmanvaihtokertoimilla on hyvin yleistä toisin kuin Suomessa. Ilmanvaihtokertoimen avulla mitoitus voi olla haastavaa suurissa hankkeissa, sillä alakatto määrittynyt melko myöhäisessä vaiheessa, joten esimerkiksi ehdotussuunnittelua on hyvin vaikea toteuttaa ilmanvaihtokertoimien avulla. Neliöpohjainen mitoitus on helpompi toteuttaa, sillä eri tilojen pinta-alat ovat esitettynä jo hankkeen alkuvaiheessa. Ulkomaisia ilmanvaihtoratkaisuja sairaaloissa olisi syytä tutkia enemmän ja saada erilaisia näkökulmia ilmanvaihtoon perusteisiin ja mitoituksiin.

Nykyisiä ilmanvaihtoratkaisuja Suomen sairaaloissa olisi syytä tarkastella ja pyrkiä tuomaan esille eri perusteet. Työssä esiin tulleiden eri tilojen mitoituksien tarkastelussa tuli

pohdittua, että tietyt tilat vaikuttavat ilmanvaihdon suhteen olevan ylimitoitettuja. Tarkastelemalla eri tilojen mitoituksia olisi mahdollista tuoda esille energian säästöratkaisuja.

## Lähteet

- 1 Hoitoon liittyvät infektiot. 2018. Verkkoaineisto. Terveystieteiden tutkimuskeskus ja hyvinvoinnin laitos. <[https://thl.fi/fi/web/infektiotaudit/tauditja%20mikrobit/tautiryhmittain/hoitoon\\_liittyvat\\_infektiot](https://thl.fi/fi/web/infektiotaudit/tauditja%20mikrobit/tautiryhmittain/hoitoon_liittyvat_infektiot)>. Päivitetty 15.11.2018. Luettu 11.08.2019.
- 2 Working principle of Hepa. 2015. Verkkoaineisto. He-filter. <<http://www.hefilter.com/Industry-News/Working-Principle-of-HEPA.shtml>>. Päivitetty 20.01.2015. Luettu 02.08.2019.
- 3 Streifel, Andrew J. 1999. Design and maintenance of hospital ventilation systems and prevention of airborne nosocomial infections. Lippincott Williams & Wilkins. Infection Control and Hospital Epidemiology, s. 1270–1275.
- 4 SFS-EN ISO 16890-1:2016. Yleisilmanvaihdon ilmansuodattimet. Osa 1: Tekniset määritelmät, vaatimukset ja hiukkasmaisen aineksen erotusasteeseen perustuva luokitusjärjestelmä (ePM). Suomen Standoimisliitto SFS Ry.
- 5 Comparative Guide to Norms for the Classification of Air Filters. 2018. Verkkoaineisto. Venfilter. <<https://www.venfilter.com/normativa/comparative-guide-norms-classification-air-filters>>. Luettu. 20.08.2019.
- 6 DIN 1946-4:2017. 2017. Ventilation and air conditioning - Part 4: Ventilation in buildings and rooms of health care. German Institute for Standardization DIN.
- 7 Health technical memoranda. 2013. Verkkoaineisto. UK Government. <<https://www.gov.uk/government/collections/health-technical-memorandum-disinfection-and-sterilization>>. Päivitetty 22.12.2014. Luettu 15.08.2019.
- 8 Health technical memoranda (HTM) 03-01:2007. Specialised Ventilation for Healthcare Premises: Part A – Design and Validation. UK Government.
- 9 Halme, Alpo; Seppänen, Olli. 2002. Ilmastoinnin Äänitekniikka. Suomen LVI-liitto Ry. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.
- 10 Hardin, Jeff; Koenigshofer, Dan; Murphy John. 2013. HVAC Design Manual for Hospitals and Clinics. ASHRAE.
- 11 ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017. 2017. Ventilation of Health Care Facilities. ASHRAE.

- 12 MERV/ASHRAE 52.2 Vs ISO 16890 Efficiency Charts. 2017. Verkkoaineisto. Filtration Symstems Inc. <<https://www.energysmartfilters.com/blog/merv/ashrae-52.2-vs-iso-16890-efficiency-charts>>. Päivitetty 24.02.2017. Luettu 25.08.2019.
- 13 Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2017. E-aineisto. Finvac Ry.
- 14 Onko melu ympäristöterveyskysymys?. 2014. Verkkoaineisto. Terveyskirjasto. <[https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=asy00310](https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=asy00310)>. Päivitetty 3.11.2014. Luettu 14.09.2019.
- 15 Rullakkopesukoneiden tietodokumentti. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Granlund Oy
- 16 Mikrobiologinen suojakaappi luokka II EN 12469 TÜV -sertifioitu käyttöohje. 2018. E-aineisto. Päivitetty 11.05.2018. Kojair Oy
- 17 Esco Frontier Acela M-sarjan Vetokaapit. 2015. E-aineisto. Päivitetty 14.07.2015. Labo Line Oy
- 18 Puusaari, Aila. Johtava LVI-asiantuntija, Granlund Oy, Helsinki. Haastattelu, 03.10.2019.
- 19 Kondakov, Santeri. Sairaalaosaston päällikkö, Granlund Oy, Helsinki. Haastattelu, 07.10.2019.
- 20 Soininen, Mikko. 2019. Sairaaloiden eristystilojen ilmanvaihtoratkaisut. Insinööri-työ. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 21 Loponen, Juho-Ville. 2016. Sisätilojen äänimaailman vaikutuksen työntekijöiden viihtyvyyteen sairaalaympäristössä. Insinööri-työ. Savonia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 22 Huuvien tietodokumentti. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Granlund Oy
- 23 Hepa-suodatin, kuva. 2008. Verkkoaineisto. Wikipedia. <[https://en.wikipedia.org/wiki/HEPA#/media/File:HEPA\\_Filter\\_diagram\\_en.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/HEPA#/media/File:HEPA_Filter_diagram_en.svg)>. Päivitetty 13.08.2008. Luettu 25.10.2019
- 24 Hoods "Low-Cost Solution for High Technology Vol 8, No.16. 2015. E-aineisto. Terra Universal