



**Työterveyslaitos**

# Ilmavälitteisten infektioiden hallinta sairaaloiden eristystiloissa – loppuraportti

MITATUT TIIVIYDET, PAINE-EROT, ILMANVAIHTUVUUS, LÄMPÖOLOJEN  
JA KYSELYTULOKSET SEKÄ OHJEITA ERISTYSTILOJEN  
SUUNNITTELULLE

Kari Salmi, Erkki Kähkönen, Rauno Holopainen ja Kari Reijula

Työterveyslaitos

Käyttäjälähtöiset toimivat työtilat -teema

Topeliuksenkatu 41 a A

00250 Helsinki

[www.ttl.fi](http://www.ttl.fi)

Valokuvat: Erkki Kähkönen, Rauno Holopainen ja Kari Salmi

Piirroksiset: Rauno Holopainen

Kansi: Mainostoimisto Albert Hall Finland Oy Ltd

© 2012 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Julkaisu on toteutettu Tekesin ja hanketta rahoittaneiden yritysten tuella.

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-261-169-7 (nid.)

ISBN 978-952-261-170-3 (PDF)

Juvenes Print – Tampereen Yliopistopaino Oy, Tampere 2012

## ESIPUHE

Sairaaloissa tarvitaan eristystiloja potilaasta lähtevien taudinaiheuttajien leviämisen estämiseen tai heikkokuntoisten potilaiden suojaamiseksi epäpuhtauksilta. Ihmiset liikkuvat ja matkustavat nykyään paljon ja infektiot leviävät nopeasti maaosasta toiseen, jolloin kymmeniätuhansia, jopa satojatuhansia ihmisiä sairastuu infektioihin. Tyypillisiä ovat jokavuotiset laajat influenssaepidemiat, SARS-epidemia joku vuosi takaperin tai NDM-1 bakteerin leviäminen kantajasta heikkokuntoisiin potilaisiin. Bioterrorismin uhkaakaan ei voida vähätellä.

Sairaalat ovat tehneet pandemioita varten varautumissuunnitelmat. Yleensä potilaat joudutaan eristämään taudin leviämisen estämiseksi. Pandemian levitessä ongelmallista on se, että eristystiloja tarvitaan paljon, johon ei ole voitu varautua tavanomaisen rakentamisen yhteydessä. Yksittäisten sairastuneiden kohdalla tilanne on parempi. Sairaaloissa on eristystiloja, johon tartuntavaarallinen potilas voidaan sijoittaa. Sairaaloiden mukaan viime vuosina yleisiä syitä eristykseen ovat olleet tuberkuloosi, MRSA, resistentit mikrobit, infektio, yliherkkyys, vesirokko ja sikainfluenssa.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin alipaineisten ilmaeristystilojen ilmanvaihto- ja rakennusteknisiin toimenpiteisiin, joilla voidaan estää ilmavälitteisesti tarttuvien infektioiden leviäminen sairaaloiden eristystiloista ympäristöön. Suojaeristystilojen, joilla suojataan potilaita taudin aiheuttajilta, ilmavaihdollisia ongelmia ei tässä tutkimuksessa selvitetty.

Suomessa ei ole kansallisia eristystilojen suunnitteluohjeita. Eristystilojen suunnittelijoille on kokemuksen kautta muodostuneet suunnittelukäytännöt. Lähtökohtana ovat olleet ilmavirrat, joilla ylläpidetään eristystilaa alipaineisena sulku- ja käytävätilaan nähden. Tuloilmanjakoon ja poistoilmaventtiilien sijoittamiseen on kiinnitetty vähän huomiota. Tilojen ilmatiiviyteen ei ole myöskään kiinnitetty riittävää huomiota eikä tilojen tiiviyttä yleensä ole mitattu. Eristystilojen ovilla on suuri merkitys tilojen välisiin ilmavirtauksiin. Ovien kautta siirtyy suuria ilmamääriä oven avauksen yhteydessä ja ihmisen liikkeessa oviaukossa. Laskennallisesti voidaan arvioida, kuinka kauan joudutaan odottamaan sulku-tilassa epäpuhtauksien laimentumista ennen siirtymistä käytävään.

Ongelmia ovat aiheuttaneet myös korkeat hiukkaspitoisuudet, tuloilman suodatus sekä rakenteiden ja läpivientien riittämätön tiiviyys. Paine-eroanturit ovat seurannan ja toiminnan kannalta oleellisia, mutta niiden huoltoon ja kalibrointiin ei ole kiinnitetty tarpeeksi huomiota.

Tutkimus on tehty yhteistyössä Itä-Suomen yliopiston, VTT:n ja Työterveyslaitoksen kanssa. Tutkimusta rahoitti TEKES ja yhteistyöyritykset Camfil Oy, Fanison Oy, Fläkt Woods Oy, Kojair Tech Oy, Lifa Air Oy sekä Helsingin ja Uudenmaan ja Pohjois-Savon sairaanhoitopiirit. Työterveyslaitoksen tehtävänä oli paine-ero-, lämpötila-, tiiviyys- ja ilmavirtamittaukset, rakenteiden vuotokohtien paikallistaminen sekä eristystilojen toimivuutta koskeva kysely. VTT teki hiukkasmittaukset sekä laboratorio- ja mallinuskokeet. Itä-Suomen yliopiston vastuulla oli merkkiainemittaukset, kirjallisuuskatsaus ja hankkeen koordinointi. Itä-Suomen yliopiston ja VTT:n mittaustulokset julkaistaan erillisessä raportissa.

Tutkimuksen tekijät lausuvat parhaimmat kiitokset tutkimuksen rahoittajille, yhteistyökumppaneille, johtoryhmälle sekä kaikille tutkimukseen ja raportin kielenhuoltoon osallistuneille.

Helsingissä 2012

Tekijät

## TIIVISTELMÄ

Eristystilatutkimukset tehtiin viidessä Suomen sairaalassa. Yhteensä mittauksia tehtiin 19 eristystilassa. Eristystiloista 13 oli uusia (2008-2010) ja 6 vanhoja (1994-2005) tiloja. Tilat olivat ilmaeristystiloja, jotka pidetään alipaineisina ja pyritään estämään potilaista leviävien taudinaiheuttajien pääsy muihin tiloihin. Mittaukset tehtiin eristystilojen ollessa tyhjinä.

Suomessa ei ole vielä kansallisia eristystilojen suunnitteluohjeita. Nykyisin eristystilojen suunnittelu, toteutus ja käytönaikainen ylläpito on toteutettu sairaalakohtaisten ohjeiden ja suunnittelijoiden kokemuksen mukaan. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto antaa ohjeita lähinnä tavallisille potilashuoneille ja toimenpidehuoneille. Kansallisessa varautumissuunnitelmassa influenssaepidemiaa varten ja Valtakunnallisessa tuberkuloosiohjelmassa annetaan ohjeita ilmanvaihtokertoimelle: vanhoille tiloille 6 ja uusille tiloille 12 kertaa tunnissa. Eristystilojen tiiviydelle ei ole ohjearvoa.

Uusissa eristystiloissa mitatut tiiviydet vaihtelivat 1–4 1/h ja vanhoissa 3–16 1/h 50 Pa paine-erolla. Mitatuista tulo- tai poistoilmavirroista lasketut ilmavaihtokertoimet olivat uusissa eristystiloissa 7–14 1/h ja vanhoissa 3–21 1/h. Uusissa tiloissa paine-ero eristystilan ja käytävän välillä oli keskimäärin -13 Pa ja vanhoissa -6 Pa. Joissakin eristystiloissa paine-erot vaihtelivat ilmanvaihdon päivä- ja yöaikaisen käytön aikana. Oviaukoissa pienimmät ilmavirtaukset olivat liukuovissa ja suurimmat tavallisissa leveissä saranaovissa. Ovien tulee olla riittävän tukevia tiiviin sulkeutumisen varmistamiseksi. Lisäksi raskaiden ovien tulee olla sähkötoimisia henkilökunnan kuormituksen vähentämiseksi. Molempien sulkutilan ovien samanaikainen aukiolo tulisi olla estetty.

Eristystilojen tiiviyys on selvästi parantunut uusissa eristystiloissa. Tiloista löytyy kuitenkin monia vuotokohtia: tiivistämättömät läpiviennit, ikkunoiden ja ovien karmit sekä niiden ympäristö, sähköasennuskotelot, pistorasiat, kytkimet ja kuoleutuneet ovien tiivisteet. Eristystiloissa avattavien ikkunoiden käyttöä on vältettävä, koska avattavan ikkunan kautta voi siirtyä taudin aiheuttajia ympäröiviin tiloihin. Suojaeristyksessä ulkoilmasta tulevat epäpuhtaudet altistavat heikkokuntoista potilasta. Pieniä vuotokohtia on useita ja yhden, esimerkiksi ikkunan, tiiviydän parantaminen ei juuri paranna tilan tiiviyyttä. Paineeromittareiden huollossa ja kalibroinneissa oli puutteita.

Kyselytutkimukseen saatiin vastaukset 12 sairaanhoitopiiristä. Eniten eristystiloja oli rakennettu 1960- ja 2000-luvuilla. Hoitohenkilökunta koki puutteena tilojen ahtauden, eristystilojen vähyyden, vaikean puhdistettavuuden, paine-ero koettiin riittämättömäksi ja säilytystilat vähäisiksi. Suojainten käyttö eristystiloissa vaihteli eri sairaaloissa. Kiireestä johtuen odotusaika sulkutilassa jää lyhyeksi.

Yhteistyössä Työterveyslaitoksen, Itä-Suomen yliopiston ja VTT:n kanssa laaditaan sairaaloiden eristystilojen suunnitteluohjeet vuonna 2012.

## ABSTRACT

The study of the isolation rooms was conducted in five hospitals in Finland. The isolation room was usually a single-patient room with an anteroom and bathroom. The number of new isolation rooms (2008–2010) was 13 and old rooms (1994–2005) were 6 in the study. All the isolation rooms were constructed for prevent airborne infectious diseases. These rooms were negative pressurized in order to prevent the spreading of infections to surrounding areas. The measurements were carried out when isolation rooms were not occupied.

There are no national designing guidelines in Finland concerning isolation rooms. At present, planning, constructing and maintenance is based on rules given by hospital or on experience of constructors. National building code D2 Indoor Climate and Ventilation of Buildings Regulations and Guidelines gives guidelines for patient and treatment rooms. National preparedness plan for an influenza epidemic and National tuberculosis control programme give general guide for air exchange rate i.e. 6 1/h for old isolation rooms and 12 1/h for new ones. There is no recommendation for air tightness of isolation rooms.

Air tightness in new isolation rooms were 1–4 1/h at 50 Pa pressure difference and in old ones 3–16 1/h, respectively. Air exchange rates estimated from measured air volumes varied in new isolation rooms 7–14 1/h and old rooms 3–21 1/h. Pressure difference between patient room and corridor was on average -13 Pa in new and -6 Pa in old isolation rooms. Lowest air velocities were measure in sliding doors and highest in normal wide doors. Especially, normal doors must be solid enough in order to close tight. Unfortunately, poor quality doors were found. Heavy door must be electrically, not manually, controlled.

Air tightness of new isolation rooms was better than old isolation rooms. However, there are many leakages: unsealed cables and tubes, window and door frames and surroundings, wall socket, switches and old seals. The windows of the isolation rooms should not be opened because infections have spread adjoining areas such as upper floors. There were very many small leakages. If only a few leakages are eliminated, the air tightness of isolation rooms is not much improved. In addition, calibration of pressure gauges and maintenance should be done more carefully.

Questionnaire has been sent to 20 hospital districts and 12 of them answered. Mainly isolation rooms were constructed 1960´s and 2000´s. According to hospital personnel, the isolation rooms were among others constricted, lack of them, difficult to clean, too low pressure difference and not enough storage. Practices on use of personal protective were different in hospitals. Hospital personnel have not enough time to stay in anteroom and wait for concentration decay of pathogens.

National designing guidelines for isolation rooms are written in 2012 together with Finnish Institute of Occupational Health, University of Eastern Finland and VTT Technical Research Centre of Finland.

# SISÄLLYSLUETTELO

|  |    |
|--|----|
| ESI PUHE.....                                      | 3  |
| 1 TAUSTAA .....                                    | 9  |
| 2 TAVOITTEET .....                                 | 11 |
| 3 TAUSTATIETOA TUTKITUISTA SAIRAALOISTA .....      | 12 |
| 3.1 Sairaala A.....                                | 12 |
| 3.2 Sairaala B.....                                | 12 |
| 3.3 Sairaala C.....                                | 13 |
| 3.4 Sairaala D.....                                | 13 |
| 3.5 Sairaala E.....                                | 13 |
| 4 MITTAUSMENETELMÄT.....                           | 15 |
| 4.1 Ilman lämpötila.....                           | 15 |
| 4.2 Paine-erot.....                                | 15 |
| 4.3 Tulo- ja poistoilmavirrat .....                | 16 |
| 4.4 Tiiviysmittaukset .....                        | 16 |
| 4.5 Ilman liike.....                               | 17 |
| 4.6 Kysely- ja haastattelututkimus .....           | 17 |
| 5 VERTAILUARVOT .....                              | 18 |
| 6 MITTAUSTULOKSET SAIRAALOITAIN .....              | 19 |
| 6.1 Sairaala A.....                                | 19 |
| 6.1.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus..... | 19 |
| 6.1.2 Paine-erot .....                             | 19 |
| 6.1.3 Ilmanvaihto.....                             | 22 |
| 6.1.4 Tiiviysmittaukset .....                      | 23 |
| 6.2 Sairaalan B mittaustulokset .....              | 24 |
| 6.2.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus..... | 24 |
| 6.2.2 Paine-erot .....                             | 25 |
| 6.2.3 Ilmanvaihto.....                             | 26 |
| 6.2.4 Tiiviysmittaukset .....                      | 27 |
| 6.3 Sairaalan C mittaustulokset .....              | 28 |
| 6.3.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus..... | 28 |
| 6.3.2 Paine-erot .....                             | 29 |
| 6.3.3 Ilmanvaihto.....                             | 30 |
| 6.3.4 Tiiviysmittaukset .....                      | 31 |
| 6.4 Sairaala D.....                                | 32 |
| 6.4.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus..... | 32 |
| 6.4.2 Paine-erot .....                             | 32 |
| 6.4.3 Ilmanvaihto.....                             | 35 |
| 6.4.4 Tiiviysmittaukset .....                      | 36 |

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| 6.5              | Sairaala E .....                             | 37 |
| 6.5.1            | Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus..... | 37 |
| 6.5.2            | Paine-erot .....                             | 37 |
| 6.5.3            | Ilmanvaihto.....                             | 39 |
| 6.5.4            | Tiivysmittaukset .....                       | 41 |
| 6.6              | Ilman liikenopeudet oviaukoissa .....        | 43 |
| 6.7              | Kyselyjen tulokset .....                     | 45 |
| 6.8              | Havaittuja vuotokohta.....                   | 46 |
| 6.8.1            | Ovet.....                                    | 46 |
| 6.8.2            | Ikkunat.....                                 | 47 |
| 6.8.3            | Yläkattorakenteet .....                      | 48 |
| 6.8.4            | Muita havaintoja .....                       | 49 |
| 7                | TULOSTEN TARKASTELU .....                    | 51 |
| 8                | YHTEENVETO .....                             | 53 |
| 9                | TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN .....                 | 55 |
| KII TOKSET ..... |  | 56 |
| LÄHTEET .....    |  | 57 |
| LIITTEET .....   |  | 59 |
|                  | Kyselylomake.....                            | 59 |



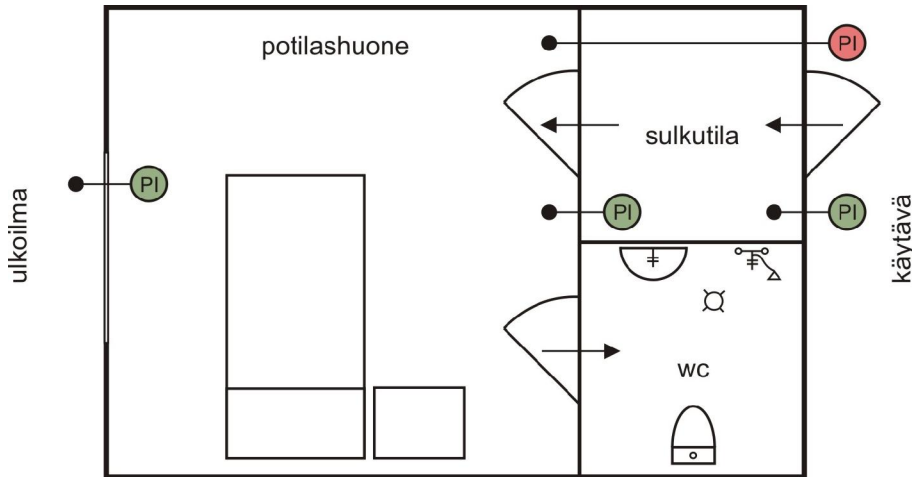
# 1 TAUSTAA

Eristystilojen tarve Suomen, kuten myös muiden maiden sairaaloissa, on kasvamassa. Sairaalainfektiot, pandemiat ja terroriuhka muodostavat poikkeuksellisen haasteen eristystilojen suunnittelulle, toteutukselle ja käytön aikaiselle ylläpidolle. Edellä mainittujen uhkakuvien tiedostamisen myötä varautumiseen on alettu panostaa sekä kansainvälisesti että kansallisesti. Tästä huolimatta eristystilojen toimivuudesta on vain vähän testattua tietoa, ja myös kansalliset, selkeät suunnitteluohjeet puuttuvat. Eristystiloja tarvitaan sekä tartuntavaarallisille potilaille että potilaille, joilla vastustuskyky on heikentynyt.

Ilmaeristystä, jossa potilashuone on alipaineinen, käytetään taudeissa, jotka leviävät ilmaiteitse potilaan tuottamien mikrobien välityksellä. Ilmaeristystä edellyttäviä tartuntatauteja ovat muun muassa tuberkuloosi, tuhkarokko, vesirokko, isorokko, verenvuotokuume Ebola, SARS ja influenssa. Tuberkuloositartunnan torjuntaan on annettu ohjeita asiantuntijaryhmän suosituksessa (Rajalahti ym. 2004). Eristystiloja tarvitaan myös suojaeristyksessä, jossa potilashuone on ylipaineinen, ja jossa potilas suojataan ympäristössä esiintyviltä tulehduksia aiheuttavilta mikrobeilta. Kansallisessa varautumissuunnitelmassa influenssaepidemiaa varten (2006) ja Valtakunnallisessa tuberkuloosiohjelmassa (2006) on annettu laajasti ohjeita poikkeusolosuhteita varten.

Lääkärilehden artikkelissa (Rajalahti ym. 2004) on mainittu eristystilasta seuraavasti: "Eristyshuoneeseen suositellaan muista tiloista erillään toimivaa ilmanvaihtojärjestelmää, jonka koneisto sijoitetaan teknisiin tiloihin. Huoneilman lämpötilaa tulee voida säätää. Paikallisjäähdyttimiä ei saa käyttää. Huoneilman tulee vaihtua 6 kertaa tunnissa vanhoissa tiloissa ja 12 kertaa tunnissa uusissa tiloissa. Ilman kulku suunnitellaan siten, että se virtaa hoitohenkilökunnan työskentely tilasta potilaan oleskelutilaa kohti. Ilma johdetaan HEPA-suodattimen (High Efficiency Particulate Air, partikkelisuodatin, joka suodattaa 0,3 µm:n hiukkasista vähintään 99,97 %) läpi erillisen poistoilmakanavan kautta rakennuksen katolta ulkoilmaan. Poistoilman ulostuloaukko ei saa olla yleisen ilmanvaihtojärjestelmän sisäänottoaukon lähetyvillä. Alipaineistetun huoneen ulkopuolella on hälyttävä seurantamittaristo, josta painetta seurataan jatkuvasti eristyshoidon aikana. Mittarien säätimet suojataan siten, että vain tekninen henkilökunta voi niitä käyttää. Ilmanpaineisuuden huoltotarkistus tehdään 1–2 kertaa vuodessa. HEPA-suodattimien toimivuus tarkistetaan säännöllisin väliajoin vähintään kerran vuodessa ja suodattimet vaihdetaan tarpeen mukaan. Huoltotarkistuksen ja suodattimen vaihdon ajankohta sekä tekijän nimi kirjataan huoltopapereihin."

Kuvassa 1 on esitetty periaatekuva tyypillisestä ilmaeristystilasta, ovien avautumissuunnista, paine-eromittareiden anturoinnista (eristys- ja käytävätila) ja halutuista ilmavirtojen suunnista.



Kuva 1.1. Periaatekuva ilmaeristystilasta. Yleensä eristystilojen paine-eroa seurataan potilashuoneen ja käytävän välillä (punainen PI). Tutkimuksessa mitattiin paine-eroja eri tilojen välillä (vihreä PI).

Eristystilan ilmavirroilla, ilmatiivyydellä, ilman suodatuksella, sulkutiloilla ja tilojen välisillä paine-eroilla on tärkeä merkitys ilmavälitteisten infektioiden leviämisen estämisessä. Eristystilojen potilashuoneen ja käytävän välisen paine-eron suunnitteluarvolle on esitetty hyvin erilaisia vaatimuksia: USA:ssa 2,5 Pa ja Australiassa 30 Pa (AIA 2001, CDC 2003, ASHRAE 2003, Rydock ym. 2004). Suomessa ei ole annettu kansallista ohjearvoa paine-erolle.

Eristystilan ilmanvaihtojärjestelmään voi kertyä elinkykyisiä mikrobeja, jotka voivat otollisissa olosuhteissa lisääntyä ja aiheuttaa merkittävää tartuntavaaraa. Eristystilan ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja toteutettava siten, että järjestelmän puhtautta ja hygieniaa on helppo ylläpitää. Eristystilan ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus- ja suodatinhuoltotyössä on kiinnitettävä erityistä huomiota henkilökohtaiseen ja ympäristön suojaamiseen tartuntavaarallisilta epäpuhtauksilta.

Suomessa ei ole vielä kansallisia eristystilan suunnitteluohjeita. Nykyiset eristystilat ovat suunniteltu kokemuksen ja sairaalakohtaisten ohjeiden mukaan. Kansallisten ohjeiden tarpeesta on keskusteltu eri yhteyksissä, muun muassa Sairaalatekniikan päivillä (2007). Tutkimustietoa tarvitaan rakennus- ja LVI-tekniisten ratkaisujen merkityksestä ilmavälitteisten infektioriskien hallintaan.

## 2 TAVOITTEET

Hankkeen tavoitteena oli selvittää kenttämittauksin ja kyselyjen avulla eristystilojen teknistä toimintaa ja henkilökunnan käyttökokemuksia eristystiloista. Tutkimus koostui kahdesta osaprojektista:

Osaprojekti 1) Lähtötilanteen kartoitus, joka sisälsi kirjallisuuskatsauksen eristystilojen suunnitteluohjeista Euroopassa ja USA:ssa sekä nykyisten eristystilojen puutteiden ja toiminnan selvityksen kenttämittauksin Suomen sairaaloissa.

Osaprojekti 2) Eristystilan mallintaminen ja laboratoriokokeet.

Työterveyslaitos osallistui osaprojektin 1) toteutukseen seuraavasti:

- Tutkimussuunnitelman ja kirjallisuuskatsauksen laatimiseen.
- Nykyisten eristystilojen toiminnan ja puutteiden selvittämiseen kenttämittauksin ja määritti ohjeita tilojen ilmatiivyydelle, ilmanvaihdolle ja tilojen välisille paine-eroille.
- Kyselyn ja haastattelun toteuttamiseen sairaanhoitopiireissä nykyisistä eristystiloista, niiden toimivuudesta ja puutteista.
- Tutkimus- ja mittaustulosten analysointiin ja raportointiin.
- Suunnitteluohjeiden laatimiseen kenttämittausten pohjalta.

Osaprojektin 1 vastuu oli Työterveyslaitoksella. Mittaukset toteutettiin yhdessä Itä-Suomen yliopiston ja VTT:n kanssa.

## 3 TAUSTATIETOA TUTKITUISTA SAIRAALOISTA

Tässä tutkimuksessa eristystilat jaettiin vanhempiin, ennen vuotta 2008 valmistuneisiin, ja uudempiin 2008–2010 valmistuneisiin.

### 3.1 Sairaala A

Sairaalan A:n päärakennus oli valmistunut 1950-luvun lopussa. Tutkittavia eristystiloja oli kolme vuosilta 2002–2008.

*Taulukko 3.1. Mitatut eristystilat sairaalassa A.*

| Sairaala A                       | Eristystila 1 | Eristystila 2 <sup>1)</sup> | Eristystila 3 |
|----------------------------------|---------------|-----------------------------|---------------|
| Valmistumisvuosi                 | 2008          | 2002                        | 2005          |
| Sulkutila, m <sup>2</sup>        | 6,5           | 5,1                         | 5,6           |
| Eristystila + WC, m <sup>2</sup> | 28,2          | 19,9                        | 13,1          |
| Sulkutila, m <sup>3</sup>        | 16,3          | 12,8                        | 12,9          |
| Eristystila + WC, m <sup>3</sup> | 73,3          | 50,7                        | 35,4          |

<sup>1)</sup> Eristystilan 2 sulkutilasta oli ylimääräinen ovi WC-tiloihin ja eristystilasta ylimääräinen ovi käytävään.

### 3.2 Sairaala B

Sairaala B oli valmistunut 1950-luvun alkupuolella ja sairaalan uudempi puoli vuonna 2008. Sairaalassa mitattiin neljä eristystilaa, jotka olivat valmistuneet vuosien 1994–2009 aikana.

*Taulukko 3.2. Mitatut eristystilat sairaalassa B.*

| Sairaala B                       | Eristystila 1 | Eristystila 2 | Eristystila 3 | Eristystila 4 |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Valmistumisvuosi                 | 1994          | 2009          | 2009          | 2009          |
| Sulkutila, m <sup>2</sup>        | 6,0           | 4,2           | 5,0           | 4,2           |
| Eristystila + WC, m <sup>2</sup> | 17,3          | 17,3          | 16,3          | 17,3          |
| Sulkutila, m <sup>3</sup>        | 14,4          | 10,5          | 12,5          | 10,5          |
| Eristystila + WC, m <sup>3</sup> | 46,8          | 48,2          | 40,8          | 48,2          |

### 3.3 Sairaala C

Sairaalan C oli valmistunut 2000-luvulla. Sairaalassa mitattiin kolme eristystilaa, jotka oli otettu eristystilakäyttöön vuonna 2010.

*Taulukko 3.3. Mitatut eristystilat sairaalassa C.*

| Sairaala C                       | Eristystila 1 | Eristystila 2 | Eristystila 3 |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Valmistumisvuosi                 | 2010          | 2010          | 2010          |
| Sulkutila, m <sup>2</sup>        | 6,3           | 6,3           | 6,3           |
| Eristystila + WC, m <sup>2</sup> | 28,6          | 28,6          | 28,7          |
| Sulkutila, m <sup>3</sup>        | 15,1          | 15,1          | 15,1          |
| Eristystila + WC, m <sup>3</sup> | 72,8          | 77,5          | 78,0          |

### 3.4 Sairaala D

Sairaalan D päärakennus oli valmistunut 1960-luvun puolivälissä. Sairaalassa mitattiin kolme eristystilaa, jotka olivat valmistuneet vuosien 1999–2001 aikana.

*Taulukko 3.4. Mitatut tilat sairaalassa D.*

| Sairaala D                       | Eristystila 1 | Eristystila 2 | Eristystila 3 |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Valmistumisvuosi                 | 1999          | 1999          | 2001          |
| Sulkutila, m <sup>2</sup>        | 4,4           | 6,8           | 2,8           |
| Eristystila + WC, m <sup>2</sup> | 27,9          | 25,8          | 21,8          |
| Sulkutila, m <sup>3</sup>        | 10,1          | 16,3          | 6,4           |
| Eristystila + WC, m <sup>3</sup> | 73,8          | 68,2          | 58,3          |

### 3.5 Sairaala E

Sairaalan E oli valmistunut 2000-luvulla. Sairaalassa mitattiin kuusi eristystilaa ja yksi tavallinen potilashuone, jotka olivat valmistuneet vuonna 2010. Osassa eristystiloissa tiivysmittaukset tehtiin ennen tilojen valmistumista ja uudelleen tilojen valmistumisen jälkeen.

Taulukko 3.5. Mitatut eristystilassa sairaalassa E.

| Sairaala E                       | Eristys-tila 1 | Eristys-tila 2 | Eristys-tila 3 | Eristys-tila 4 | Eristys-tila 5 | Eristys-tila 6 | Potilas-huone |
|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| Valmistusvuosi                   | 2010           | 2010           | 2010           | 2010           | 2010           | 2010           | 2010          |
| Sulkutila, m <sup>2</sup>        | 4,7            | 4,6            | 4,8            | 4,7            | 9,3            | 9,6            | 5,5 (WC)      |
| Eristystila + WC, m <sup>2</sup> | 26,0           | 25,4           | 25,0           | 25,7           | 34,5           | 33,3           | 28,6 (huone)  |
| Sulkutila, m <sup>3</sup>        | 11,3           | 11,0           | 11,5           | 11,3           | 22,3           | 23,0           | 13,2          |
| Eristystila + WC, m <sup>3</sup> | 66,3           | 64,8           | 63,6           | 65,6           | 88,5           | 83,8           | 74,4          |

## 4 MITTAUSMENETELMÄT

### 4.1 Ilman lämpötila

Mittaukset tehtiin Tinytag- (Gemini Data Loggers, UK) ja Hobo- lämpötilaloggereilla (Onset HOBO Data Loggers, USA). Lämpötila tallennettiin minuutin välein (kuva 4.1).



Kuva 4.1. Lämpötilan mittaus dataloggereilla.

### 4.2 Paine-erot

Paine-erot mitattiin tallentavilla Swema 3000 (Swema, Sweden) mittareilla, joissa oli SWA10 sisäänrakennettu paine-anturi automaattisella nollapisteen säädöllä. Paine-ero tallennettiin minuutin välein (kuva 4.2).



Kuva 4.2. Paine-eron mittaus ja vuotokohtien havainnointi savulla.

### 4.3 Tulo- ja poistoilmavirrat

Tulo- ja poistoilmavirrat mitattiin venttiileistä Swema 125 (Swema, Sweden) balometrilla ja Swema 3000 mittarilla (kuva 4.3).



Kuva 4.3. Poistoilmavirran mittaaminen eristystilan WC-tilassa balometrilla.

### 4.4 Tiiviysmittaukset

Eristystilojen tiiviyttä mitattiin Minneapolis Blower Door™ -laitteistolla (The Energy Conservatory, USA). Laitteisto asennettiin joko käytävän ja sulku-tilan väliseen oveen tai sulku-tilan ja eristystilan väliseen oveen (kuva 4.4). Eristystilojen tulo- ja poistoilmaventtiilit suljettiin tiiviisti ennen mittausta.

Tila yleensä ali- ja ylipaineistettiin tietokoneohjatusti ovipuhaltimen avulla. Vuotoilmavirta määritettiin yleensä 10 Pa, 20 Pa, 30 Pa, 40 Pa ja 50 Pa paine-eroilla. Laite teki jokaisessa paine-erossa 100 mittausta, joista se laski keskiarvon.

Paine-eron aikaansaama vuotovirta noudattaa vuotoyhtälöä (1).

$$Q = k \times \Delta p^n, \tag{1}$$

missä  $Q$  = vuotoilmavirtaus,  $k$  = virtauskerroin [ $\text{m}^3/(\text{h Pa})$ ],  $\Delta p$  = paine-ero rakennuksen vaipan yli [Pa] ja  $n$  = virtausekponentti [-]. Laite antaa mittaustuloksena ilmavuotoluvun  $n_{50}$  [ $\text{m}^3/(\text{h m}^3)$ ], joka kuvaa vuotoilmavirtaa tunnissa tilan ilmatilavuutta kohti. Mitä pienempi on ilmavuotoluku, sitä parempi on tilan ilmatiiviyys.





Kuva 4.4. Oviaukkoon asennettu Blower Door™ tiiviysmittauslaitteisto.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 (2012) on esitetty rakennusvaipan ilmanvuotoluvun  $q_{50}$  yksiköksi [ $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ ], joka kuvaa vuotoilmavirtaa tunnissa tilaa ympäröivien pintojen pinta-alaa kohti.

Epätiiviyiskohtia havainnollistettiin savukokein sekä lisäksi yhdessä sairaalassa Fluke lämpökameralla (Fluke Corporation, USA).

## 4.5 Ilman liike

Ilman liikenopeusmittaukset tehtiin oviaukoissa Swema 3000 mittareilla ja SWA 03 ilman liikenopeusantureilla. Mittaus tehtiin 5 sekunnin keskiarvostuksella ovea avattaessa, oven ollessa auki ja ovea suljettaessa. Henkilö kulki oviaukossa kokeen aikana. Ilman liikenopeuksista laskettiin turbulenssiaste, joka kuvaa ilmavirtauksen vaihtelevuutta. Turbulenssiaste [%] määritetään ilman liikenopeuden keskihajonnan ( $u'$ ) suhteena keskinopeuteen ( $\bar{U}$ ).

$$T_u = 100 \times \frac{u'}{\bar{U}}. \quad (2)$$

## 4.6 Kysely- ja haastattelututkimus

Kysely- ja haastattelututkimuksen tarkoitus oli selvittää nykyisten eristystilojen toimivuutta, puutteita ja kehitystarpeita sekä kartoittaa tämänhetkinen tilanne. Kysymykset koskivat mm. eristystilojen lukumäärää ja rakennusvuotta, suunnitteluarvoja, huoltoa, käyttökoulutusta sekä potilaiden sairauksia. Työterveyslaitoksen laatima kyselylomake (liite 1) lähetettiin sähköpostitse 20 sairaanhoitopiirille. Noin kuukauden kuluttua soitettiin niille sairaanhoitopiireille, jotka eivät olleet vastanneet kyselyyn. Sekä tekniselle että hoitohenkilökunnalle oli kyselyssä omia kysymyksiä.

## 5 VERTAILUARVOT

Suomen rakentamismääräyskokoelmassa D2 ei ole annettu ohje- tai suunnitteluarvoja eristystilojen ilmanvaihdonneen vaan ainoastaan potilas- ja toimenpidehuoneille (taulukko 5.1).

*Taulukko 5.1 Suomen rakentamismääräyskokoelman D2 antamia ohjearvoja hoitolaitoksille.*

| Tila/<br>käyttötarkoitus            | Ulkoilma-<br>virta<br>[dm <sup>3</sup> /s,hlö] | Ulkoilma-<br>virta<br>[dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] | Poistoilma-<br>virta<br>[dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] | Ilman nopeus<br>talvi/kesä<br>[m/s] |
|-------------------------------------|--|---|---|-------------------------------------|
| Sairaalan potilashuone              | 10   | 1,5   |   | 0,20/0,30                           |
| Sairaalan toimenpidehuone           |  | 2   |   | 0,20/0,30                           |
| Sairaalan kuntoutu-<br>tushuone     |  | 2   |   | 0,20/0,30                           |
| Sairaalan oleskelu-<br>tilat        |  | 2   |   | 0,20                                |
| Lastenhoitotilat                    |  | 2   |   | 0,20/0,30                           |
| Pitkäaikaispotilaiden<br>hoitotilat |  | 2   |   | 0,20/0,30                           |
| Potilas- ja odotustilojen<br>WC     |  | 0,5   | 30/paikka   | 0,20                                |
| Huuhteluhuone                       |  | 3   | 10  | 0,20                                |

Yhdysvalloissa eristys- ja käytävätilan väliseksi paine-eroksi suositellaan vähintään 2,5 Pa (AIA 2001, CDC 2003, ASHRAE 2003) ja Australiassa 30 Pa (Rydock et al. 2004). Pohjoismaissa suunnitteluarvot paine-eroille vaihtelevat 5-50 Pa välillä. Suomen, Ruotsin ja Norjan sairaaloissa tehdyissä kenttämittauksissa (Rydock et al. 2004) eristys- ja käytävätilojen välinen paine-ero oli 5–30 Pa (n=8) ja sulku- ja käytävätilojen paine-ero 10–25 Pa (n=5). Eristystilojen ilmanvaihtokertoimet olivat 10–47 1/h, mikä voi aiheuttaa vedon tunnetta ja heikentää lämpöviihtyisyyttä.

Eristyshuoneiden lämpötiloille ASHRAE 2003 suosittelee 21–24 °C ja AIA 24 °C. DVA 2006 suosittelee talviaikana 24 °C ja kesäaikana 25 °C. Saksalainen DIN 1946 suosittelee kosteudelle 30–60 %, joka on mainittu myös useissa muissa lähteissä.

Eristystilan ilmatiiviydelle ei ole esitetty ohjearvoja.

## 6 MITTAUSTULOKSET SAIRAALOITTAIN

### 6.1 Sairaala A

Sairaalan A mittaukset tehtiin 17.-18.8.2009 välisenä aikana. Sairaalassa osastojen toiminta oli mittauksen aikana tavanomaista. Eristyshuoneissa ei ollut mittauksen aikana potilaita.

#### 6.1.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

Tiloista mitatut ilman lämpötilat vaihtelivat noin 21–26 °C välillä ja olivat keskimäärin 22–23 °C astetta. Ilman suhteellinen kosteus oli keskimäärin 45 %. Ulkoilman lämpötila oli mittausten aikana keskimäärin 14 °C (12–21 °C). Huoneilman lämpötilan keskiarvot, minimi ja maksimit mittausjaksolta, on esitetty taulukossa 6.1.

*Taulukko 6.1. Sairaala A: Mitatut ilman lämpötilat ja suhteellinen kosteus.*

| Mittauspiste  | Ilman lämpötila [°C] |        |         | Ilman suhteellinen kosteus [%] |        |         |
|---------------|----------------------|--------|---------|--------------------------------|--------|---------|
|               | keskiarvo            | minimi | maksimi | keskiarvo                      | minimi | maksimi |
| Eristystila 1 | 22,7                 | 20,9   | 25,1    | -                              | -      | -       |
| Eristystila 2 | 22,2                 | 20,5   | 26,5    | 45                             | 38     | 54      |
| Eristystila 3 | 21,7                 | 20,6   | 26,4    | -                              | -      | -       |

#### 6.1.2 Paine-erot

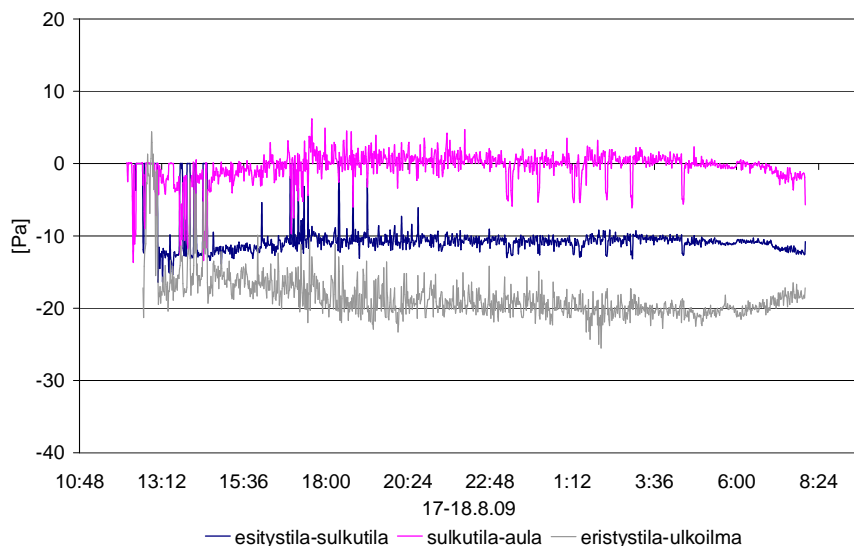
Eristystiloista mitatut paine-erojen keskiarvot, minimi ja maksimit, on esitetty taulukossa 6.2.

Taulukko 6.2. Sairaala A: Mitatut paine-erot eristystiloissa.

| Mittauspiste             | Paine-ero [Pa] |        |         |
|--------------------------|----------------|--------|---------|
|                          | keskiarvo      | minimi | maksimi |
| <b>Eristystila 1</b>     |                |        |         |
| Eristystila – sulku-tila | -10,5          | -16,4  | 0,0     |
| Sulku-tila – käytävä     | -0,6           | -13,5  | 6,1     |
| Eristystila – käytävä    | -11,1          | -18,7  | 0,1     |
| Eristystila – ulkoilma   | -18,4          | -25,5  | 4,4     |
| <b>Eristystila 2</b>     |                |        |         |
| Eristystila – sulku-tila | 1,0            | -0,2   | 5,1     |
| Sulku-tila – käytävä     | -1,2           | -5,8   | 5,4     |
| Eristystila – käytävä    | -0,2           | -3,8   | 5,2     |
| Eristystila – ulkoilma   | -10,7          | -54,8  | 5,5     |
| <b>Eristystila 3</b>     |                |        |         |
| Eristystila – sulku-tila | -9,4           | -15,7  | -6,2    |
| Sulku-tila – käytävä     | -2,4           | -10,3  | 0,1     |
| Eristystila – käytävä    | -11,8          | -22,2  | -7,2    |
| Eristystila – ulkoilma   | -              | -      | -       |

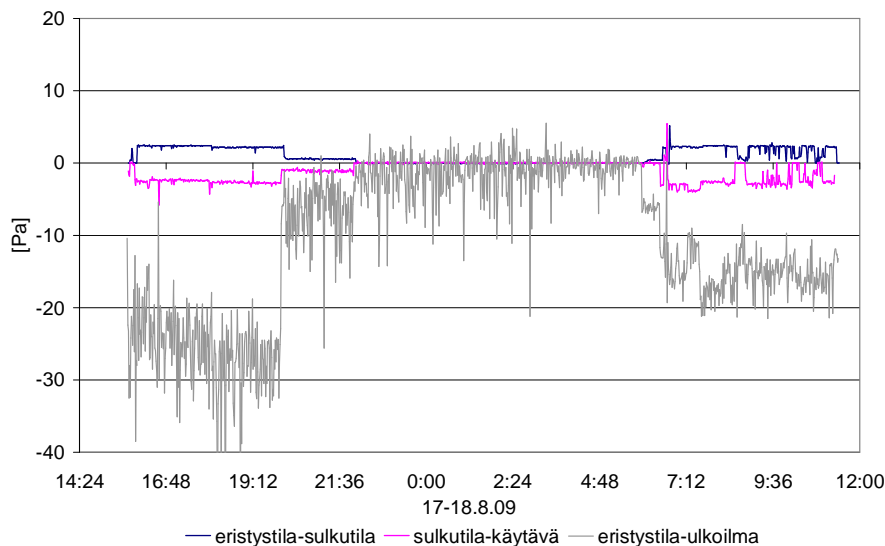
Eristystilassa 1 paine-eroa mitattiin koeluonteisesti oven alaosan lisäksi oviaukon yläosasta. Mittaustulokset olivat samaa suuruusluokkaa oviaukon ala- ja yläosan mittauspisteessä.

Eristystila 1 oli keskimäärin noin 11 Pa alipaineinen sulku-tilaan nähden. Sulku-tilan ja käytävän välillä keskimääräinen paine-ero oli noin -1 Pa, ja se vaihteli ali- ja ylipaineen välillä. Paine-erojen vaihtelu mittausjaksolla on esitetty kuvassa 6.1.



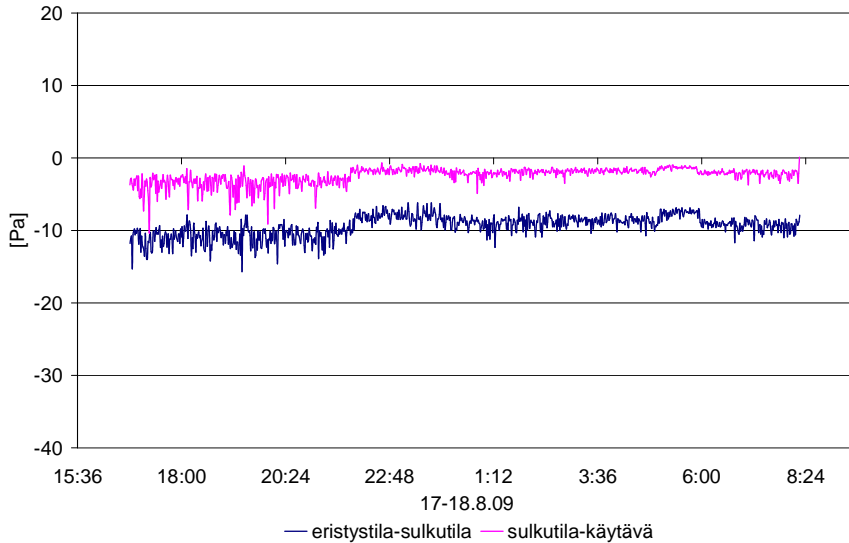
Kuva 6.1. Sairaala A: Eristystilasta 1 mitatut paine-erot.

Eristystilassa 2 paine-eroa ei käytävään nähden juuri ollut. Päiväaikaan eristystila oli sulkutilaan nähden noin 2–3 Pa ylipaineinen ja sulkutila käytävään nähden vastaavasti alipaineinen. Sulkutilassa oli poikkeuksellisesti WC:n ovi ja eristystilassa ylimääräinen ovi käytävään. Savukokeiden mukaan ilma kulkeutui sulkutilasta WC-tilaan. Paine-erojen vaihtelu mittausjaksolla on esitetty kuvassa 6.2.



Kuva 6.2. Sairaala A: Eristystilasta 2 mitatut paine-erot.

Eristystila 3 oli sulkutilaan nähden keskimäärin noin 9 Pa alipaineinen ja sulkutila käytävään verrattuna noin 2 Pa alipaineinen. Paine-erojen vaihtelu mittausjaksolla on esitetty kuvassa 6.3.



Kuva 6.3. Sairaala A: Eristystilasta 3 mitatut paine-erot.

### 6.1.3 Ilmanvaihto

Eristystilojen mitatut tulo- ja poistoilmavirrat sekä isommasta tulo tai poistoilmavirrasta laskettu ilmanvaihtokerroin on esitetty taulukossa 6.3. Ilmanvaihtokertoimet vaihtelivat huomattavasti (5–21 1/h) eristystilojen välillä.

Taulukko 6.3. Sairaala A: Mitatut tulo- ja poistoilmavirrat ja laskettu ilmanvaihtokerroin.

| Mittauspiste               | Tuloilmavirta        |                                     | Poistoilmavirta      |                                     | Ilmanvaihtokerroin | Tulo- ja poistoilmavirtojen erotus |                                     |
|----------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
|                            | [dm <sup>3</sup> /s] | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] | [dm <sup>3</sup> /s] | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] |                    | [dm <sup>3</sup> /s]               | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] |
| Eristystila 1              | 146                  | 6                                   | 182                  | 8                                   | 11                 | -36                                | -2                                  |
| WC                         | -                    | -                                   | 34                   | 7                                   | 9                  | -34                                | -7                                  |
| Eristystila + WC           | 146                  | 5                                   | 216                  | 8                                   | -                  | -70                                | -3                                  |
| Sulkutila                  | 56                   | 9                                   | 52                   | 8                                   | 12                 | 4                                  | 1                                   |
| Eristystila 2              | 47                   | 3                                   | 48                   | 3                                   | 5                  | -1                                 | 0                                   |
| WC                         | -                    | -                                   | 32                   | 6                                   | 8                  | -32                                | -6                                  |
| Eristystila + WC           | 47                   | 2                                   | 80                   | 4                                   | -                  | -33                                | -2                                  |
| Sulkutila                  | 22                   | 4                                   | 28                   | 5                                   | 8                  | -5                                 | -1                                  |
| Eristystila 3              | 166                  | 16                                  | 153                  | 15                                  | 21                 | 13                                 | 1                                   |
| WC                         | -                    | -                                   | 52                   | 17                                  | 28                 | -52                                | -17                                 |
| Eristystila + WC           | 166                  | 13                                  | 205                  | 16                                  | -                  | -39                                | -3                                  |
| Sulkutila                  | 31                   | 6                                   | 39                   | 7                                   | 11                 | -8                                 | -1                                  |
| Eristystila 3 <sup>1</sup> | 140                  | 14                                  | 109                  | 11                                  | 18                 | 30                                 | 3                                   |
| WC                         | -                    | -                                   | 36                   | 12                                  | 20                 | -36                                | -12                                 |
| Eristystila + WC           | 140                  | 11                                  | 145                  | 11                                  | -                  | -5                                 | 0                                   |
| Sulkutila                  | 30                   | 5                                   | 30                   | 5                                   | 8                  | 0                                  | 0                                   |

<sup>1</sup> Tila säädetty ylipainaiseksi

#### 6.1.4 Tiiviysmittaukset

Tiiviysmittausten tulokset on esitetty taulukossa 6.4. Mitatut ilmavuotoluvut  $n_{50}$  olivat eristystiloissa 1 ja 3 hieman alle 4 1/h. Eristystila 2 oli huomattavasti epätiivimpi ( $n_{50}$ -vuotoluku oli noin 16 1/h). Tilan tiiviyttä heikensi potilashuoneessa oleva ylimääräinen ovi käytävään ja sulkutilassa oleva ylimääräinen ovi WC-tilaan.

*Taulukko 6.4. Sairaala A: Mitatut  $n_{50}$ -ilmavuotoluvut.*

| Mittauspiste  |                             | $n_{50}$ [1/h]<br>alipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>ylipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>keskiarvo |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Eristystila 1 | sulku + eristystila<br>+ WC | 3,7                        | 3,6                        | 3,7                         |
| Eristystila 1 | eristystila + WC            | 3,9                        | 3,9                        | 3,9                         |
| Eristystila 2 | eristystila + WC            | 15,8                       | -                          | 15,8                        |
| Eristystila 3 | sulku + eristystila<br>+ WC | 2,5                        | 4,2                        | 3,4                         |
| Eristystila 3 | eristystila + WC            | 3,3                        | 4,2                        | 3,8                         |

## 6.2 Sairaalan B mittaustulokset

Sairaalan B mittaukset tehtiin 17.–19.8.2010. Sairaalassa toiminta mittauksen aikana oli tavanomaista. Eristyshuoneissa ei ollut mittauksen aikana potilaita.

### 6.2.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

Tilojen mitatut ilman lämpötilat vaihtelivat noin 21–24 °C välillä ja olivat keskimäärin oli noin 23 °C astetta. Ilman suhteellinen kosteus vaihteli 25–55 % välillä. Ulkoilman lämpötila oli keskimäärin 17 °C (7–35 °C). Lämpötilan maksimiarvoon on mahdollisesti vaikuttanut auringon suora säteily. Huoneilman lämpötilan keskiarvot, minimi ja maksimit mitausjaksolta, on esitetty taulukossa 6.5.

*Taulukko 6.5. Sairaala B: Mitatut ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.*

| Mittauspiste  | Ilman lämpötila [°C] |        |         | Ilman suhteellinen kosteus [%] |        |         |
|---------------|----------------------|--------|---------|--------------------------------|--------|---------|
|               | keskiarvo            | minimi | maksimi | keskiarvo                      | minimi | maksimi |
| Eristystila 2 | 22,6                 | 21,8   | 23,7    | 34                             | 25     | 45      |
| Eristystila 3 | 22,6                 | 21,1   | 24,1    | 43                             | 25     | 55      |
| Eristystila 4 | 22,7                 | 21,4   | 24,4    | 33                             | 24     | 43      |

Eristystilassa 1 ei tehty lämpötilaseurantaa.



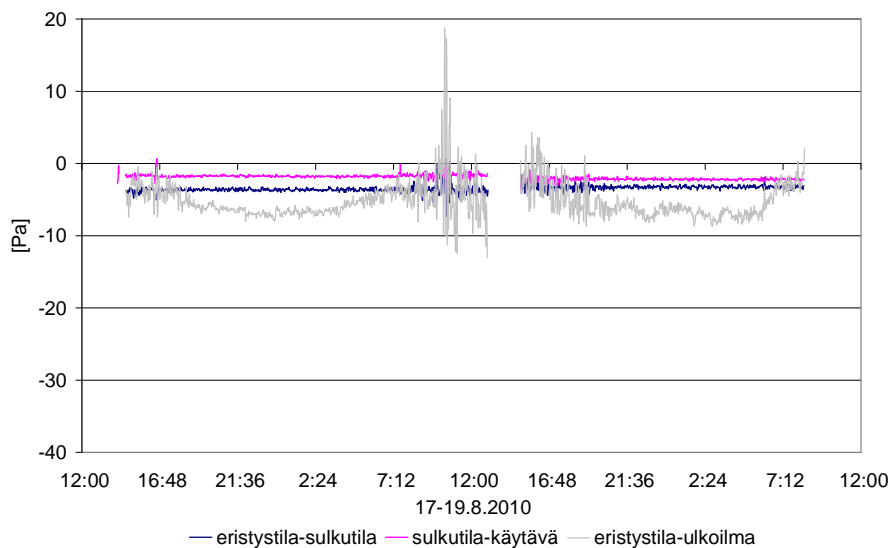
## 6.2.2 Paine-erot

Eristystiloista mitatut paine-erojen keskiarvot, minimit ja maksimit on esitetty taulukossa 6.6.

*Taulukko 6.6. Sairaala B: Mitatut paine-erot eristystiloissa.*

| Mittauspiste             | Paine-ero [Pa] |        |         |
|--------------------------|----------------|--------|---------|
|                          | keskiarvo      | minimi | maksimi |
| <b>Eristystila 2</b>     |                |        |         |
| Eristystila – sulku tila | -4,0           | -6,3   | 0,0     |
| Sulku tila – käytävä     | -1,1           | -2,4   | 0,3     |
| Eristystila – käytävä    | -5,1           | -7,2   | -1,6    |
| Eristystila – ulkoilma   | -3,7           | -9,2   | 8,2     |
| <b>Eristystila 3</b>     |                |        |         |
| Eristystila – sulku tila | -3,5           | -7,3   | 0,5     |
| Sulku tila – käytävä     | -1,9           | -4,0   | 0,6     |
| Eristystila – käytävä    | -5,1           | -9,1   | 0,0     |
| Eristystila – ulkoilma   | -5,3           | -13,0  | 18,7    |
| <b>Eristystila 4</b>     |                |        |         |
| Eristystila – sulku tila | -3,6           | -7,8   | 0,0     |
| Sulku tila – käytävä     | -1,5           | -5,4   | 6,7     |
| Eristystila – käytävä    | -4,9           | -5,4   | 0,7     |
| Eristystila – ulkoilma   | -5,8           | -16,5  | 15,9    |

Eristystilojen paine-ero sulku tilaan nähden oli noin -4 Pa ja käytävään nähden noin -5 Pa. Paine-erot pysyivät tasaisina mittauksen ajan. Esimerkki paine-erojen vaihtelusta mittausjaksolla on esitetty kuvassa 6.4.



Kuva 6.4. Sairaala B: Eristystilasta 4 mitatut paine-erot.

### 6.2.3 Ilmanvaihto

Eristystilojen mitatut tulo- ja poistoilmavirrat sekä isommasta tulo- tai poistoilmavirrasta laskettu ilmanvaihtokerroin on esitetty taulukossa 6.7. Ilmanvaihtokerroimet uudemmissa (2009) eristystiloissa olivat noin 12 1/h ja vanhemmassa eristystilassa (1994) hieman alle 3 1/h.

Taulukko 6.7. Sairaala B: Mitatut tulo- ja poistoilmavirrat ja laskettu ilmanvaihtokerroin.

| Mittauspiste     | Tuloilmavirta        |                                     | Poistoilmavirta      |                                     | Ilmanvaihtokerroin | Tulo- ja poistoilmavirran erotus |                      |
|------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------|
|                  | [dm <sup>3</sup> /s] | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] | [dm <sup>3</sup> /s] | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] |                    | [1/h]                            | [dm <sup>3</sup> /s] |
| Eristystila 1    | 26                   | 2                                   | 11                   | 1                                   | 3                  | 15                               | 1                    |
| WC               | -                    | -                                   | 18                   | 4                                   | 5                  | -18                              | -4                   |
| Eristystila + WC | 26                   | 2                                   | 29                   | 2                                   | -                  | -3                               | -0                   |
| Sulkutila        | 22                   | 4                                   | 21                   | 4                                   | 6                  | 1                                | 0                    |
| Eristystila 2    | 123                  | 10                                  | 103                  | 8                                   | 13                 | 20                               | 2                    |
| WC               | -                    | -                                   | 35                   | 7                                   | 10                 | -35                              | -7                   |
| Eristystila + WC | 123                  | 7                                   | 138                  | 8                                   | -                  | -15                              | -1                   |
| Sulkutila        | 20                   | 5                                   | 19                   | 5                                   | 7                  | 1                                | 0                    |
| Eristystila 3    | 113                  | 10                                  | 99                   | 8                                   | 12                 | 14                               | 1                    |
| WC               | -                    | -                                   | 43                   | 9                                   | 14                 | -43                              | -9                   |
| Eristystila + WC | 113                  | 7                                   | 142                  | 9                                   | -                  | -29                              | -2                   |
| Sulkutila        | 16                   | 3                                   | 15                   | 3                                   | 5                  | 1                                | 0                    |
| Eristystila 4    | 113                  | 9                                   | 79                   | 6                                   | 11                 | 34                               | 3                    |
| WC               | -                    | -                                   | 40                   | 8                                   | 12                 | -40                              | -8                   |
| Eristystila + WC | 113                  | 7                                   | 120                  | 7                                   | -                  | -6                               | 0                    |
| Sulkutila        | 22                   | 5                                   | 20                   | 5                                   | 7                  | 2                                | 1                    |

#### 6.2.4 Tiiviysmittaukset

Tiiviysmittausten tulokset on esitetty taulukossa 6.8. Uudempien eristystilojen  $n_{50}$  luvut olivat tasolla 3–4 1/h ja vanhemmassa eristystilassa  $n_{50}$ -vuotoluku oli 6 1/h. Pienten selvimpien vuotokohtien (ikkunarakenteissa, sähköasiat tms.) tiivistämisellä ei ollut suurta vaikutusta  $n_{50}$ -vuotolukuun.

Taulukko 6.8. Sairaala B: Mitatut  $n_{50}$ -ilmavuotoluvut.

| Mittauspiste  |   | $n_{50}$ [1/h]<br>alipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>ylipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>keskiarvo |
|---------------|---|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Eristystila 1 | sulku + eristysti-<br>la + WC                         | 6,0                        | -                          | 6,0                         |
| Eristystila 2 | sulku + eristysti-<br>la + WC                         | 3,6                        | -                          | 3,6                         |
| Eristystila 2 | sulku + eristysti-<br>la                              | 3,4                        | 4,2                        | 3,8                         |
| Eristystila 2 | eristystila   | 3,3                        | 3,8                        | 3,6                         |
| Eristystila 2 | eristystila (tiivis-<br>tyksiä)                       | 3,2                        | -                          | 3,2                         |
| Eristystila 3 | sulku + eristysti-<br>la + WC                         | 3,1                        | -                          | 3,1                         |
| Eristystila 3 | sulku + eristysti-<br>la + WC (tehty<br>tiivistyksiä) | 3,0                        | 3,8                        | 3,4                         |
| Eristystila 4 | sulku + eristysti-<br>la + WC                         | 3,3                        | 3,9                        | 3,6                         |

## 6.3 Sairaalan C mittaustulokset

Sairaalan C mittaukset tehtiin 10.–12.11.2010. Sairaala oli äskettäin otettu käyttöön ja eristysuoneet olivat mittausajankohtana toimistokäytössä. Ilmanvaihto oli kuitenkin eristystilatoimintaa vastaava.

### 6.3.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

Tilojen mitatut ilman lämpötilat vaihtelivat noin 20–23 °C välillä keskiarvojen ollessa noin 22 °C. Ilman suhteellinen kosteus oli keskimäärin noin 20 %. Ulkoilman lämpötila oli keskimäärin 4 °C (1–6 °C). Huoneilman lämpötilan keskiarvot, minimi ja maksimit mittausjaksolta, on esitetty taulukossa 6.9.

Taulukko 6.9. Sairaala C: Mitatut ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.

| Eristystila   | Ilman lämpötila [°C] |        |         | Ilman suhteellinen kosteus [%] |        |         |
|---------------|----------------------|--------|---------|--------------------------------|--------|---------|
|               | keskiarvo            | minimi | maksimi | keskiarvo                      | minimi | maksimi |
| Eristystila 1 | 22,5                 | 22,1   | 23,4    | 23                             | 18     | 29      |
| Eristystila 2 | 22,0                 | 20,0   | 23,9    | 25                             | 19     | 34      |
| Eristystila 3 | 22,1                 | 21,8   | 22,7    | -                              | -      | -       |

### 6.3.2 Paine-erot

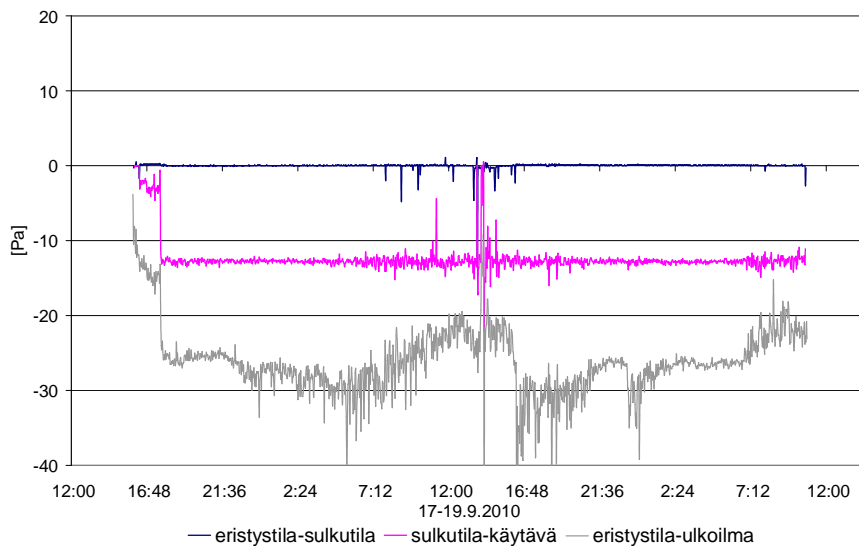
Eristystiloista mitatut paine-erojen keskiarvot, minimit ja maksimit on esitetty taulukossa 6.10.

Taulukko 6.10. Sairaala C: Mitatut paine-erot eristystiloissa.

| Mittauspiste            | Paine-ero [Pa]    |        |         |
|-------------------------|-------------------|--------|---------|
|                         | keskiarvo         | minimi | maksimi |
| Eristystila 1           |                   |        |         |
| Eristystila – sulkutila | -1,5 <sup>1</sup> | 27,6   | 7,4     |
| Sulkutila – käytävä     | -10,8             | -16,7  | 0,0     |
| Eristystila – käytävä   | -12,3             | -27,6  | 0,6     |
| Eristystila – ulkoilma  | -26,0             | -39,4  | -7,7    |
| Eristystila 2           |                   |        |         |
| Eristystila – sulkutila | 3,5               | -10,8  | 25,4    |
| Sulkutila – käytävä     | -16,0             | -33,7  | 0,4     |
| Eristystila – käytävä   | -12,5             | -18,5  | 17,4    |
| Eristystila – ulkoilma  | -26,2             | -43,9  | -0,2    |
| Eristystila 3           |                   |        |         |
| Eristystila – sulkutila | 0,0               | -13,3  | 1,1     |
| Sulkutila – käytävä     | -12,3             | -21,6  | 0,0     |
| Eristystila – käytävä   | -12,3             | -30,2  | 1,0     |
| Eristystila – ulkoilma  | -26,0             | -48,0  | -3,8    |

<sup>1</sup> Paine-ero suurimman osan aikaa noin +0,5 Pa.

Paine-erot pysyivät mittauksen aikana tasaisina. Kaikki eristystilat olivat käytävään nähden noin 12 Pa alipaineisia. Paine-ero muodostui käytännössä sulkutilan ja käytävän välille. Eristystilan ja sulkutilan välillä paine-eroa ei ollut tai eristystila oli hieman ylipaineinen sulkutilaan nähden suurimman osan aikaa mittauksista. Esimerkki paine-erojen vaihtelusta mittausjaksolla on esitetty kuvassa 6.5.



Kuva 6.5. Sairaala C: Eristystilan 3 mitatut paine-erot.

### 6.3.3 Ilmanvaihto

Eristystilojen mitatut tulo- ja poistoilmavirrat sekä isommasta tulo tai poistoilmavirrasta laskettu ilmanvaihtokerroin on esitetty taulukossa 6.11. Eristystilojen ilmanvaihtokertoimet olivat samaa suuruusluokkaa (12–14 1/h) mitatuissa tiloissa.

Taulukko 6.11. Sairaala C: Mitatut tulo- ja poistoilmavirrat ja laskettu ilmanvaihtokerroin.

| Mittauspiste     | Tuloilmavirta        |                                     | Poistoilmavirta      |                                     | Ilmanvaihtokerroin | Tulo- ja poistoilmavirran erotus |                                     |
|------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
|                  | [dm <sup>3</sup> /s] | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] | [dm <sup>3</sup> /s] | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] |                    | [dm <sup>3</sup> /s]             | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] |
| Eristystila 1    | 195                  | 9                                   | 138                  | 7                                   | 12                 | 57                               | 3                                   |
| WC               | 18                   | 2                                   | 51                   | 7                                   | 10                 | -33                              | -4                                  |
| Eristystila + WC | 213                  | 7                                   | 189                  | 7                                   | -                  | 24                               | 1                                   |
| Sulkutila        | 40                   | 6                                   | 58                   | 9                                   | 14                 | -18                              | -3                                  |
| Eristystila 2    | 197                  | 9                                   | 226                  | 11                                  | 14                 | -29                              | -1                                  |
| WC               | 13                   | 2                                   | 57                   | 7                                   | 11                 | -44                              | -6                                  |
| Eristystila + WC | 210                  | 7                                   | 283                  | 10                                  | -                  | -73                              | -3                                  |
| Sulkutila        | 36                   | 6                                   | 63                   | 10                                  | 15                 | -27                              | -4                                  |
| Eristystila 3    | 157                  | 8                                   | 212                  | 10                                  | 13                 | -55                              | -3                                  |
| WC               | 15                   | 2                                   | 55                   | 7                                   | 10                 | -40                              | -5                                  |
| Eristystila + WC | 172                  | 6                                   | 267                  | 9                                   | -                  | -96                              | -3                                  |
| Sulkutila        | 39                   | 6                                   | 58                   | 9                                   | 14                 | -20                              | -3                                  |

### 6.3.4 Tiiviysmittaukset

Tiiviysmittausten tulokset on esitetty taulukossa 6.12. Mitatut  $n_{50}$ -ilmavuotoluvut olivat noin 3 1/h.

Taulukko 6.12. Sairaala B: Mitatut  $n_{50}$ -ilmavuotoluvut.

| Mittauspiste  |                          | $n_{50}$ [1/h]<br>alipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>ylipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>keskiarvo |
|---------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Eristystila 1 | sulku + eristystila + WC | 2,5                        | 2,6                        | 2,6                         |
| Eristystila 2 | sulku + eristystila + WC | 3,5                        | (5,0*)                     | 3,5                         |
| Eristystila 3 | sulku + eristystila + WC | 3,5                        | (5,2 <sup>1</sup> )        | 3,5                         |

<sup>1</sup> Mittauksen jälkeen havaittiin ilmanvaihtuventtiilien tiivistysten vuotaneen.

## 6.4 Sairaala D

Sairaalan D mittaukset tehtiin 29.–30.9.2009. Sairaalassa toiminta mittauksen aikana oli tavanomaista. Eristyshuoneissa ei ollut mittauksen aikana potilaita.

### 6.4.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

Tilojen mitatut ilman lämpötilat vaihtelivat noin 21–25 °C välillä ja olivat keskimäärin 22–23 °C. Ilman suhteellinen kosteus oli keskimäärin noin 30 %. Ulkoilman lämpötila oli keskimäärin 11 °C (7–15 °C). Huoneilman lämpötilan keskiarvot, minimi ja maksimit mittaussyksöiltä, on esitetty taulukossa 6.13.

*Taulukko 6.13. Sairaala D: Mitatut ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.*

| Mittauspiste  | Ilman lämpötila [°C] |        |         | Ilman suhteellinen kosteus [%] |        |         |
|---------------|----------------------|--------|---------|--------------------------------|--------|---------|
|               | keskiarvo            | minimi | maksimi | keskiarvo                      | minimi | maksimi |
| Eristystila 1 | 21,6                 | 21,1   | 22,7    | 34                             | 28     | 44      |
| Eristystila 2 | 22,2                 | 21,8   | 25,4    | 31                             | 27     | 38      |
| Eristystila 3 | 22,6                 | 22,1   | 23,7    | 34                             | 28     | 50      |

### 6.4.2 Paine-erot

Eristystiloista mitatut paine-erojen keskiarvot, minimi ja maksimit on esitetty taulukossa 6.14.

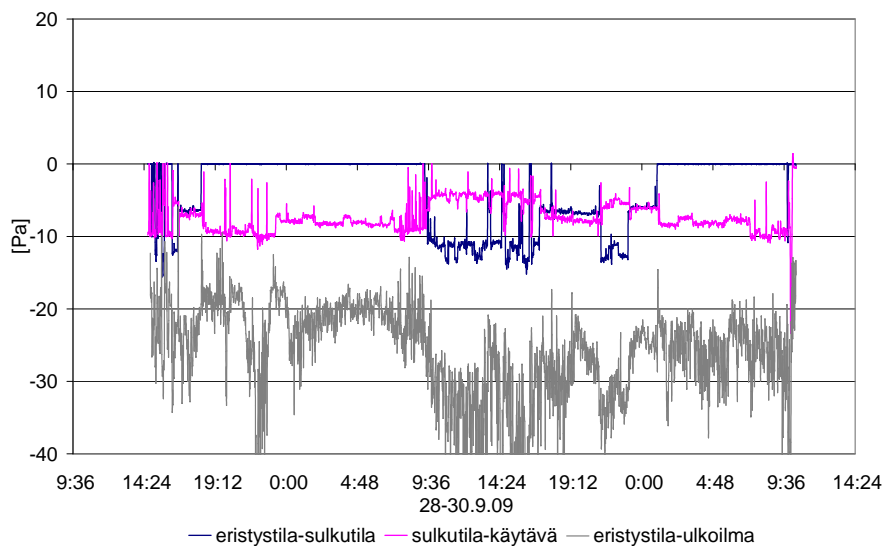


Taulukko 6.14. Sairaala D: Mitatut paine-erot eristystiloissa.

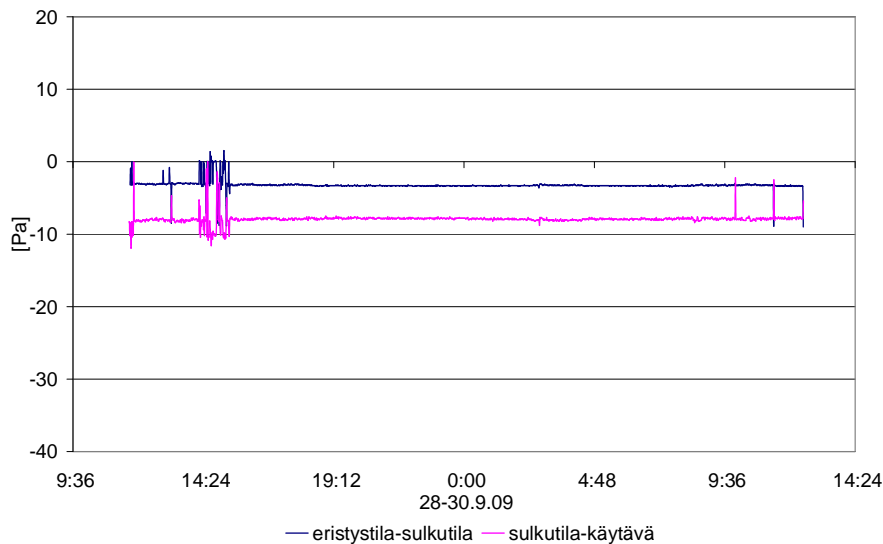
| Mittauspiste             | Paine-ero [Pa] |        |         |
|--------------------------|----------------|--------|---------|
|                          | keskiarvo      | minimi | maksimi |
| <b>Eristystila 1</b>     |                |        |         |
| Eristystila – sulku tila | -3,8           | -15,6  | 0,2     |
| Sulku tila – käytävä     | -7,3           | -23,4  | 1,4     |
| Eristystila – käytävä    | -11,1          | 25,6   | 1,4     |
| Eristystila – ulkoilma   | -26,0          | -96,7  | -6,1    |
| <b>Eristystila 2</b>     |                |        |         |
| Eristystila – sulku tila | -3,2           | -9,0   | 1,5     |
| Sulku tila – käytävä     | -7,9           | -11,9  | 0,0     |
| Eristystila – käytävä    | -11,1          | -15,1  | -1,2    |
| Eristystila – ulkoilma   | -              | -      | -       |
| <b>Eristystila 3</b>     |                |        |         |
| Eristystila – sulku tila | -1,6           | -5,1   | 7,3     |
| Sulku tila – käytävä     | -0,8           | -6,2   | 13,3    |
| Eristystila – käytävä    | -2,3           | -6,6   | 13,8    |
| Eristystila – ulkoilma   | -0,2           | -6,6   | 15,8    |

Eristystilat 1 ja 2 olivat käytävään nähden noin 11 Pa alipaineisia. Eristystilassa 1 vaihtelu oli suurempaa, kun taas tilassa 2 paine-erot pysyivät tasaisina. Eristystilassa 2 eristystilan ja sulku tilan välinen paine-ero oli 0 Pa suurelta osin mittausta.

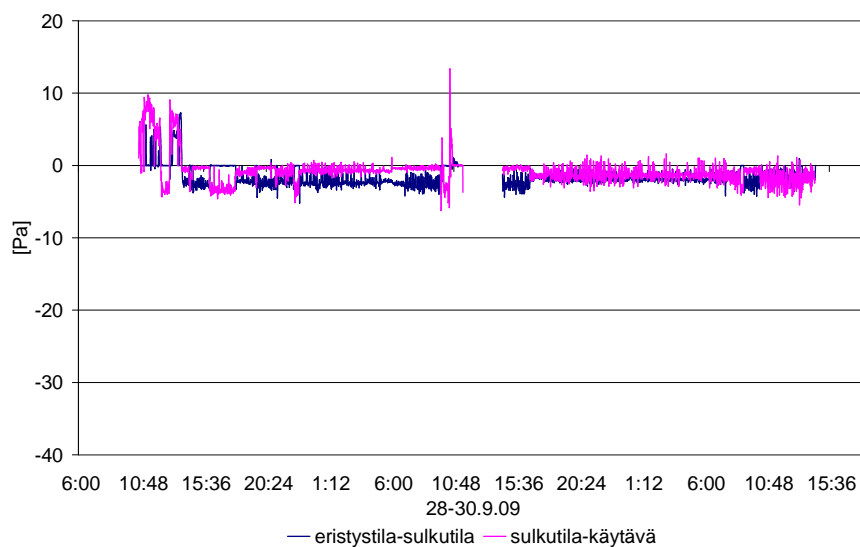
Eristystilan 3 mitatut paine-erot olivat pieniä ja eristystila oli käytävään nähden hieman alle 2 Pa alipaineinen. Tilassa kiinteästi oleva paine-eromittari (myös kiinteistön valvomoissa) näytti noin -8 Pa paine-eroa, kun tilan kaikki ovet olivat auki käytävälle. Paine-erojen vaihtelu mittausjaksolla on esitetty kuvissa 6.6.



Kuva 6.6. Sairaala D: Eristystilan 1 mitatut paine-erot.



Kuva 6.7. Sairaala D: Eristystilan 2 mitatut paine-erot.



Kuva 6.8. Sairaala D: Eristystilan 3 mitatut paine-erot (eristystilan ja ulkoilman välistä paine-eroa ei ole esitetty, koska se menee muiden paine-eromittausten päälle).

### 6.4.3 Ilmanvaihto

Eristystilojen mitatut tulo- ja poistoilmavirrat sekä isommasta tulo- tai poistoilmavirrasta laskettu ilmanvaihtokerroin on esitetty taulukossa 6.15. Eristystilojen ilmanvaihtokertoimet vaihtelivat välillä 3–7 1/h.

*Taulukko 6.15. Sairaala D: Mitatut tulo- ja poistoilmavirrat ja laskettu ilmanvaihtokerroin.*

| Mittauspiste     | Tuloilmavirta        |                                     | Poistoilmavirta      |                                     | Ilmanvaihtokerroin | Tulo- ja poistoilmavirran erotus |                                     |
|------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
|                  | [dm <sup>3</sup> /s] | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] | [dm <sup>3</sup> /s] | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] |                    | [dm <sup>3</sup> /s]             | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] |
| Eristystila 1    | 53                   | 2                                   | 54                   | 2                                   | 3                  | -1                               | 0                                   |
| WC               | -                    | -                                   | 48                   | 13                                  | 21                 | -48                              | -13                                 |
| Eristystila + WC | 53                   | 2                                   | 102                  | 4                                   | -                  | -49                              | -2                                  |
| Sulkutila        | 18                   | 4                                   | 19                   | 4                                   | 7                  | -1                               | 0                                   |
| Eristystila 2    | 77                   | 4                                   | 113                  | 5                                   | 7                  | -36                              | -2                                  |
| WC               | 28                   | 6                                   | 81                   | 17                                  | 25                 | -54                              | -11                                 |
| Eristystila + WC | 105                  | 4                                   | 194                  | 8                                   | -                  | -90                              | -4                                  |
| Sulkutila        | 25                   | 4                                   | 43                   | 6                                   | 9                  | -18                              | -3                                  |
| Eristystila 3    | 56                   | 3                                   | 26                   | 1                                   | 4                  | 31                               | 2                                   |
| WC               | -                    | -                                   | 31                   | 11                                  | 15                 | -31                              | -11                                 |
| Eristystila + WC | 56                   | 3                                   | 56                   | 3                                   | -                  | 0                                | 0                                   |
| Sulkutila        | 15                   | 5                                   | 13                   | 5                                   | 8                  | 2                                | 1                                   |

#### 6.4.4 Tiiviysmittaukset

Tiiviysmittausten tulokset on esitetty taulukossa 6.16. Eristystilojen  $n_{50}$ -vuotoluvut vaihtelivat noin 4–6 1/h välillä.

*Taulukko 6.16. Sairaala D: Mitatut  $n_{50}$ -ilmavuotoluvut.*

| Mitattu tila  |                          | $n_{50}$ [1/h]<br>alipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>ylipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>keskiarvo |
|---------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Eristystila 1 | sulku + eristystila + WC | 3,5                        | 4,0                        | 3,8                         |
| Eristystila 2 | sulku + eristystila + WC | -                          | 6,2                        | 6,2                         |
| Eristystila 3 | sulku + eristystila + WC | 6,7                        | 6,0                        | 6,4                         |

## 6.5 Sairaala E

Sairaalassa E tiiviysmittaukset tehtiin 27.5.2010, jolloin tilat olivat alas laskettuja kattoja vailla valmiit, ja tiiviysmittaus sekä muita mittauksia 12.–13.10.2010 (A) ja 26.–27.10.2010 (B), kun eristystilat olivat täysin valmiit. Sairaalassa ei ollut tavanomaista toimintaa, vaan tiloja viimeisteltiin käyttöönottoa varten.

### 6.5.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

Tilojen mitatut ilman lämpötilat olivat eristystiloissa 4 ja 6 keskimäärin 22–23 °C. Tilan 1 lämpötila oli korkeampi ollen keskimäärin vajaat 27 °C, joka saattoi johtua rakentamisen aikaista olosuhteista. Ilman suhteellinen kosteus oli noin 20–30 %. Ulkoilman lämpötila jaksoilla oli keskimäärin 2 °C (0–9 °C) ja 3 °C (1–6 °C). Huoneilman lämpötilan keskiarvot, minimi ja maksimit, mittausjaksolta on esitetty taulukossa 6.17.

*Taulukko 6.17. Sairaala E: Mitatut ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.*

| Eristystila       | Ilman lämpötila [°C] |        |         | Ilman suhteellinen kosteus[%] |        |         |
|-------------------|----------------------|--------|---------|-------------------------------|--------|---------|
|                   | keskiarvo            | minimi | maksimi | keskiarvo                     | minimi | maksimi |
| Eristystila 1 (A) | 26,5                 | 25,0   | 26,8    | -                             | -      | -       |
| Eristystila 4 (A) | 22,6                 | 22,1   | 25,1    | 19                            | 17     | 31      |
| Eristystila 6 (B) | 22,2                 | 21,8   | 22,9    | 25                            | 20     | 24      |

### 6.5.2 Paine-erot

Eristystiloista mitatut paine-erojen keskiarvot, minimi ja maksimit, on esitetty taulukossa 6.18.

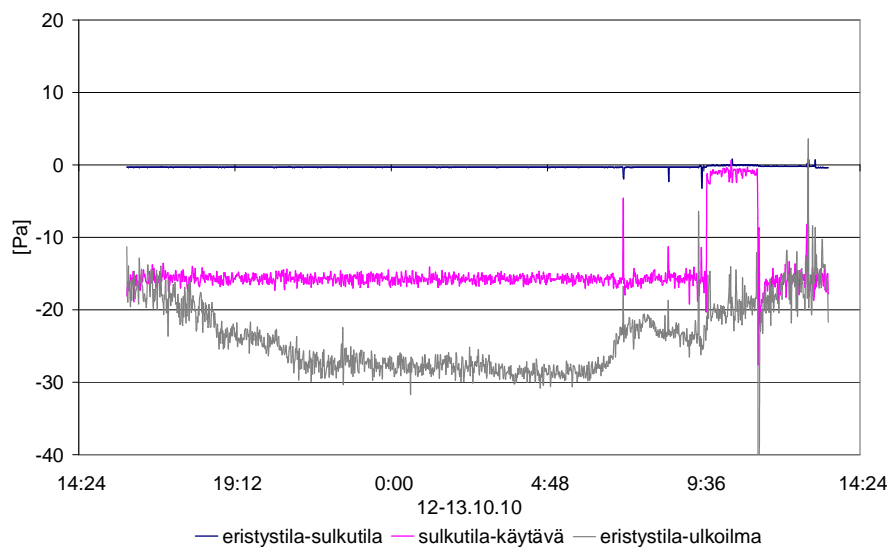
Taulukko 6.18. Sairaala E: Mitatut paine-erot eristystiloissa.

| Mittauspiste                       | Paine-ero [Pa] |        |         |
|------------------------------------|----------------|--------|---------|
|                                    | keskiarvo      | minimi | maksimi |
| <b>Eristystila 1 (A)</b>           |                |        |         |
| Eristystila – sulkutila            | -0,3           | -3,2   | 0,8     |
| Sulkutila – käytävä                | -14,7          | -27,6  | 0,9     |
| Eristystila – käytävä              | -15,0          | -27,7  | 0,8     |
| Eristystila – ulkoilma             | -24,0          | -68,3  | 3,6     |
| <b>Eristystila 4 (A)</b>           |                |        |         |
| Eristystila – sulkutila            | -0,1           | -24,0  | 1,1     |
| Sulkutila – käytävä                | -14,6          | -25,1  | 2,3     |
| Eristystila – käytävä              | -14,7          | -25,1  | 2,3     |
| Eristystila – ulkoilma             | -              | -      | -       |
| <b>Eristystila 6 (B)</b>           |                |        |         |
| Eristystila – sulkutila            | -13,7          | -24,0  | 0,3     |
| Sulkutila – käytävä                | -15,5          | -27,0  | 0,3     |
| Eristystila – käytävä              | -29,2          | -45,3  | -0,1    |
| Eristystila – käytävä <sup>1</sup> | -15,5          | -27,5  | -0,1    |

<sup>1</sup> Eristystilassa oli toinen ovi ulos johtavaan käytävään ilman sulkutilaa.

Paine-erot pysyivät mittausjaksolla tasaisina. Eristystilat 1 ja 4 olivat alipaineisia käytävään nähden noin 15 Pa. Eristystilan ja sulkutilan välillä paine-ero oli lähellä nollaa. Esimerkki paine-erojen vaihtelusta mittausjaksolla on esitetty kuvassa 6.9.

Eristystila 6 oli osaston käytävälle noin 30 Pa ja ulosjohtavaan käytävään noin 15 Pa alipaineinen. Sulkutila oli noin 15 Pa alipaineinen osaston käytävään nähden. Eristystila oli suunniteltu poikkeuksellisen vaativaan käyttöön. Eristystilaan pääsi sairaalan käytävän ja sulkutilan kautta tai suoraan ulkoa tulevan käytävän kautta.



Kuva 6.9. Sairaala E: Eristystilan 4 mitatut paine-erot.

### 6.5.3 Ilmanvaihto

Eristystilojen mitatut tulo- ja poistoilmavirrat sekä isommasta tulo- tai poistoilmavirrasta laskettu ilmanvaihtokerroin on esitetty taulukossa 6.19. Eristystilojen ilmanvaihtokertoimet vaihtelivat 7–10 1/h välillä eli suuria eroja tilojen kesken ei ollut.

Taulukko 6.19. Sairaala E: Mitatut tulo- ja poistoilmavirrat ja laskettu ilmanvaihtokerroin.

| Mittauspiste     | Tuloilmavirta        |                                     | Poistoilmavirta      |                                     | Ilmanvaihtokerroin | Tulo- ja poistoilmavirran erotus |                                     |
|------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
|                  | [dm <sup>3</sup> /s] | [dm <sup>3</sup> /s]/m <sup>2</sup> | [dm <sup>3</sup> /s] | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] |                    | [dm <sup>3</sup> /s]             | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] |
| Eristystila 1    | 129                  | 7                                   | 88                   | 5                                   | 9                  | 41                               | 2                                   |
| WC               | -                    | -                                   | 67                   | 11                                  | 16                 | -67                              | -11                                 |
| Eristystila + WC | 129                  | 5                                   | 155                  | 6                                   | -                  | -27                              | -1                                  |
| Sulkutila        | 19                   | 4                                   | 24                   | 5                                   | 8                  | -4                               | -1                                  |
| Eristystila 2    | 123                  | 7                                   | 83                   | 4                                   | 9                  | 40                               | 2                                   |
| WC               | -                    | -                                   | 61                   | 10                                  | 15                 | -61                              | -10                                 |
| Eristystila + WC | 123                  | 5                                   | 144                  | 6                                   | -                  | -21                              | -1                                  |
| Sulkutila        | 19                   | 4                                   | 23                   | 5                                   | 8                  | -5                               | -1                                  |
| Eristystila 3    | 128                  | 7                                   | 90                   | 5                                   | 9                  | 38                               | 2                                   |
| WC               | -                    | -                                   | 73                   | 12                                  | 18                 | -73                              | -12                                 |
| Eristystila + WC | 128                  | 5                                   | 163                  | 7                                   | -                  | -35                              | -1                                  |
| Sulkutila        | 18                   | 4                                   | 24                   | 5                                   | 8                  | -6                               | -1                                  |
| Eristystila 4    | 114                  | 6                                   | 68                   | 4                                   | 8                  | 46                               | 2                                   |
| WC               | -                    | -                                   | 70                   | 11                                  | 16                 | -70                              | -11                                 |
| Eristystila + WC | 114                  | 4                                   | 137                  | 5                                   | -                  | -23                              | -1                                  |
| Sulkutila        | 14                   | 3                                   | 22                   | 5                                   | 7                  | -7                               | -2                                  |
| Potilashuone     | 80                   | 3                                   | 75                   | 3                                   | 4                  | 5                                | 0                                   |
| WC               | -                    | -                                   | 31                   | 6                                   | 8                  | -31                              | -6                                  |
| Eristystila 5    | 129                  | 5                                   | 138                  | 5                                   | 7                  | -8                               | -0                                  |
| WC               | -                    | -                                   | 52                   | 9                                   | 14                 | -52                              | -9                                  |
| Eristystila + WC | 129                  | 4                                   | 190                  | 6                                   | -                  | -60                              | -2                                  |
| Sulkutila        | 52                   | 6                                   | 65                   | 7                                   | 11                 | -13                              | -1                                  |



Taulukko 6.19. Sairaala E: Mitatut tulo- ja poistoilmavirrat ja laskettu ilmanvaihtokerroin. (Jatkuu edelliseltä sivulta.)

| Mittauspiste     | Tuloilmavirta        |                                     | Poistoilmavirta      |                                     | Ilmanvaihtokerroin | Tulo- ja poistoilmavirran erotus |                                     |
|------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
|                  | [dm <sup>3</sup> /s] | [dm <sup>3</sup> /s]/m <sup>2</sup> | [dm <sup>3</sup> /s] | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] |                    | [dm <sup>3</sup> /s]             | [dm <sup>3</sup> /sm <sup>2</sup> ] |
| Eristystila 6    | 140                  | 5                                   | 193                  | 7                                   | 10                 | -53                              | -2                                  |
| WC               | -                    | -                                   | 55                   | 9                                   | 13                 | -55                              | -9                                  |
| Eristystila + WC | 140                  | 4                                   | 248                  | 8                                   | -                  | 108                              | -3                                  |
| Sulkutila        | 68                   | 7                                   | 69                   | 7                                   | 11                 | -1                               | 0                                   |

#### 6.5.4 Tiiviysmittaukset

Tiiviysmittausten tulokset on esitetty taulukossa 6.20. Tiloista mitatut  $n_{50}$ -vuotoluvut olivat tasolla 1–2 1/h. Yhdessä tilassa  $n_{50}$ -luku oli vajaat 4 1/h.

Tiloissa 3 ja 4 mittaus tehtiin ennen kuin alas lasketut katot oli asennettu ja läpivientejä puuttui ja toistettiin, kun tilat olivat täysin valmiit. Tilojen ilmavuotoluvut  $n_{50}$  suurenivat noin 10–20 % eli tilojen tiiviyks hieman huonontui.

Taulukko 6.20. Sairaala E: Mitatut  $n_{50}$ -ilmavuotoluvut.

| Mittauspiste  |  | Tiiviysmittaus 1           |                            |                              | Tiiviysmittaus 2           |                            |                              |
|---------------|--|----------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|
|               |  | $n_{50}$ [1/h]<br>alipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>ylipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>keski-arvo | $n_{50}$ [1/h]<br>alipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>ylipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>keski-arvo |
| Eristystila 1 | sulku + eristystila + WC                   | 1,6                        | 1,8                        | 1,7                          | -                          | -                          | -                            |
| Eristystila 2 | sulku + eristystila + WC                   | 1,3                        | 1,2                        | 1,3                          | -                          | -                          | -                            |
| Eristystila 3 | sulku + eristystila + WC                   | 1,6                        | 1,7                        | 1,7                          | 1,9                        | 2,2                        | 2,1                          |
| Eristystila 4 | sulku + eristystila + WC                   | 1,1                        | 1,2                        | 1,2                          | 1,3                        |                            | 1,3                          |
| Eristystila 2 | sulku + eristystila + WC<br>(tiivistyksiä) | -                          | -                          | -                            | 1,3                        | 1,6                        | 1,5                          |

Taulukko 6.20. Sairaala E: Mitatut  $n_{50}$ -ilmavuotoluvut. (Jatkuu edelliseltä sivulta.)

| Mittauspiste                   |  | Tiiviysmittaus 1           |                            |                                  | Tiiviysmittaus 2           |                            |                                  |
|--------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|
|                                |  | $n_{50}$ [1/h]<br>alipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>ylipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>keski-<br>arvo | $n_{50}$ [1/h]<br>alipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>ylipaine | $n_{50}$ [1/h]<br>keski-<br>arvo |
| Potilas-<br>huone <sup>1</sup> | potilashuone<br>+ WC   | -                          | -                          | -                                | 2,2                        | 2,6                        | 2,4                              |
| Eristys-<br>tila 5             | sulku + eris-<br>tystila + WC<br>(sulun ovi<br>kiinni)                             | -                          | -                          | -                                | 1,3                        | -                          | 1,3                              |
| Eristys-<br>tila 5             | sulku + eris-<br>tystila + WC<br>(sulun ovi<br>auki)                               | -                          | -                          | -                                | 1,6                        | -                          | 1,6                              |
| Eristys-<br>tila 5             | sulku + eris-<br>tystila + WC<br>(sulun ovi<br>auki, yksi<br>alakattolevy<br>pois) | -                          | -                          | -                                | 1,8                        | 2,3                        | 2,1                              |
| Eristys-<br>tila 6             | sulku + eris-<br>tystila + WC<br>(sulun ovi<br>kiinni)                             | -                          | -                          | -                                | 3,0                        | 4,3                        | 3,7                              |
| Eristys-<br>tila 6             | sulku + eris-<br>tystila + WC<br>(sulun ovi<br>auki, yksi<br>alakattolevy<br>pois) | -                          | -                          | -                                | 3,2                        | 4,7                        | 4,0                              |

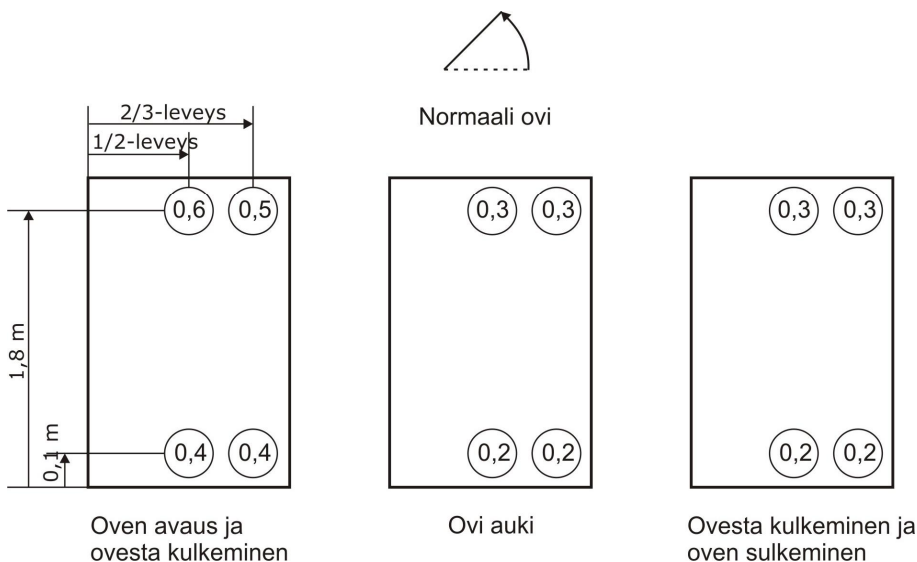
<sup>1</sup> Tiiviysmittaus tehtiin yhdessä suluttomassa potilashuoneessa vertailumittauksena.

Eristystiloissa 5 ja 6 mittaukset tehtiin eristystilaan ulkoa johtavan käytävän oviaukosta. Ensimmäinen mittaus tehtiin ennen tilojen valmistumista ja uusintamittaus tilojen luovutuksen jälkeen.

## 6.6 Ilman liikenopeudet oviaukoissa

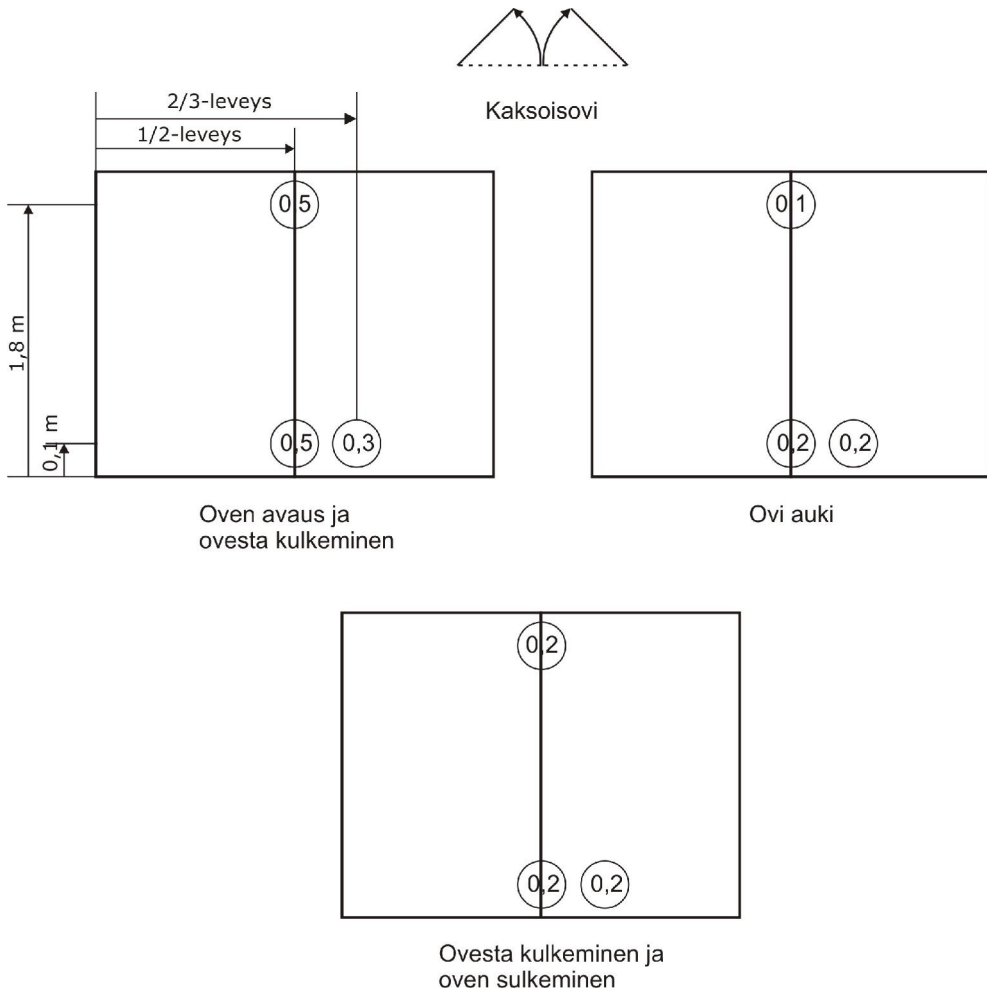
Mittauksen tarkoituksena oli arvioida ilman liikenopeuksia ja eroja erityyppisissä oviaukoissa.

Eristystilojen oviaukkojen ilman liikenopeutta mitattiin oviaukon ylä- ja alaosasta ovesta kuljettaessa. Mittaus tehtiin ottamalla viiden sekunnin keskiarvo alkaen oven avauksesta ja siitä kuljettaessa, viiden sekunnin keskiarvo oven ollessa auki ja viiden sekunnin keskiarvo tultaessa takaisin sisään suljettaessa ovi. Mittaus toistettiin kolme kertaa. Mittauksia tehtiin kuudessa tavanomaisessa ovessa, yhdessä kaksoisovessa ja yhdessä liukuovessa. Turbulenssiaste kuvaa ilman liikenopeuden vaihtelua. Keskimääräiset ilman liikenopeudet on esitetty kuvissa 6.9–6.11.



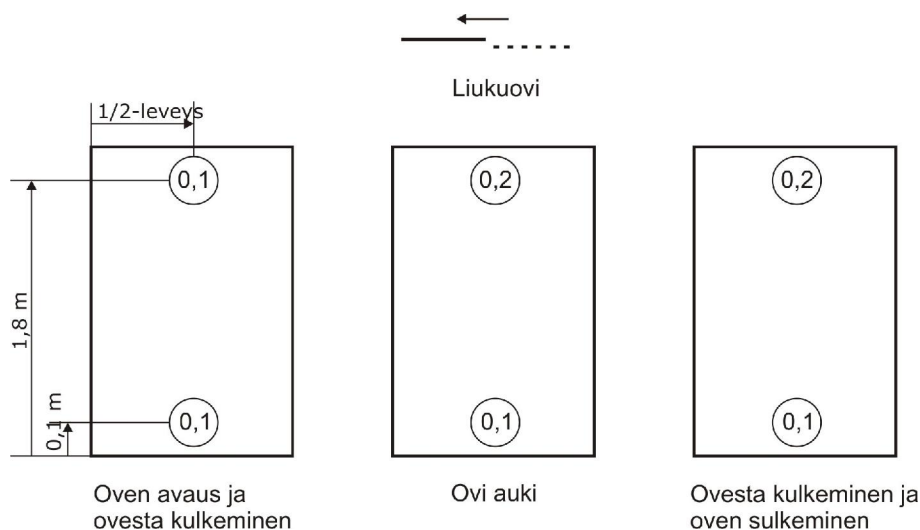
Kuva 6.9. Keskimääräiset ilman liikenopeudet yksiosasessa saranaovessa.

Tavanomaisessa ovessa kuljettaessa ilman keskimääräiset liikenopeudet vaihtelivat 0,2–0,6 m/s välillä. Suurin ilman liikenopeus esiintyi kun ovi avattiin ja siitä kuljettiin. Keskimääräinen turbulenssiaste oli ovea avattaessa ja siitä kulkiessa 83 % (73–87 %), oven ollessa auki 27 % (23–28 %), ja ovea suljettaessa ja siitä kuljettaessa 50 % (46–64 %).



Kuva 6.10. Keskimääräiset ilman liikenopeudet kaksiosaisessa saranaovessa.

Automaattisessa kaksoisovessa keskimääräiset ilman liikenopeudet vaihtelivat 0,2–0,5 m/s välillä. Ilman liikenopeus oli suurin ovea avattaessa ja siitä kuljettaessa. Keskimääräinen turbulenssiaste oli ovea avattaessa ja siitä kuljettaessa 90 % (58–150 %), oven ollessa auki 37 % (33–42 %), ja ovea suljettaessa ja siitä kulkiessa 40 % (37–41 %).



Kuva 6.11. Keskimääräiset ilman liikenopeudet automaattiliukuovessa.

Automaattisessa liukuovessa keskimääräiset ilman liikenopeudet vaihtelivat 0,1–0,2 m/s välillä ja olivat selvästi matalampia kuin tavanomaisissa ovisa tai automaattisessa kaksoisovessa. Keskimääräinen turbulenssiaste oli ovea avattaessa ja siitä kuljettaessa 34 % (33–34 %), oven ollessa auki 18 % (16–19 %), ja ovea suljettaessa ja siitä kulkiessa 31 % (26–36 %).

## 6.7 Kyselyjen tulokset

Kysely lähetettiin 20 sairaanhoitopiirille sähköpostilla. Noin kuukauden kuluttua tehtiin soittokierros, jonka jälkeen vastauksia saatiin 12 sairaanhoitopiiristä. Vastaukset koskivat 244 eristystä. Vastauksia pyydettiin sekä hoitohenkilökunnalta että tekniseltä henkilökunnalta. Vastauksissa oli paljon puuttuvia tietoja.

Eristystiloista on vastausten mukaan rakennettu 29 % 1960-luvulla, 20 % 1970-luvulla, 4 % 1980-luvulla, 10 % 1990-luvulla ja 37 % 2000-luvulla. Yhden potilaan huoneita eristystiloista oli 77 %, kahden hengen huoneita 20 % ja kolmen hengen huoneita 3 %. Laajoissa pandemiatapauksissa suunniteltiin kokonaisen osaston eristämistä.

Tuuletusikkuna oli 43 % eristystiloista. Siirtoilmasäleiköitä ei yleensä ollut käytössä. Käytävän ja sulkutilan välissä oli 1-osainen saranaovi 82 % ja liukuovi 18 % tiloista. Sulkutilan ja eristystilan välissä oli 87 prosentissa 1-osainen saranaovi ja 13 prosentissa 2-osainen saranaovi.

Suunnitellut ilmamäärät olivat vastausten mukaan 2,0–8,5 dm<sup>3</sup>/sm<sup>2</sup>. Kyselyvastauksissa annettiin ilmanvaihtokertoimen arvoja 10–20 1/h. Ilmanjakotapa oli sekoittava yhtä poikkeusta lukuun ottamatta, jossa oli syrjäyttävä ilmanjako. Eristystilojen tiiviysmittauksia oli tehty vain kahdessa kohteessa. Tiloissa ei ollut kohdepoistoja. Suunnittelutoimistona oli usein käytetty yhtä valtakunnallista insinööritoimistoa. Paikkakunnan omia LVI-suunnittelutoimistoja oli myös käytetty. Tiloissa ei käytetty huonekohtaista jäähdytystä.

Palautusilmaa ei käytetty, ja yli puolessa vastauksissa mainittiin, että järjestelmässä on lämmön talteenotto. Huoltokäytännöt poikkesivat paljon: järjestelmiä huolletaan tarvittaessa, kerran tai useammin vuoden aikana, 5 vuoden välein tai hälytyksen perusteella. Ilmanvaihtokanavat puhdistettiin yleensä 5 vuoden välein. Painemittarit kalibroitiin 1–5 vuoden välein, mutta yhdessä vastauksessa esiintyi myös vastaus "ei koskaan". Ilmavirrat oli mitattu vastaanottotarkastuksessa, kanaviston puhdistuksen yhteydessä tai saneerauksen yhteydessä.

Tuloilman suodatuksessa käytettiin tehokkaimpana suodatinyhdistelmänä F9- ja H13-luokan suodattimia ja heikoimpana G3- ja F7-luokan suodattimia. Vastaavasti poistossa tehokkain suodatin oli H13 ja heikoin G3.

Ilmastointikoneita käytettiin yleensä aina 1/1-teholla. Hoitohenkilökunta ei voinut vaikuttaa käyntiaikoihin. Yleensä hoitohenkilökunta näki paine-eromittareista paine-eron eristystilan ja käytävän välillä. Ilman laatu todettiin hyväksi tai erittäin hyväksi, eikä epäpuhtauksien leviämistä aistinvaraisesti oltu todettu. Hoitohenkilökunta oli saanut koulutusta eristystilojen käytöstä.

Vastauksissa oli mainittu seuraavia puutteita: tiloissa on liikaa tavaraa, vähän kaappitilaa, eristyshuoneet sijaitsevat hankalissa paikoissa, tilat ovat liian pienet, tiloja liian vähän ja ne ovat aina käytössä, henkilökunta voi vahingossa muuttaa tilan alipaineen ylipaineeksi, ovet ovat raskaita käyttää, tiloissa esiintyy vaurioituneita pintamateriaaleja, joita on vaikea puhdistaa, tulo- ja poistoilmaventtiilit olivat hankalia puhdistaa, kohtuuhintaisia liukuovia ei löydy, ovet ovat usein heikkorakenteisia, tilojen välisiä paine-eroja valitettiin liian pieniksi.

Hoitohenkilökunnan käyttämät suojaimet vaihtelevat eri sairaaloissa. Niistä oli seuraavat maininnat: FFP2- ja FFP3-luokan hengityksensuojain, kirurgin hengityksensuojain, suojäkäsineet, esiliina, kertakäyttötakki, jalkineiden muovisuojat. Liikkumisesta käytävä-sulkutila-eristystila välillä oli annettu ohjeita, mutta kiireestä johtuen niitä ei aina pystytty noudattamaan. Vierailijat käyttävät samanlaisia suojaimia kuin henkilökunta, ja hoitohenkilökunta opasti niiden käytössä. Tilanteesta riippuen vierailuja oli myös rajoitettu. Potilaat ovat eristystiloissa yleensä 1–2 viikkoa ja eristyksen syyksi mainittiin muun muassa tuberkuloosi, MRSA, resistentit mikrobit, infektio, yliherkkyys, vesirokko, syyhy tai sikainfluenssa.

## 6.8 Havaittuja vuotokohta

### 6.8.1 Ovet

Eristystilojen (Salmi et al. 2011) sulkutilojen ovet avautuivat sairaalan käytävälle eli likaisesta puhtaampaan päin. Oven avautumisen yhteydessä ilmaa siirtyy sulkutilasta käytävälle. Sulkutilan ja eristystilan välinen ovi avautuu eristystilaan eli puhtaammasta likaiseen. Sulkutilaan mahtuu yleensä potilassänky. Kaksiosaisen oven etuna oli se, että hoitohenkilökunnan kulkiessa vain oven toinen puolisko avattiin ja ilmavirtaus oli tämän vuoksi pienempi. Vain potilassänkyä siirrettäessä molemmat ovet avattiin. Sama koski myös liukuovea, joka voitiin avata täysin tai puoliksi auki. Mitatut ilman liikenopeudet

olivat pienimmät liukuovea käytettäessä. Kuvassa 6.12 on esitetty eristystilojen oviin liittyviä ongelmia.



Kuva 6.12. (a) Heikkorakenteinen vääntynyt ovi. (b) Oven alaosan rikkoutunut tiivistysmekanismi.

Kevytrakenteisten ovien ongelma oli se, että vahvat ovipumput pystyivät vääntämään oven kieroksi, jolloin ovi ei ollut enää tiivis. Työntekijän kuormituksen kannalta oven painolla ei ole merkitystä, jos ovet avataan sähköisesti. Vanhemmissa ovissa alareunan tiivistysmekanismi ei enää toiminut. Myös lattian kaadot aiheuttivat sen, että oven alareunan tiiviste ei asettunut kunnolla lattiaa vastaan. Yhdessä sairaalassa oli ylimääräinen ovi suoraan käytävälle eristystilasta ilman sulkuilaa ja sulkuilasta WC:hen.

## 6.8.2 Ikkunat

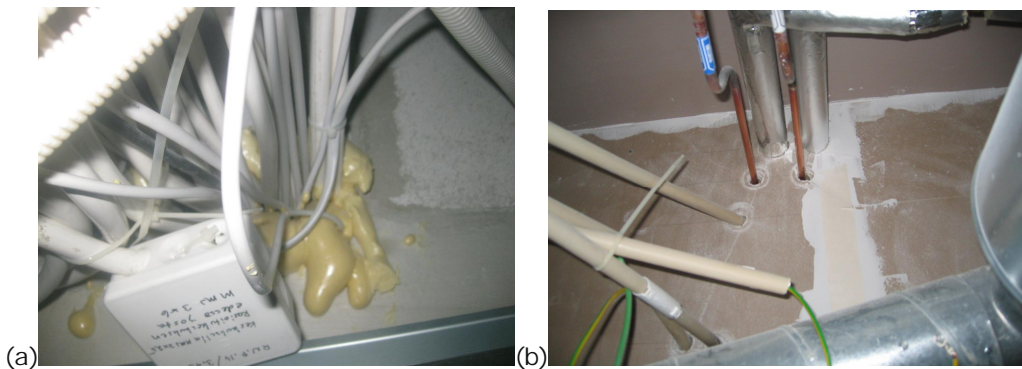
Tutkituissa eristystiloissa oli usein tuuletusikkunalla varustettu ikkuna (kuva 6.13). Käytön seurauksena ikkunan tiivisteet rikkoutuivat ja kuoleutuivat, mikä heikentää niiden tiiviyyttä. Savukokeiden mukaan ikkunoiden karmit, sälekaihtimien läpiviennit ja salvat heikensivät ikkunoiden ilmatiiviyyttä. Karmien liitoksista löytyi silmin havaittavia ulkoilmaan johtavia aukkoja. Yhdessä eristystilassa ikkuna peitettiin koeluonteisesti tiiviiden parantamiseksi muovikalvolla ja teipillä, mutta se ei ratkaisevasti parantanut tilan tiiviyyttä. Kuvassa 6.13 on eristystila, jossa on kaksi erillistä ikkunaa. Kuvassa vasemmalla on avattava ikkuna ja oikealla lasitetulle sisäpuolelle tiivis ikkuna, jota ei voi avata.



Kuva 6.13. Eristystila, jossa on kaksi ikkunaa. Toisessa on avattava tuuletusikkuna.

### 6.8.3 Yläkattorakenteet

Alas lasketun katon yläpuolella on paljon ilmanvaihdonkanavia sekä putki-, sähkö- ja tietoliikenneasennuksia. Asennusten takia seiniin on tehty paljon läpivientejä, jotka vanhemmissa eristystiloissa ovat huonosti tiivistetty (kuva 6.14). Tiivistykseen on käytetty polyuretaanivaahtoa. Osa läpivienneistä on jätetty tiivistämättä (kuva 6.15).



Kuva 6.14. (a) Lämpivien tiivistäminen polyuretaanilla. (b) Tiivistämättömiä läpivientejä.





Kuva 6.15 (a) Hyvin tiivistetty kanavan läpivienti. (b) Jälkeenpäin tehdyt putkien läpiviennit ovat jääneet tiivistämättä.

Eristystilojen rakennusvaiheen aikana tiivistykset on saatettu tehdä huolella (kuva 6.15 (a)), mutta jälkiasennukset on jätetty tiivistämättä (kuva 6.15 (b)). Kyseisessä tapauksessa tiiviysmittaukset tehtiin ennen alas lasketun katon asennusta ja tilojen valmistumisen jälkeen. Mitattu eristystilan tiiviys huonontui valmistumisen jälkeen.

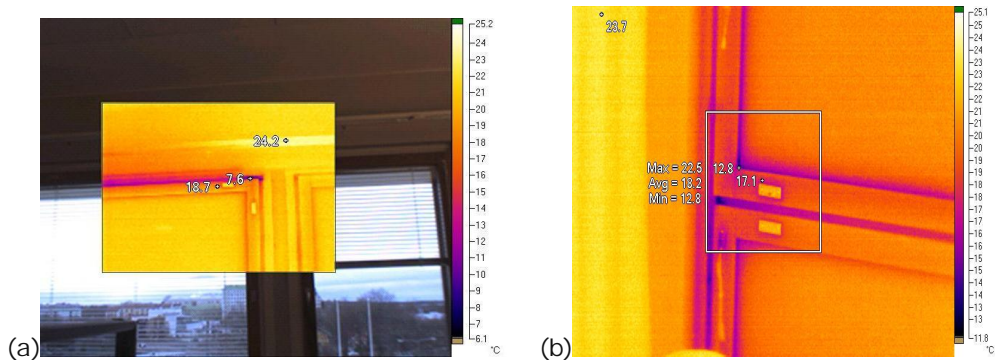
#### 6.8.4 Muita havaintoja

Läpivientien tiivistykseen tulee käyttää siihen tarkoitettua tiivistysmassaa. Läpiviennit voidaan tehdä myös käyttämällä soveltuvia laite- ja puhdastilojen läpivientitiivisteitä. Hyvä ilmatiiviys edellyttää, että myös rakenteen muutkin vuotokohtat tiivistetään huolellisesti. Eristystiloissa oli paljon vuotokohtia, kuten esimerkiksi käytävän oven sivupaneeli, johon oli asennettu johtojen läpivientejä, kytkimiä ja mittareita (kuva 6.16).



Kuva 6.16. Käytävän oven tiivistämätön sivupaneeli.

Kuvassa 6.17 on esitetty eristystilan ulkoikkunoista otettuja lämpökamerakuvia, joissa näkyy tyypillisiä ikkunarakenteiden kylmäsiltoja ja vuotokohtia.



Kuva 6.17. (a) ja (b) Lämpökameralla otettuja kuvia ikkunarakenteiden kylmäsiltoista ja vuotokohdista.

## 7 TULOSTEN TARKASTELU

Sairaaloittain tarkasteltuna keskimääräiset paine-erot eristystilan ja käytävän välillä olivat -5—-21 Pa. Paine-erojen keskiarvo oli -11 Pa. Paine-ero oli vanhemmissa eristystiloissa (1994—2005) keskimäärin -6 Pa ja uudemmissa (2008—2010) -13 Pa. Osassa tiloja paine-erot vaihtelivat vuorokauden eri aikoina. Tähän vaikutti ilmeisesti ilmanvaihdon erilainen päivä- ja yöaikainen käyttö. Mittauksen aikana eristystilojen ovia avattiin, joka saattaa näkyä myös paine-erojen kuvaajissa. Kaikissa eristystiloissa ei tehty mittauksia samassa laajuudessa eli tulososion sairaalakohtaisissa taulukoissa on eri määrä mitattuja tiloja.

*Taulukko 7.1. Keskiarvojen keskiarvot ja vaihteluväli. Keskiarvojen keskiarvolla tarkoitetaan tässä tilakohtaisista keskiarvoista laskettua sairaalakohtaista keskiarvoa.*

| Sairaala/eristystila         | Paine-ero eristystilan ja käytävän välillä [Pa] | Paine-ero eristystilan ja sulkutilan välillä [Pa] | Paine-ero sulkutilan ja käytävän välillä [Pa] |
|------------------------------|---|---|---|
| A (n=3)                      | -8 (-12—0)                                      | -7 (-11—1)  | -1(-2—1)                                      |
| B (n=3)                      | -5 (-5—-5)                                      | -4 (-4—-4)  | -2 (-1—-2)                                    |
| C (n=3)                      | -12 (-12—-12)                                   | 1 (-2—4)  | -13 (-16—-12)                                 |
| D (n=3)                      | -8 (-11—-2)                                     | -3 (-4—-2)  | -5 (-8—-1)                                    |
| E (n=3)                      | -21 (-29—-15)                                   | -5 (-15—0)  | -15 (-16—-15)                                 |
| Kaikki eristystilat (n=15)   | -11 (-29—0)                                     | -3 (-14—4)  | -7 (-16—-1)                                   |
| Vanhemmat eristystilat (n=6) | -6 (-12—0)                                      | -3 (-9—-1)  | -4(-8—-1)                                     |
| Uudet eristystilat (n=9)     | -13 (-29—-5)                                    | -3 (-14—4)  | -10 (-16—-1)                                  |

Joissakin eristystiloissa havaittiin paine-eroa vain sulkutilan ja käytävän välillä, toisin sanoen eristystilan ja sulkutilan välillä paine-eroa ei ollut. Tämän saattoi aiheuttaa esimerkiksi väliseinärakenteiden vuodot. Paine-eroihin vaikuttaa luonnollisesti myös ilmavirtojen säädöt ja kanavistojen tiiviyys.

Mitattujen eri eristystilojen  $n_{50}$ -vuotolukujen keskiarvot vaihtelivat sairaaloittain 2—8 1/h välillä ja kaikkien mitattujen tilojen keskiarvo oli 4 1/h. Sairaalassa A keskiarvoa nosti yksi hyvin epätiivis eristystila. Vanhempien tilojen  $n_{50}$ -vuotoluvut olivat keskimäärin 7 1/h ja uudempien 3 1/h. Tiiviimmässä mitatussa eristystilassa  $n_{50}$ -vuotoluku oli hieman yli 1 1/h (1,2—1,3 1/h), johon normaalilla rakentamistavalla helposti päästään. Eristystilojen ilmatiivyys olisi myös käytön aikana mitattava, jos epäillä tiiviyden tasoa. Tiiviyksmittausta helpottaisi, jos mittaukseen voitaisiin käyttää eristystilojen omia poistoilmakoneita.

Eristystiloissa oli lukuisia vuotokohtia, kuten ikkunarakenteet, läpiviennit ja oviaukot. Esimerkiksi ikkunarakenteiden tiiviyttä voidaan parantaa käyttämällä avattavan ikkunan sijasta pienempää tiivistä tuuletusluukkuja. Eristystilojen rakentamisessa on tärkeintä tilojen huolellinen suunnittelu, toteuttaminen, työn valvonta ja vastaanottomittaukset.

Ilmanvaihtokertoimet vaihtelivat sairaaloittain 5–13 1/h välillä ja kaikkien mitattujen tilojen keskiarvo oli 9 1/h. Vanhemmissa eristystiloissa ilmanvaihtokertoimet olivat 7 1/h ja uudemmissa 11 1/h. Ilmanvaihtokertoimet vastasivat likimäärin eristystilojen ilmanvaihdolle annettuja suosituksia (vanhoille 6 1/h ja uusille 12 1/h).

*Taulukko 7.2. Keskiarvojen keskiarvot ja vaihteluväli.*

| Sairaala/eristystila         | Eristystilan ilmanvaihto-kerroin [1/h] | Ilmavuotoluku $n_{50}$ [1/h] |
|------------------------------|--|------------------------------|
| A (n=3)                      | 12 (5–21)                              | 8 (3–16)                     |
| B (n=4)                      | 9 (3–13)                               | 4 (3–6)                      |
| C (n=3)                      | 13 (12–14)                             | 3 (3–4)                      |
| D (n=3)                      | 5 (3–7)                                | 5 (4–6)                      |
| E (n=6)                      | 8 (7–10)                               | 2 (1–4)                      |
| Kaikki eristystilat (n=19)   | 9 (3–21)                               | 4 (1–16)                     |
| Vanhemmat eristystilat (n=6) | 7 (3–21)                               | 7 (3–16)                     |
| Uudet eristystilat (n=13)    | 11 (7–14)                              | 3 (1–4)                      |

Keskimääräiset ilman lämpötilat eristystiloissa olivat pääosin 22–23 °C välillä. Mittausten aikana tiloissa ei ollut tavanomaista sairaalan henkilö- ja laitekuormaa, joten ilman lämpötila ja kosteusmittaustulosten pohjalta ei voida arvioida eristystilojen lämpöoloja.

Sulkutila on yleensä suunniteltu siten, että potilassänky mahtuu kyseiseen tilaan.

Epäpuhtauksien siirtymistä eristystilasta käytävään voidaan vähentää käyttämällä kaksitai useampiosaisia sulkutiloja vastaavalla tavalla kuin jos halutaan estää epäpuhtauksien kulkeutuminen erityisen puhtaisiin tiloihin.

Sulkutilojen ilmanvaihtuvuus vaihteli 5–15 kertaa tunnissa. Jos halutaan laimentaa ilman epäpuhtaudet 5 %:iin lähtöarvosta, on huoneilma vaihdettava täysin sekoittavassa ilma-jaossa noin kolme kertaa. Tämä tarkoittaa mitatuilla ilmanvaihtuvuuksilla 12–36 minuutin odotusaikaa sulkutilassa.

## 8 YHTEENVETO

Sairaaloissa mitatut eristystilojen ilmatiiviys ( $n_{50}$ -ilmavuotoluku) vaihteli vanhoissa eristystiloissa 3–16 1/h ja uusissa eristystiloissa 1–4 1/h välillä (taulukko 8.1). Tiiviydellä on suuri merkitys tilojen paine-erojen ja epäpuhtauksien leviämisen hallinnassa. Vanhoissa eristystiloissa ei juuri oltu kiinnitetty huomiota tiiviyteen. Erityisesti läpiviennit olivat huonosti tiivistettyjä. Lisäksi väliseinien liitoskohdat sekä ovien ja karmien ympäristöt olivat huonosti tiivistetty. Myös ikkunoiden tiivistykset olivat puutteelliset ja tiivisteet kuoleutuneet. Uusissa eristystiloissa tiiviyteen oli selvästi kiinnitetty enemmän huomiota ja tiivistykset oli selvästi huolellisemmin tehty. Läpiviennit olivat hyvin tiivistetty, mutta ongelmana olivat tiivistyksen jälkeen tehdyt läpiviennit, jotka oli jätetty tiivistämättä. Asiaa kuvaa hyvin "minä teen vain läpiviennit ja tiivistysporukka on erikseen". Lähes puolessa eristystiloissa oli avattava ikkuna. Ikkunatuuletus saattaa aiheuttaa tartuntavaarallisten epäpuhtauksien leviämisen ympäristöön. Tästä on esimerkki 1970-luvulta Saksasta, jossa isorokko levisi avoimen ikkuna kautta ylempiin kerroksiin. Avoimen ikkunan käyttöä on eristystilassa vältettävä. Ilmanvaihtoteknisten häiriötekijöiden vuoksi saattaa olla perusteltua, että eristystiloihin asennetaan tuuletusluukku. Sähköasennuskourujen, pistorasioiden, kytkimien ja ovien ympäristöistä löytyi useita vuotokohtia. Eristystilojen tiiviyydet tulee mitata ennen tilojen vastaanottoa ja tarvittaessa käytön aikana.

Suomalaisissa sairaaloissa eristystilojen ovet aukeavat lähes poikkeuksetta sulkutilasta eristystilaan eli puhtaammasta tilasta likaisempaan päin. Sulkutilasta ovi aukeaa käytävään eli likaisemmasta tilasta puhtaampaan päin. Järjestely on ymmärrettävä ahtaiden tilojen vuoksi. Iso avattava ovi aiheuttaa häiriövirtauksen ja vetää mukanaan suuren ilmamäärän, jota tehostaa vielä henkilön kulkeminen avoimessa oviaukossa. Tämä saattaa johtaa siihen, että ilmanvirtausten suunta on suunniteltuun virtaukseen nähden väärinpäin. Pienillä paine-eroilla ei voida hallita ilmavirtausta oviaukossa. Tämän vuoksi sulkutilan ja käytävän välisen oven tulisi avautua sulkutilaan päin. Mittauksiemme mukaan liukuovi on ilman virtausten kannalta paras ratkaisu (nopeudet oviaukoissa 0,1–0,2 m/s). Myös kaksiosainen ovi (nopeudet oviaukoissa 0,2–0,5 m/s) oli parempi kuin yksiosainen ovi (nopeudet oviaukoissa 0,2–0,6 m/s). Joissakin tapauksissa ovi oli liian kevyt- ja heikkorakenteinen. Vahvat ovipumput pystyivät vääntämään ovet kieroiksi ja epätiiviksi. Tukevat ovet ovat raskaita ja ne kuormittavat henkilökuntaa, jos ovet eivät ole sähkötoimisia. Eristystiloissa ei saa olla tarpeettomia ovia. Joissakin tapauksissa oli tehty ovi käytävään ilman sulkutilaa tai ylimääräinen ovi sulkutilasta WC-tilaan. Oven alareunan tiiviste ei aina yltänyt lattiatasoon kiinni johtuen lattian kaadoista.

Alas lasketut katot ovat siistin näköisiä, mutta niiden yläpuolelle kertyy vuosien saatossa pölyä. Alas lasketujen kattojen siivous on aikaa vievää ja kallista. Tämän vuoksi käytännössä siivous jää tekemättä. Jos alas lasketun katon yläpuolella oleva tekniikka siirrettäisiin sulkutilan tai käytävän puolelle, eristystiloissa ei tarvittaisi alas laskettua kattoja ollenkaan. Tämä helpottaisi myös laitteiden huoltoa.

Kyselyjen perusteella tilojen ja laitteiden huoltoon on kiinnitettävä enemmän huomiota. Valitettavasti sairaaloissa paljastui kalibroimattomia paine-eroantureita ja huoltoon liittyviä ongelmia. Sekavat merkinnät saattavat johtaa siihen, että alipaineiseksi tarkoitettu ilma-

eristys muuttuu ylipaineiseksi suojaeristystilaksi. Käytön opastusta hoitohenkilökunnalle sekä yhteistyötä kiinteistöhuollon ja hoitohenkilökunnan välillä ei voi olla korostamatta. Ilmanvaihtolaitosten luovutusasiakirjoissa tulee olla selvät käyttö-, huolto- ja kalibrointiohjeet. Hoitohenkilökunnalle tulee antaa opastus eristystilojen käytöstä. Opastus toistetaan tarvittaessa esimerkiksi perehdytyksen yhteydessä.

Vanhemmissa eristystiloissa ilmanvaihtokertoimet vaihtelivat 3–21 1/h ja uudemmissa 7–14 1/h välillä. Tulo- ja poistoilmaventtiilien sijoitukseen täytyy kiinnittää huomiota. Ovien välittömään läheisyyteen sijoitettujen tuloilmaventtiilien ilmasuihkut vaikuttivat ilmavirtauksiin oviaukoissa. Tulo- ja poistoilmaventtiileihin tai kanaviin pitää asentaa selkeät mittausyhteet, joista ilmavirrat voidaan helposti ja esteettömästi mitata.

*Taulukko 8.1. Ilmanvaihtokertoimien, paine-erojen ja tiiviyksien keskeiset mittaustulokset vanhoissa ja uusissa eristystiloissa.*

| Suure                                   | Vanhat eristystilat<br>keskiarvo (min. – maks.) | Uudet eristystilat<br>keskiarvo (min. – maks.) |
|---|---|--|
| Ilmanvaihto-kerroin [ $\text{h}^{-1}$ ] | 7 (3–21)  | 11 (7–14)                                      |
| Paine-ero [Pa]                          | -6 (-12–0)                                      | -13 (-29– -5)                                  |
| Ilmavuotoluku n50 [ $\text{h}^{-1}$ ]   | 7 (3–16)  | 3 (-4)   |

<sup>1</sup> Paine-ero eristystilan ja käytävän välillä

Sairaalan eristystiloissa ei ole yleensä käytetty kohdepoistoja, joka on epäpuhtauksien poistamisessa yleisilmanvaihtoa tehokkaampi ratkaisu. Syynä tähän on mahdollisesti se, ettei eristystiloihin ole pystytty suunnittelemaan sairaalaympäristöön sopivaa kohdepoistojärjestelmää (Kalliokoski ja Husman 2004).

Eristystilan ja sulkutilan välillä on oltava ikkuna, jotta hoitohenkilökunta näkee potilaan ovea avaamatta (Rajalahti ym. 2004). Sulkutilan ja käytävän välisessä ovesa pitäisi myös olla ikkuna. Tämä antaa potilaalle turvallisuudentunnetta. Tällaista ratkaisua on käytetty muun muassa ruotsalaisissa sairaaloissa.

## 9 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Hanke on toteutettu yhteistyössä Itä-Suomen yliopiston ja VTT:n kanssa. Itä-Suomen yliopiston vastuulla oli kirjallisuuskatsaus, kentällä tehdyt merkkiainemittaukset ja hankkeen koordinointi. VTT:n vastuulla oli mallintaminen, laboratoriokokeet ja kentällä tehdyt hiukkasmittaukset. Työterveyslaitoksen vastuulla oli kenttämittaukset: paine-erot, ilmanvaihto, lämpöolot, oviaukkojen ilmavirtaukset, eristystilojen ilmatiiviysmittaukset ja rakenteellisten vuotokohtien havainnointi sekä kyselytutkimus.

Työterveyslaitoksen mittaus- ja tutkimustuloksia voidaan hyödyntää eristystilojen suunnittelun ja toteutuksen laadun parantamisessa sekä käytönaikaisen ylläpidon kehittämisessä. Kyselytulosten perusteella on ilmeistä, että henkilökunnan opastusta ja koulutusta eristystilojen käytöstä on kehitettävä. Tuloksia voidaan hyödyntää myös poikkeusolosuhteissa, joissa sairaalataloissa joudutaan eristämään kokonaisia osastoja. Tällöin rakennetaan väliaikaisia sulkutiloja ja tilat alipaineistetaan erillisillä puhaltimilla, jotka varustetaan HEPA-luokan suodattimilla. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää myös soveltuvien osien suojaeristystilojen suunnittelussa.

## KIITOKSET

Kiitämme lämpimästi TEKESiä, tutkimukseen osallistuneita sairaaloita ja yhteistyöyrityksiä tutkimuksen rahoituksesta. Lisäksi kiitämme kaikkia tutkimukseen osallistuneita henkilöitä hyvästä yhteistyöstä tutkimuksen aikana.



## LÄHTEET

American Institute of Architects and the facilities Guidelines Institute (AIA). Guidelines for design and construction of hospital and health care facilities. ISBN 1-57165-002-4. American Institute for Architects, Washington, DC, 2001.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Inc. HVAC design manual for hospitals and clinics. ISBN 1-931862-26-5. ASHRAE, Atlanta, USA, 2003.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Guidelines for environmental infection control in health-care facilities (2003). MMWR 52 (RR10), 1–42.

Department of Veteran Affairs(DVA). HVAC Design Manual For New Hospitals, Replacement Hospitals, Ambulatory Care, Clinical Additions, Energy Centers, Outpatient Clinics. Department of Veterans Affairs, Office of Facilities Management, Facilities Quality Service, Washington, July 2006.

DIN 1946-4:2008-12. Ventilation and air-conditioning. Part 4. Ventilation in buildings and rooms of health care.

Lyytikäinen O, Kela E, Kujala P. Eristystilat Suomen sairaaloissa. Suomen Sairaalahygienia lehti 2003; 21: 179–180.

Rajalahti I, Katila M-L, Kirstilä P, Lyytikäinen O, Ruohonen R, Ruutu P, Rönnemaa I, Salo E, Soini H, Tala-Heikkilä M, Liippo K. Tuberkuloositartunnan torjunta sairaalassa. Asian-tuntijaryhmän suositus. Katsausartikkeli. Suomen Lääkärilehti 2004 59(9), s. 909–916.

Rydock J P, Eian P K, Lindqvist C, Welling I, Lingaas E. Best practice in design and testing of isolation rooms in Nordic hospitals. Nordic Innovation Centre. NT Technical Report. TR 564. September 2004. Approved 2005-11.

Ryynänen J. Sairaaloiden ilmanvaihdon suunnitteluohjeita 2001. Opinnäytetyö Talotekniikan koulutusohjelma. Mikkelin ammattikorkeakoulu 2007, s.17, liitteet 1–12.

Salmi K, Holopainen R, Kähkönen E, Hyttinen M, Reijula K. Sairaaloiden eristystilojen vuotokohtia. Sisäilmastoseminaari 2011, Dipoli Espoo 16.3.2011, 153-158. (ISSN 1237-1866, ISBN 978-952-5236-39-2).

Sosiaali- ja terveysministeriö. Kansallinen varautumissuunnitelma influenssaepidemiaa varten, STM 2006: 25.

Sosiaali- ja terveysministeriö. Valtakunnallinen tuberkuloosiohjelma, STM julkaisu 2006: 21.

Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2010. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.

Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.

Suomen Sairaalatekniikan päivät Lahdessa 2007. Keskustelu eristystilojen suunnitteluohjeiden tarpeista.

Valtakunnallinen sairaaloiden kiinteistökannan kehittämisprojekti (VALSAI). Kirjallisuuskatsaus 2008. Työterveyslaitos.

Wehrle, P.F. Posch, J. Richter, K.H. Henderson, D.A. An Airborne Outbreak of Smallpox in a German Hospital and its Significance with Respect to Other Recent Outbreaks in Europe, in Bulletin of the World Health Organisation. 1970; Issue 4. p. 669–79.

## LIITTEET

### Kyselylomake

Ilmavälitteisten infektioiden hallinta sairaaloiden eristystiloissa -tutkimushanke  
- Kysely sairaaloiden eristystilojen toimivuudesta

Hanke toteutetaan kolmen tutkimuslaitoksen Itä-Suomen yliopiston (Kuopio), Työterveyslaitoksen ja VTT:n yhteistyönä.

Tavoitteena on kehittää eristystilojen suunnitteluohjeet.

Hanketta rahoittavat TEKES, HUS-Kiinteistöt Oy, Pohjois-Savon sairaanhoitopiiri, Oy Lifa IAQ Ltd, Kojair Tech Oy, Camfil Oy, Fanison Oy ja Fläkt Woods Oy sekä osallistuvat tutkimuslaitokset.

Tämän kyselyn tarkoitus on selvittää nykyisten eristystilojen toimivuutta, puutteita ja kehitystarpeita sekä kartoittaa tämänhetkinen tilanne.

Toivomme teidän voivan vastata kyselyymme kiinteistön huolto- ja sairaalan hoitohenkilökunnan kanssa mahdollisimman pian viimeistään maanantaihin 4.10.2010 mennessä tai toimitatte kyselyn edelleen oikeille henkilöille eri sairaaloissa.

Lisätietoja antaa:

Erkki Kähkönen  
Työterveyslaitos  
Arinatie 3A  
00370 HELSINKI  
erkki.kahkonen@ttl.fi  
puh. 030 474 2944, www.ttl.fi

Lisätietoja hankkeesta

Työterveyslaitos:

<http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Turva/fi/system/projekti.html?id=9849031&nav=Projekti>

Itä-Suomen yliopista ja VTT:

<http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Turva/fi/system/projekti.html?id=9786423&nav=Projekti>

Sairaalatekniikan päivät Oulussa 3.-4.2.2010 esitelmä:

<http://www.ssty.fi/OULU/Luennot/Pasanen.pdf>

Kyselyyn voi vastata suoraan kirjoittamalla tähän Word-dokumenttiin, tallettamalla ja lähettämällä dokumentin sähköpostilla [erkki.kahkonen@ttl.fi](mailto:erkki.kahkonen@ttl.fi)

Sairaala/sairaanhoitopiiri:

Vastaajan tiedot:

Nimi

Koulutus/tehtävänimike

Yhteystiedot (sähköposti, puh, osoite)

Sairaala/Rakennus

Osasto

Kerros

Sulkuutilallisten eristystilojen lukumäärä

Valmistumisvuosi

Saneerausvuodet

Vuoteita/huone lukumäärä

Ovityyppi: liukuovi, 1-os., 2-os., voidaanko kaikki ovet avata yhtäaikaa

Tuuletusikkunat

Muuta huomioitavaa esim. pinta-alat (eristys, sulku, wc)

Rakennukset/osastot/tilat, jotka ovat suunniteltu otettavaksi käyttöön potilaiden eristämiseen pandemia tilanteessa.

I Ilmanvaihto

Suunnitteluarvot

Mikä yritys suunnitteli eristystilojen ilmanvaihdon?

Mitkä ovat eristystilan ilmanvaihdon suunnitteluarvot ( $\text{dm}^3/\text{s}$  lattia- $\text{m}^2$ )?

Onko eristystilojen ilmatiiviyyttä mitattu vastaanottovaiheessa?

Kuvaus eristystilan ilmanvaihtojärjestelmästä:

- tulo- ja poistoilmaventtiilien sijainti ja tyyppi (ilmanjakotapa)?
- onko eristystiloissa kohdepoistoja?
- millaiset ovat tulo-, poisto- ja kierrätysilmasuodattimet ja suodatinluokat?
- onko tuloilmakoneessa jäähdytys?
- käytetäänkö kierrätysilmaa?
- onko iv-järjestelmässä LTO-laitetta?

- onko sulkutilan ja eristystilan välissä siirtoilmasäleikköä?
- onko eristystiloissa erillisiä jäähdytyslaitteita?

#### Huolto

Milloin ilmavirrat on mitattu ja säädetty?

Kuinka usein eristystilojen ilmanvaihtojärjestelmiä huolletaan, onko erillisiä ohjeita esim. liikaisten suodattimien käsittelystä?

Miten usein eristystilojen ilmanvaihtojärjestelmät puhdistetaan, milloin edellinen puhdistus on tehty?

Kuinka usein kalibroidaan eristystilojen paine-eroanturit?

#### Seuranta

Kuinka usein tarkastetaan eristystilojen ilmanvaihdon toiminta?

Eristystilojen ilmanvaihtokoneiden käyntiajat (1/1-teho, 1/2-teho tai muu teho).

Onko eristystiloissa paine-eron seuranta ja mitkä ovat säätöarvot (Pa)?

Voidaanko eristystiloissa paine-eroa muuttaa (yli-, alipaine tai neutraali tilanne)?

Onko eristystilojen paine-erolle automaattista valvontaa, joka hälyttää häiriötapauksissa?

Voiko hoitohenkilökunta helposti todeta/havaita eristystilojen paine-erot ja niiden muutokset?

Voiko hoitohenkilökunta tehostaa eristystilan ilmanvaihtoa?

Millaiseksi sisäilman laatu on yleisesti koettu eristystiloissa (erittäin hyvä, hyvä, tyydyttävä, välttävä, huono)?

Muuta (erikseen huolto- ja hoitohenkilökunnalle kysymykset)

Huoltohenkilökuntaa koskevat kysymykset:

Onko huoltohenkilökunta saanut erityistä koulutusta eristystilojen LVIS-laitteiden huollosta?

Onko olemassa selkeää ohjeistusta ongelmatilanteiden hoitamiseksi?

Miten eristystilat puhdistetaan (siivous, desinfiointi, UV-valo, ionisaattori) ja todennetaan hygienia?

Mitä korjauksia on tehty ja mitä korjaussuunnitelmia on olemassa eristystiloille?

Mitä ongelmia/puutteita olette havainneet sairaalanne eristystiloissa?

Hoitohenkilökuntaa koskevat kysymykset:

Onko hoitohenkilökunta saanut koulutusta eristystilojen ilmanvaihdosta, tilan tuuletuksesta ja ovien yhtäaikaisesta käytöstä?

Käyttääkö hoitohenkilökunta henkilökohtaisia suojaimia (hengityssuojain ja suojavaatteet) eristettyä potilasta hoidettaessa?

Millaisia suojaimia käytetään (tyyppi, kertakäyttöinen, suojainten säilytys)?

Onko hoitohenkilökunnalla ohjeita eristystila-sulkutila-käytävä välisestä liikkumisesta (esim. odotusaika)?

Miten eristystilat puhdistetaan (siivous, desinfiointi, UV-valo, ionisaattori) ja todennetaan hygienia?

Millaiset ovat omaisten vierailukäytännöt eristystiloissa (ohjeet ja suojautuminen)?

Onko havaittu epäpuhtauksien leviämistä eristystiloista, kuten haju tms.?

Onko eristystiloissa havaittu sairaalaperäisiä infektioita, jos on niin milloin, minkä aiheuttama ja mikä oli tartuntareitti?

Mitä ongelmia/puutteita olette havainneet sairaalanne eristystiloissa?

Eristystilojen käyttöaste: (aina käytössä, usein, joskus, harvoin)

Millaisia sairauksia potilailla yleensä on?

Kuinka kauan potilaat keskimäärin ovat eristystiloissa? (1-3 päivää, 3-7 päivää, 1-2 viikkoa, yli 2 viikkoa)

Muita havaintoja, joita haluatte lähettää hankkeen tutkijoille