



Vincent Totzev

# Kostutuksen käyttö sairaaloiden il- manvaihdossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

22.12.2023

## Tiivistelmä

Tekijä: Vincent Totzev  
Otsikko: Kostutuksen käyttö sairaaloissa  
Sivumäärä: 47 sivua  
Aika: 22.12.2023

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
Ammatillinen pääaine: LVI-suunnittelu  
Ohjaajat: Diplomi-insinööri Aleksanteri Setälä  
Diplomi-insinööri Jukka Vasara  
Lehtori Pasi Partonen

---

Insinööriyössä perehdyttiin kustutusjärjestelmien käyttöön suomalaisten sairaaloiden ilmanvaihdossa. Lisäksi tutustuttiin ulkomaiden- ja CEN/TC 156 EU:n standardiluonnoksiin ilmanvaihtosuunnittelulle sairaaloissa ja tehtiin kirjallisuuskatsaus ulkomaiden standardeista kustutuksen käytölle sairaaloissa. Työssä koottiin yhteen osa Granlundin suosituksia sairaalan sisäilmastolle ja suunnitteluohjeet erityyppisille tiloille. Lisäksi työssä selvitettiin kyselyn avulla kustutuksen käyttöä suomalaisten sairaaloiden ilmanvaihdossa ja tehtiin simuloitteja kustutuksen kustannuksista erityyppisissä tiloissa, kuten leikkaussaleissa ja tehohoito-osastoilla.

Kostutuksen käyttö sairaaloiden ilmanvaihtotekniikassa on suositeltavaa potilasturvallisuuden ja viihtyvyyden kannalta. Kostutus on suunniteltava sairaaloiden erityistiloissa laitevaatimusten mukaisesti ja samalla on pyrittävä estämään erilaisten bakteerien ja sienien kasvamista ja leviämistä. Suomessa ei ole sairaalan ilmanvaihtosuunnitteluun tarkoitettua standardia tai muuta asetusta, vaan suunnitelmat on tähän asti toteutettu kokemusperusteisesti asiakkaiden kanssa yhteisillä laadituilla ohjeistuksilla.

Oikealla kustutustavalla estetään kosteuden aiheuttamia haittavaikutuksista ja parannetaan henkilöstön sekä potilaiden viihtyvyyttä. Kostutuksen käyttö on kallista ja vuositasolla aiheuttaa suuria kustannuksia. Tämä insinööriyö tehtiin Granlund Oy:lle.

Avainsanat: kostutus, sairaala, ilmanvaihdon kustutus

## Abstract

Author: Vincent Totzev  
Title: The use of humidification in hospitals  
Number of Pages: 47 pages  
Date: 22 December 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Building Services Engineering  
Professional Major: HVAC Design  
Supervisors: Aleksanteri Setälä, M.Sc.  
Jukka Vasara, M.Sc.  
Pasi Partonen, Senior Lecturer

---

The purpose of this final-year project was to study relative humidity and the usage of humidification in ventilation in hospitals in Finland and other countries. As Finland does not have a standard for hospital ventilation design although some equipment requires a certain relative humidity in indoor air to prevent electrostatic discharge, the aim was to gather information for the design instructions of a company.

The thesis collected information from various literary sources. In addition, the energy consumption of humidification was calculated. It was done by gathering information about the weather conditions from open data.

The findings indicated that the use of humidification causes problems when trying to maintain the humidification systems. Furthermore, it was established that humidification causes problems to indoor air. However, many departments in hospitals benefit from the use of humidification when it comes to energy consumption.

The thesis concluded that to prevent various microbes, fungi, and infections it is necessary to use humidification in ventilation. To guarantee patient safety, it is important to use steam humidification for hygienic reasons. However, steam humidification is expensive because of its process that uses electricity.

Keywords: humidification, hospital, ventilation

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ilman kosteus	2
2.1	Suhteellinen- ja absoluuttinen kosteus	3
2.2	Kastepiste- ja ilman märkälämpötila	4
2.3	Ilman entalpia	5
2.4	Mollier-diagrammi	5
2.4.1	Kostean ilman kastelämpötila	6
2.5	Ilman kosteuden vaikutukset	7
3	Kostutuksen käyttö	8
3.1	Staattinen sähkö ja suhteellisen kosteuden hallinta	8
3.2	Ulkomaisten standardit ja käytännöt kostutuksesta	9
3.2.1	Saksan standardi DIN 1946-4	9
3.2.2	Yhdysvallan standardi ASHRAE 170	10
3.2.3	Iso-Britannian standardi HTM 03-01	11
3.2.4	Standardien suunnitteluarvojen vertailuja	12
3.3	CEN/TC 156/WG 18 EU:n standardiluonnos ilmanvaihdolle sairaaloissa	14
3.3.1	Kostuttimet	14
3.4	Tekniset ratkaisut	15
3.4.1	Höyrykostutin	15
3.4.2	Ilman kostuttaminen vedellä	18
3.4.3	Sumukostutin	20
3.5	Tuloilman kuivaus	22
3.6	Granlundin suositukset ja suunnitteluohjeet	26
4	Kyselytutkimus	26
4.1	Kyselytutkimuksen tulokset	27
4.2	Kyselytutkimuksen tulosten analysointi	32
5	Kostutuksen toiminnan tarkastelu simuloimalla	33
5.1	Laskentakaavat ja energiakustannukset	34

5.1.1	Leikkaussalit	38
5.1.2	Eristystilat	39
5.1.3	Tehohoito-osasto	40
5.1.4	Kuvantamistilat	41
6	Yhteenveto	43
	Lähteet	45

## Lyhenteet

- %RH:** *Relative humidity.* Suhteellinen kosteus, ilmaistaan prosenttiluvulla ilmassa olevan vesihöyryn pitoisuutta, suhteessa siihen, kuinka paljon kyseisessä lämpötilan ilmassa on kosteutta.
- ESD:** *Electrostatic Discharge.* Tarkoittaa sähköstaattista purkausta kahden esineen ollessa kontaktissa toisiaan kohtaan.
- CEN:** *European Committee for Standardization.* Euroopan standardointijärjestön tekninen komitea.
- LTF:** *Low Turbulence Flow.* Ilmanjako, missä ilma on laminaarinen virtaus.
- HEPA:** *High Efficiency Particulate Filter.* Korkeatehoinen hiukkassuodatin.
- ASHRAE:** *The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.* LVI-insinööriyhdistys.
- ECT:** *Electroconvulsive Therapy.* Sähköhoito, jota käytetään psyykkisten sairauksien hoitoon johtamalla sähkövirtaa aivoihin.
- NR:** *No Requirements.* ASHRAE-standardissa määritelty käsite, jossa ei ole vaatimuksia ilmanvaihtotekniikalle.
- HTMs:** *Health Technical Memoranda.* Iso-Britannian virallinen muistio ilmanvaihdon suunnitteluun tiloissa, jossa on terveydenhuoltoa.
- SARS-CoV-2:**  
*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2.* Virus, mikä aiheutti COVID-19 pandemian.

- BMS *Building Management System*. Sairaaloissa käytettävä rakennusautomaatiojärjestelmä, joka sijaitsee valvomossa. Sillä voidaan säätää ja valvoa rakennuksen talotekniikkaa.
- URS *User Requirement Specification*. Hyväksytty asiakirja, jossa on tekniset tiedot, toiminnalliset ja käyttöönottotiedot halutun ilmanlaadun saavuttamiseksi.

## 1 Johdanto

Sairaaloissa sisäilman laatu ja kosteuden hallinta on työntekijöiden hyvinvoinnin ja potilaiden turvallisuuden kannalta tärkeää. Liian kuiva ilma aiheuttaa hengityselinten ärsytystä, mikä heikentää sairaalassa olevien potilaiden paranemisprosessia ja altistaa heidät mahdollisille infektioille. Liian kostea ilma taas edistää haitallisten mikrobien kasvua ja vaikuttaa myös rakennuksen rakenteisiin aiheuttaen ajan myötä mahdollisia kosteusvaurioita, kuten homeen kasvua ja rakenteiden materiaalien heikentymistä. Tutkimukset ovat osoittaneet, että kylmän ulkoilman kostuttamisen vaikutukset ovat vähentäneet hengitysteiden infektioita potilaissa. [1, s. 24.]

Ihmiselle terveyttä edistävä ilmankosteus saavutetaan ilmastointijärjestelmien avulla, joissa on kostutusjärjestelmä. Kostutusjärjestelmien käyttö on kallista ja energiatehokkaampia ratkaisuja on pyritty kehittämään. Suomessa ei ole sairaalan ilmanvaihdon suunnitteluun tarkoitettua standardia. Sisäilmastoluokitus 2018 määrittelee, että mikäli paikallista kostutusta käytetään, ilman suhteellisen kosteuden täytyy pysyä alle 60 %:ssa. Tähän asti sairaaloiden kostutusjärjestelmiä Suomessa on suunniteltu kokemuserusteisesti.

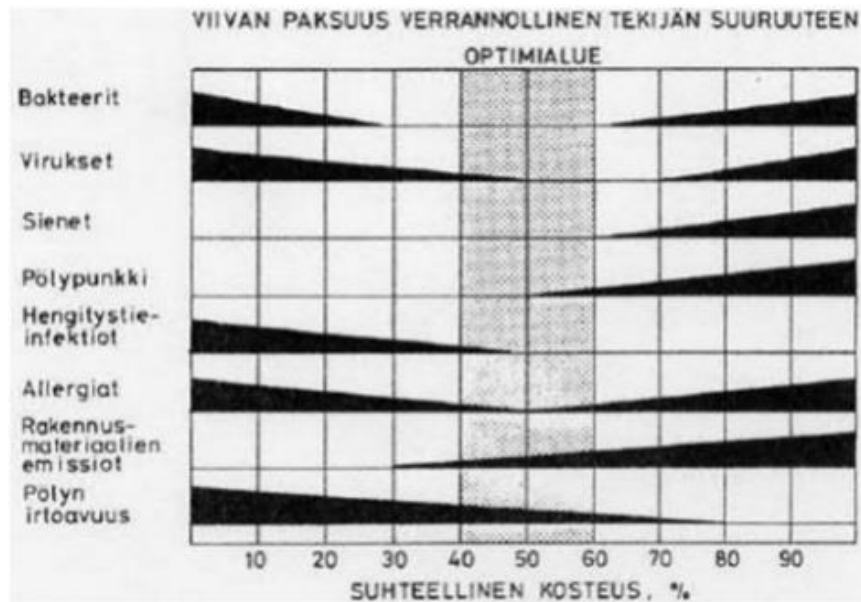
Opinnäytetyössä tutkitaan Suomen ja ulkomaiden sairaaloiden käytäntöjä ilmanvaihdon kostutuksessa. Tavoitteena on selvittää turvallisia tapoja kostuttaa sairaalan ilmanvaihtoa, esittää näiden prosessia ja antaa mahdollisimman turvallinen ratkaisu sairaalan ilmanvaihdon kostutukselle. Työ pyrkii antamaan kuvan ilmanvaihdon kostutuksen käytön kustannuksista erityyppisissä tiloissa, mikä voi mahdollistaa uusia innovaatioita. Työn tarkoituksena on tuoda esille ilmanvaihdon kostutuksen aiheuttamia ongelmia ja sitä, kuinka yleisiä ne ovat. Tavoitteena on mahdollistaa parempi kostutusjärjestelmien suunnittelu sekä tehokkaampi huolto ja ylläpito. Työkaluna ilmankosteuden prosessien mitoituksessa käytetään Mollieria-diagrammia. Mollierista voidaan tarkastella kostutukseen liittyvien prosessien suunnittelua ja analysointia.



Insinööriyössä toteutettiin kysely, jonka avulla kartoitettiin sairaaloiden käytäntöjä ja kokemuksia ilmanvaihdon kostutuksen kanssa. Pyrittiin saamaan tietoa siitä, millaisia kostutusjärjestelmiä käytetään eri sairaaloissa ja missä tiloissa niitä käytetään. Lisäksi kyselyllä selvitettiin muita teknisiä tietoja sekä ongelmia ja sitä, miten kostutuksen energian käyttöä seurataan. Työssä toteutettiin simulointi, jolla laskettiin erityyppisten tilojen tai osastojen ilmanvaihdon kostutuksen kustannuksia. Simuloinnin avulla voidaan tarkastella ilman kostuttamisen vaikutuksia käyttökustannuksiin eri vuodenaikoina.

## **2 Ilman kosteus**

Kuiva ilma koostuu erilaisista kaasuista, kuten typestä, hapesta, argonista ja hiilidioksidista. Kosteassa ilmassa on sekoitus kuivaa ilmaa ja vesihöyryä ja vesihöyry on merkityksellinen sen suuren energiasisällön takia, mikä johtuu sen olo muodosta [2, s. 81]. Ilman suhteellinen kosteus on yksi sisäilman kosteusolosuhteiden keskeisistä tekijöistä. Ilman kosteutta voidaan ilmaista eri tavoin riippuen tiedon tarpeesta. Ilman kosteuden keskeisimmät ominaisuudet ovat suhteellinen kosteus, absoluuttinen kosteus ja kastepiste. Kuvasta 1 voidaan tarkastella erilaisten epäpuhtauksien suosimia kosteusolosuhteita.



Kuva 1. Ilman kosteuden vaikutukset eri suhteellisissa kosteuksissa %RH [1, s. 24].

## 2.1 Suhteellinen ja absoluuttinen kosteus

Suhteellista kosteutta voidaan määrittää kaikissa ilman olosuhteissa. Sillä kerrotaan, kuinka paljon vesihöyryä on sidottuna tietyssä tilapisteessä. Suhteellinen kosteus voidaan laskea kaavalla 1. Suhteellinen kosteus on samassa lämpötilassa olevan vesihöyryn osapaineen  $p_h$  suhde vesihöyryn kyllästyspaineeseen  $p_{hs}$ .

$$\varphi = \frac{p_h}{p_{hs}} * 100 \% \quad (1)$$

$\varphi$  on suhteellinen kosteus (%)

$p_h$  on ilman absoluuttinen paine (Pa)

$p_{hs}$  on vesihöyryn paine kuivalämpötilassa, mikä on maksimi vesihöyrysisällöllään, ennen kuin vesihöyry tiivistyy höyrystä nestemäiseen olomuotoon (Pa).

Suhteellisen kosteuden ratkaisemiseksi ratkaistaan ensin tilapisteen vesihöyryn osapaine  $p_h$ . Avataan yhtälöä hieman kaavassa 2:

$$p_h = \frac{x}{0,6220+x} * p \quad (2)$$

$x$  on kosteussisältö (kg vettä/kg kuivaa ilmaa)

$p$  on ilman kokonaispaine (Pa).

Lopuksi avataan vielä vesihöyryn painetta kaavassa 3:

$$p'_h = 10^5 * e^{11,78 + \frac{(T-372,79)}{T-48,15}} \quad (3)$$

$T$  on kostean ilman lämpötila kelvineinä K [3. s, 5].

Absoluuttinen kosteus g/kg tai kg/kg kertoo vesihöyryn määrän kuivaa ilmakiloa kohden, mikä saadaan Mollier-diagrammin vaaka-asteikolta. Jos kuvan pisteestä (ks. luku 2.4.1, kuva 3) siirrytään vasemmalle, tällöin ilmasta poistuu kosteutta ja vastaavasti oikealle siirryessä ilmaan lisätään kosteutta. [2, s. 84.]

## 2.2 Kastepiste ja ilman märkälämpötila

Kastepiste lämpötila  $t_{kaste}$  °C kuvaa sitä lämpötilaa, jonka alapuolella tapahtuu kondensaatiota. Toisin sanoen, jos jonkin esineen pinta on lämpötilaltaan alhaisempi kuin kastepistelämpötila, niin ilman sisältämä vesihöyry tiivistyy sen pinnalla vedeksi [2, s. 85]. Kastepiste on tärkeä tieto ilmankosteuden mittauksessa, mikä on luettavissa Mollier-diagrammista.

Märkälämpötilassa neste ja suuri määrä kaasua ovat adiabaattisissa olosuhteissa tasapainossa. Sillä tarkoitetaan sitä lämpötilaa, jonka märkä lämpömittari osoittaa. Ilman märkälämpötilaa käytetään, kun mitataan ilman lämpötilaa psykrometrillä, joka on ilman kosteutta mittaava työkalu. Kuvassa 3 esitetty

märkälämpötila saadaan siirtymällä pystysuoraisesti kyllästyskäyrälle, jossa suhteellinen kosteus  $\varphi = 100 \% \text{ RH}$ .

### 2.3 Ilman entalpia

Ilman entalpia tarkoittaa ilman lämpösisältöä. Ilman entalpia voidaan laskea kaavalla 4, kun tunnetaan ilman lämpötila ja kosteus [1. s, 189]. Se on ilmastointitekniikassa tärkeässä osassa, kun pyritään saamaan haluttu sisäilma.

$$h = 1,006t + x(2501 + 1,85t) \quad (4)$$

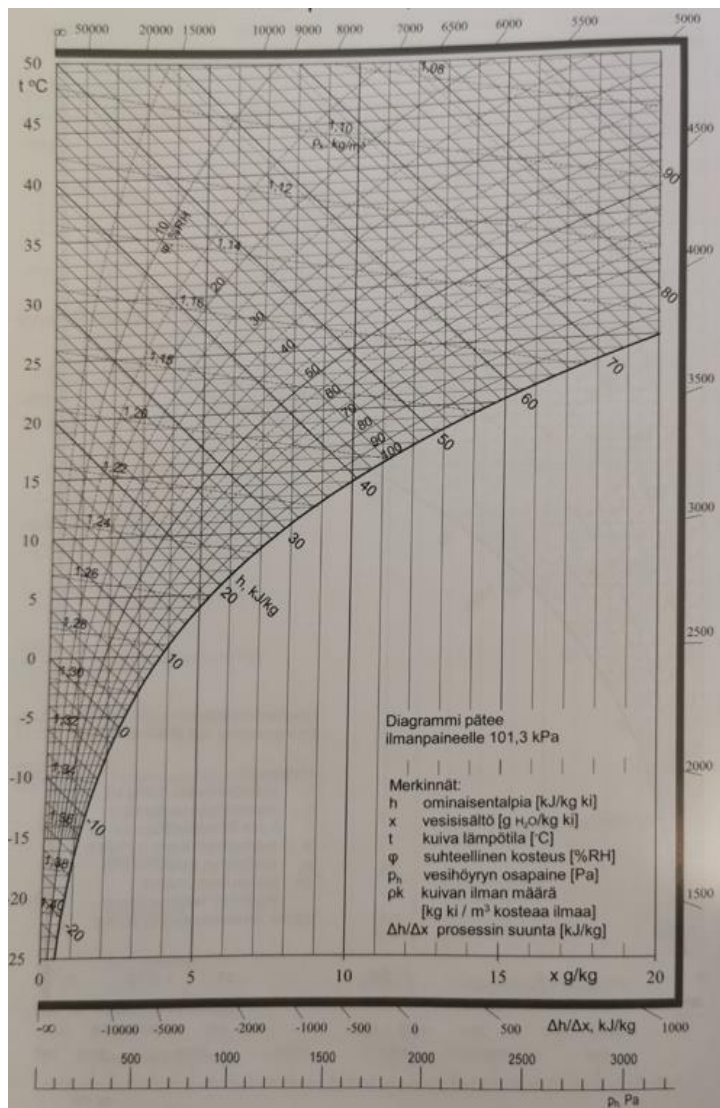
$h$  on ilman entalpia eli ilman lämpösisältö (kJ/kg)

$t$  on kostea ilman lämpötila (°C)

$x$  on ilman kosteus (kg/kg).

### 2.4 Mollier-diagrammi

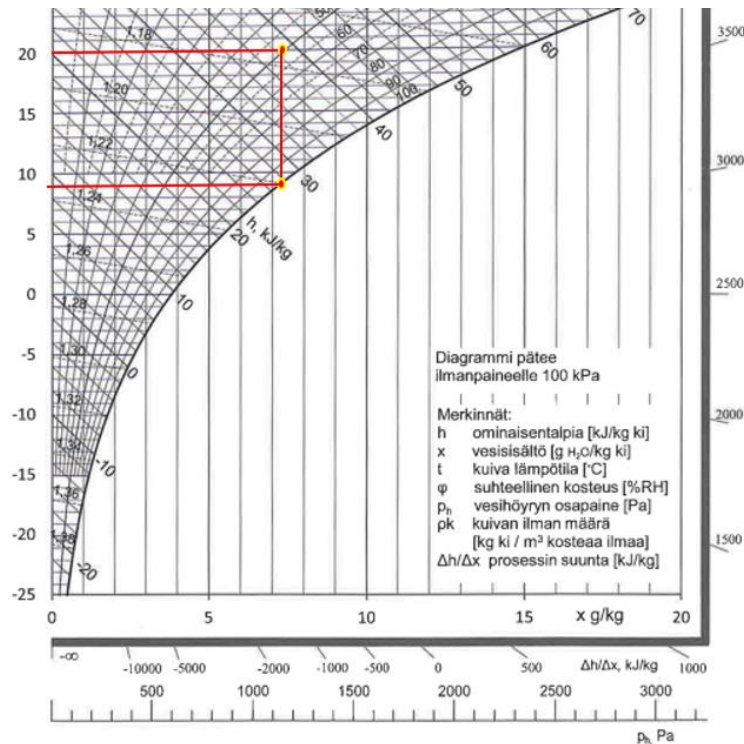
Mollierin diagrammi on ilmastointijärjestelmän suunnittelussa olennainen työkalu, koska se mahdollistaa ilman prosessin ominaisuuksissa arvon lukemisen eri olosuhteissa. Diagrammi on esitetty kuvassa 2 ja se on laajasti käytössä LVI-alalla ilmanvaihdon suunnittelussa ja prosessiteollisuudessa. Mollierista pystytään tarkastelemaan esimerkiksi ilmanvaihdon jäähdytyksen tai lämmityksen prosessia. Sen avulla voidaan suunnitella halutut sisäilman olosuhteet ja optimaalisin energiakulutus. [1.]



Kuva 2. Esimerkki Mollier-diagrammista tunnuksineen ja selityksineen [2, s. 84].

#### 2.4.1 Kostean ilman kastelämpötila

Ilman kastepisteellä tarkoitetaan sellaista lämpötilaa, jossa ilman kosteus on 100 %, ja jos ilma jäähtyy tämän pisteen alapuolelle, silloin ylimääräinen kosteus tiivistyy nesteeksi. Seuraavassa esimerkissä on esitetty prosessi, jossa jäähdytetty ilma päätyy kastepisteeseen. Kuvasta 3 huomataan tilanne, jossa ensimmäisessä tilapisteessä ilman lämpötila on 20 °C ja suhteellinen kosteus 50 %. Kun ilmaa jäähdytetään alle 9,7 °C, kosteus alkaa tiivistyä. [1. s, 191.]



Kuva 3. Ilman kastepistelämpötilan prosessin tarkastelu, jossa ilmaa jäähdytetään [2, s. 407].

## 2.5 Ilman kosteuden vaikutukset

Sisäilman kosteudella on merkittävä vaikutus ihmisten hyvinvointiin, joka vaikuttaa myös ihmisten viihtyvyyteen sisätiloissa. Liian korkeat ja alhaiset suhteellisen kosteuden arvot vaikuttavat ihon, limakalvojen ja hengitysteiden tuntemuksiin. Kosteuden vaikutukset voivat myös vaikuttaa epäsuorasti esimerkiksi ilman pölyisyyteen, staattiseen sähköisyyteen ja materiaalien lujuuteen. [4.]

Suhteellinen kosteus on tärkeää huomioida ilmanvaihtojärjestelmissä, koska se vaikuttaa potilaiden terveyteen ja mukavuuteen. Tutkimukset ovat osoittaneet, että 5–30 % suhteellinen kosteus on yhteyksissä kuivaksi koetun ilman sekä silmien ja ylähengitysteiden ärsytykseen. Kuivassa ilmassa hiukkaset leviävät helpommin, jolloin infektion riski myös kasvaa. [4.]

### 3 Kostutuksen käyttö

Kuiva ilma aiheuttaa ihmisille erilaisia oireita ja on myös eri mikrobeille ja pölylle suotuisa ympäristö. Kuiva ilma imee kosteutta kaikesta, mistä voi. Leikkauksessa olevan potilaan avohaava haihduttaa kudoksistaan kosteutta kuivaan ilmaan, mikä voi aiheuttaa komplikaatioita. Kostutuksen käytöllä voidaan vaikuttaa virusten ja pölyjen leviämiseen ilman kautta. Erilaisten tutkimusten mukaan optimaalisin suhteellinen kosteus on 40–60 %RH (ks. luku 2, kuva 1), mikä vaikuttaa merkittävästi potilasturvallisuuteen sairaalan eri osastoissa.

Eri maiden sairaaloissa suositaan erityisesti höyrykostutuksen käyttöä, koska se on hygieenisin vaihtoehto sen prosessin takia. Höyryä tuottaessa vesi kuumennetaan korkeaan lämpötilaan, mikä tuhoaa epäpuhtaudet ja on siksi paljon energiaa kuluttava prosessi. Luvussa 4 käydään läpi kyselytutkimusta, josta ilmenee Suomessa käytettyjä kostutustapoja ja kokemuksia kostutuksen käytöstä sairaaloissa. Alankomaissa tutkittiin 20 sairaalan käytäntöjä liittyen kostutuksen käyttöön ilmanvaihdossa. Kaikissa sairaaloissa käytetään ilmankostutusta osana ilmanvaihtojärjestelmää. Alankomaissa tehdyn selvityksen mukaan sairaaloista vastaajista 72 % käyttää höyrykostutusta ja loput 28 % käyttää yhdistelmänä höyry- ja vesikostutusta. [5.]

#### 3.1 Staattinen sähkö ja suhteellisen kosteuden hallinta

Useimmissa sairaaloissa on käytössä ilmanvaihdon kostutus sairaalahygienian ja potilasturvallisuuden takia. On myös laitteita, joilla on tietty %RH vaatimus toimiakseen tehokkaasti. Ilmankosteuden ollessa alle 40 % syntyy merkittävä ESD-riski eli sähköstaattisen purkauksen riski. Staattisen sähkön standardi terveydenhuollon staattisen sähkön hallinnassa todetaan seuraavasti:

ESD-todennäköisyyttä voidaan tehokkaasti vähentää optimoimalla kosteustasoja, bipolaarisella ionisoinnilla, asianmukaisilla materiaallivalinnoilla, henkilömaadoituksella ja siirrettävien metalliesineiden maadoituksilla [6].

Käyttämällä oikeita materiaaleja, kuten sähköä johtavia jalkineita ja puuvillasta tehtyjä vuodelakanoita, voi vähentää ESD:n riskiä. Kostutus vähentää mutta ei poista kokonaan sähköpurkautumisen riskiä. [5.]

## 3.2 Ulkomaiden standardit ja käytännöt kostutuksesta

### 3.2.1 Saksan standardi DIN 1946-4

Saksassa standardi ”Raumlufftechnik – Teil 4: Raumlufftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens” käsittelee vaatimuksia ilmanvaihtojärjestelmälle rakennuksissa ja huoneissa, joissa toteutetaan terveydenhoitopalveluita. Ilmanvaihtojärjestelmiä suunniteltaessa ulkoilmavirta määritetään pääasiassa sisäisistä kuormista kuten potilaiden lukumäärästä sekä muista huonetilojen käyttötarkoituksista, kuten suhteellinen kosteus, lämpö ja epäpuhtaudet. Standardin taulukossa 1 on määritelty nämä arvot.

Standardissa esitetään myös suodattimen tasoja, jotka ovat pakollisia epäpuhtauksien ja pieneliöiden poistamiseksi. Suodatinluokat ovat:

- 1. Suodatinluokka: Ainakin luokan F5-suodattimia. Suositellaan kuitenkin F7-suodattimia
- 2. Suodatinluokka: F9-suodattimet
- 3. Suodatinluokka: Luokan H13 HEPA-suodattimet. [7, s. 24.]

Mikäli suhteellinen kosteus on suurempi kuin 90 % RH ja lämpötila  $> 0$  °C, niin on yleisenä vaatimuksena tarpeellista tehdä muutoksia mikrobien kasvujen estämiseksi erityisesti suodattimissa ja vaimentimissa esimerkiksi lämmittämällä näitä komponentteja noin kolmella Kelvin-asteella [7, s. 25–26].

Ilmankostuttimet tulee suunnitella niin, että vesipisaroita ei muodostu tuloilman ilmavirtaukseen laitteen vikaantuessa tai laitteen ilmavirtauksen määrän pienentyessä. Suhteellinen kosteus saa olla enintään 90 %RH kostutetun alueen päädyssä. Kostutettu alue on mitoitettava riittävästi ja on varmistettava tasaisen



höyryn jakautuminen alueella tuloilman päätelaitteen poikkileikkauksen yli. [7, s. 28.]

### 3.2.2 Yhdysvaltojen standardi ASHRAE 170

ASHRAE on vuonna 1894 perustettu globaali järjestö. Järjestö ja sen jäsenet keskittyvät rakennuksen järjestelmiin, energiatehokkuuteen, sisäilman laatuun ja jäähdytykseen. Tutkimusten ja standardien kautta ASHRAE vaikuttaa tulevaan ympäristöön.

ASHRAE 170 -standardi käsittelee yhdysvallan ilmanvaihtoa ja sisäilman laatua terveydenhuollon ja sairaaloiden tiloissa tai muissa vastaavissa rakennuksissa. ASHRAE 170 -standardi tarjoaa ohjeistuksia ja määräyksiä terveydenhuollon tiloja suunnitteleville asiantuntijoille ja toimijoille. [8.] Standardin valmis julkaistu versio julkaistiin vuonna 2017. Se on yhdessä työstetty terveydenhuollon asiantuntijoiden, LVI-insinöörien ja muiden tutkijoiden kanssa. Standardi tarjoaa laajaa yksityiskohtaisia mitoitusarvoja erityyppisille tiloille kaikissa sairaalan hoitolaitoksissa ja muissa terveydenhuoltoon liittyvissä laitoksissa. Standardista löytyy suunnittelua tukevia kosteuteen ja epäpuhtauksiin liittyviä mitoitusaulukoita seuraavista:

- Hoitoyksiköt ja muut potilaan hoitoalueet esimerkiksi synnytysosastot ja leikkaussalit
- Mielenterveyslaitokset esimerkiksi asukkaiden huoneet.
- Diagnostiikka ja hoito esimerkiksi ECT-toimenpide huone ja lääkintä- ja hoituhuoneet
- Potilaiden tukipalvelut esimerkiksi apteekit.
- Yleiset palvelut ja sterilisoimisen prosessit esimerkiksi tilat, joissa säilytetään kirurgisia toimenpiteitä vaativia työkaluja.
- Muut tilat kuten ruumiinavaushuoneet ja vaarallisten materiaalien säilytys huoneet.
- Yleiset tilat avohoitopotilaille. Näille tiloille on omat mitoitusarvonsa kuten potilaiden tutkimus- ja tarkkailuhuoneet ja hätätilanteen odotustilat.
- Tietyt avohoitopotilasyksiköt, joissa on lähes kaikissa tiloissa vaatimukset suhteelliselle kosteudelle. Näitä ovat esimerkiksi alueet,

joissa hoidetaan syöpää, leikkaussalit ja potilaiden palautumiselle tarkoitettut alueet. [8.]

### 3.2.3 Iso-Britannian standardi HTM 03-01

Iso-Britannian Health Technical Memoranda (HTMs) Part A kertoo terveydenhuollon ilmastointijärjestelmien suunnittelusta, asennuksista ja ilmanvaihdon testauksesta. Muistio antaa kattavan tiedon eri aihealueen vaatimuksista ja lain mukaisista asetetuista asetusarvoista. [9, s. 5.] Asiakirja on suunnattu määrittäjille, suunnittelijoille, toimijoille, asentajille ja kiinteistöjä ja tiloja hallitseville sekä toimintaa harjoittaville henkilöille. Ilmanvaihdon kustutusta suunniteltaessa tulee suhteellisen kosteuden olla alle 70 %RH, jotta minimoidaan mahdolliset kondensaatiot ja homekasvut. Alirajaa suhteelliselle kosteudelle ei ole. [9, s. 32.]

HTM on virallinen ohjeistus, joka koostuu kahdesta osasta:

1. Osa A: Konsepti, suunnittelu, määrittely, asennukset ja ilmanvaihtojärjestelmän testaus
2. Osa B: Hallinta, käyttö, huolto ja rutiininomainen testaus olemassa olevista ilmanvaihtojärjestelmistä terveydenhuoltolaitoksissa. [9, s. 5].

HTM valmistettiin alun perin COVID-19-pandemian takia, jonka aiheutti SARS-CoV-2 [9, s. 2]. Muistion mukaan ilmanvaihdon arvoja on muunneltu niin, että sen pitäisi tehdä ympäristöstä vähemmän riskialttiita. Käytössä olevien tilojen suhteellinen kosteus vaihtelee 30 % ja 70 % välillä, mutta ei saa missään tapauksessa ylittää arvoa 70 %. [9, s. 33.] Tutkimuksen mukaan tietyn suhteellisen kosteuden nousu ilman laadussa korreloi vahvistettujen koronatartuntojen kanssa, joten voidaan olettaa kustutuksella olevan vaikutusta asiaan [10]. Kuvan 1 mukaan (ks. luku 2) viruksen kannalta optimaalinen %RH olisi 50–70 % paikkeilla, mikä ei suosi ollenkaan viruksia. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon muut sienet, bakteerit ja homeistuminen ja asettaa optimaalinen asetusarvo, mikä vähentää kaikkien epäsuhtaisuuksien riskiä.

Kosteuden ja lämpötilan hallinta tapahtuu mitoitettaessa huoneolosuhteiden mukainen ilmanvaihto ja ottaen huomioon kaikki lämpökuormat ja mahdolliset kosteusvaatimukset. Huoneen suhteellinen kosteus tulee pitää alle 70 %:ssa, jotta voidaan minimoida mahdolliset riskit kondensaatiolle ja homeen kasvulle. [9, s. 16.]

#### 3.2.4 Standardien suunnitteluarvojen vertailuja

Taulukossa 1 on listattu eri maiden standardeja erityyppisille tiloille. Verratessa eri maiden käytäntöjä ja asetettuja arvoja samoille tiloille huomataan eroja. Te-hohoidossa käytetään liki samaa %RH-arvoa, mutta Iso-Britanniassa vaihteluväli on suurempaa ja joustavampaa. Maiden suunnitteluarvojen vertailussa huomataan suositellun suhteellisen kosteuden maksimiarvon olevan 60 % eristystiloissa, mikä on optimialueen raja suhteelliselle kosteudelle. (kts. kuva 1) Taulukossa käytetyt arvot ovat %RH eli suhteellinen kosteus ja lämpötila °C.

Taulukko 1. Vertailuarvoja samantyyppisissä tiloissa eri maiden välillä [5; 6; 7].

Eri tilatyytit	Saksa	Yhdysvallat	Iso-Britannia
Tehohoito	Huoneen kosteus 30–60 %RH Huoneen lämpö- tila 22–26 °C	Huoneen kosteus 30–60 %RH Huoneen lämpö- tila 21–24 °C	Huoneen kosteus 70 %RH maksimi Huoneen lämpö- tila 20–28 °C
Leikkaussalit	Huoneen kosteus - %RH Huoneen lämpö- tila 19–26 °C säädettyvä läm- pötila	Huoneen kosteus 20–60 %RH Huoneen lämpö- tila 20–24 °C suunniteltu läm- pötila	Huoneen kosteus 30–70 %RH Huoneen lämpö- tila 18–22 °C kui- valämpötila
Odotustilat	Huoneen kosteus 30–60 %RH Huoneen lämpö- tila Huoneen lämpö- tila 22–26 °C	Huoneen kosteus - %RH Huoneen lämpö- tila - °C	Huoneen kosteus - %RH Huoneen lämpö- tila 18–22 °C
Heräämöt	Huoneen kosteus - %RH Huoneen lämpö- tila 22–26 °C	Huoneen kosteus maksimi 60 %RH Huoneen lämpö- tila 21–24°C	Huoneen kosteus - %RH Huoneen lämpö- tila 18–25 °C
Eristystilat	Huoneen kosteus 30–60 %RH Huoneen lämpö- tila 22–26 °C	Huoneen kosteus 60 %RH maksimi Huoneen lämpö- tila 21–24°C	Kategoria 2 ja 3 huoneen kosteus 60 %RH maksimi Huoneen lämpö- tila 20–25°C BMS kontrolloitu

Saksan standardissa DIN1946-4 on eri tilojen suunniteltu maksimilämpötila 26 °C, kun taas Yhdysvalloissa 24 °C ja Iso-Britanniassa vaihtelevampaa. Muita tiloja kuten leikkaussalit, heräämöt ja apteekit on suunniteltu todennäköisesti sairaaloiden omien IV-suunnittelijoiden suositusten mukaisesti kokemuserusteisesti tai paikan omien käytäntöjen mukaisesti.

Yhdysvaltojen standardissa on määritelty jokaiselle tilalle lämpötila- ja kosteusvaatimukset. Iso-Britannian standardissa on määritelty eristystilat neljään eri kategoriaan, joista ensimmäiseen kategoriaan kuuluvat tilat ovat epätodennäköisesti sairauksia levittäviä tiloja. Neljänteen kategoriaan kuuluvat vakavat ihmis-taudit, jotka ovat erittäin vaarallisia yhteiskunnallemme. Näiden ilmanvaihdon suunnittelusta päättävät asiakkaat itse. [9, s. 81.] Kategoriat 2. ja 3. ovat perusinfektio-osastotiloja, joiden lämpötilat vaihtelevat välillä 20–25 °C ja suhteellinen kosteus vaihtelevaa, mutta kuitenkin maksimissaan 60 %RH. Näitä kahta kategoriaa on määritelty seuraavasti:

- **Kategoria 2:** Kaikki biologiset tekijät, jotka voivat aiheuttaa ihmiselle sairauksia tai ovat muutoin terveydelle haitaksi, eivät todennäköisesti leviä ympäristöön ja on yleensä ennaltaehkäisytettävissä.
- **Kategoria 3:** Kaikki biologiset tekijät, jotka voivat aiheuttaa vakavan sairauden ihmiselle, on riski leviämislle ympäristöön ja on yleensä estettävissä tai hoidettavissa. [9.]

### 3.3 CEN/TC 156/WG 18 EU:n standardiluonnos ilmanvaihdolle sairaaloissa

Euroopan standardijärjestön tekninen komitea CEN on kehittänyt standardia terveydenhuollon tilojen ilmanvaihdolle ja ilmanlaadulle. Tämä standardiluonnos toimii Euroopassa kattavana suunnitteluohjeena sairaaloiden ilmanvaihdon osalta. Joillain valtioilla on omat ohjeensa ja standardinsa, jotka käsittelevät ilmanvaihtoa ja kosteusvaatimuksia sairaalan tiloissa. Näitä standardeja kehitetään jatkuvasti ajan myötä. Tämän standardin tavoitteena on luoda yhtenäinen ilmanvaihdon suunnitteluohje tiloille, joissa tarjotaan terveydenhoitoon liittyviä palveluita Euroopassa. [11.]

#### 3.3.1 Kostuttimet

Hallittaessa tilojen sisäilman suhteellista kosteutta, täytyy käyttää kostuttimia. Kostuttimien tulee olla tarkasti säädettäviä, jotta niiden avulla voidaan ylläpitää mahdollisimman optimaalista kosteustasoa sitä tarvitsevilla tiloissa. Kostuttimet tulee suunnitella siten, ettei järjestelmissä esiinny märkiä pintoja tai muuten

vettä kondensoivia alueita, koska ne aiheuttavat pieneliöiden, mikrobien kasvua ja korroosiota. [11.]

Hygieniasyiden takia kaikkien kostutintyyppien tulee olla höyrykostuttimia ja niiden täytyy olla EN 13053 vaatimuksien mukaisia [11, s. 61]. Vaatimukset standardin mukaan ovat:

- sisäänrakennetut osat, kuten pisaroiden erotuslaitteet, suuttimet ja putket ovat irrotettavia
- kaikki vesijohtoputket ovat korroosiota kestäviä
- teline on valmistettu korroosiota kestävästä materiaaleista, kuten ruostumattomasta teräksestä tai alumiinista
- tarkastusikkuna (vähintään halkaisijaltaan 150 mm) ja sisäinen valaistus
- jos desinfiointimenetelmän käyttö on tarpeen mikrobien kasvun estämiseksi, tulee käyttää ainoastaan menetelmiä, joiden tehokkuus on osoitettu käytännössä ja jotka ovat todettu turvallisiksi terveyden kannalta. Desinfiointiaineiden ei tule päästä huonetilaan ilmankostutusprosessin kautta. [12, s. 48.]

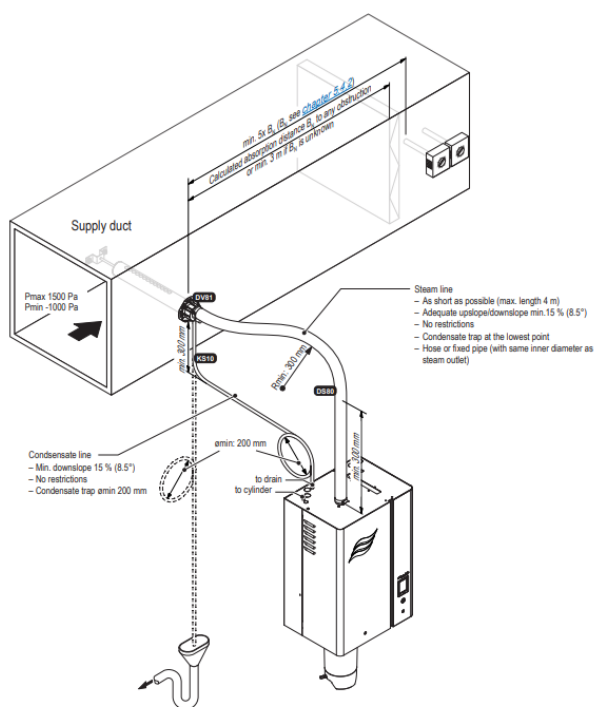
### 3.4 Tekniset ratkaisut

Sisäilman kostutusjärjestelmässä tulee olla suodatettua vettä ja järjestelmä säännöllisesti huollettu, jotta se ei lisää sisäilman epäpuhtauksia. Höyrystävät kostuttimet ovat turvallisempia kuin muut kostuttimet. [13, s. 4.]

#### 3.4.1 Höyrykostutin

Höyrykostutin on potilasturvallisuuden kannalta turvallisin vaihtoehto sairaaloille tai laboratorioille. Se on käytetyin kostutusmenetelmä sairaaloissa, koska se on hygieenisistä syistä turvallisin vaihtoehto. Sairaaloissa tarkka kosteuden seuranta on äärimmäisen tärkeää virusten ja bakteerien kannalta, jonka takia höyrykostutin on hyvä vaihtoehto helpon säätelyn ja suuren kosteuden tuoton kannalta. Ilman kostuttaminen höyryllä ei tarvitse erikseen prosessoitua vettä, koska höyrystymiseen käytetty vesi kuumennetaan sähköisesti 100 °C asteeseen, mikä tuhoaa bakteerit ja virukset.

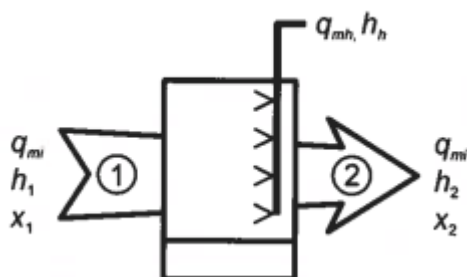
Järjestelmiä on helppo asentaa olemassa olevaan ilmanvaihtojärjestelmään tai jälkiasennuksena. Kuvassa 4 on esitetty esimerkiasennus Condairin valmistama RS-mallinen höyrykostutinlaite. Höyrykostutin on pienehkö laite, ja se tulee sijoittaa lähelle kanavaa, jotta laitteen höyryletkun pituus on mahdollisimman lyhyt, korkeintaan neljä metriä. [14, s. 28.]



Kuva 4. Esimerkkiasennus Condair-merkkisestä höyrykostuttimesta kanava-asennuksena [14, s. 35].

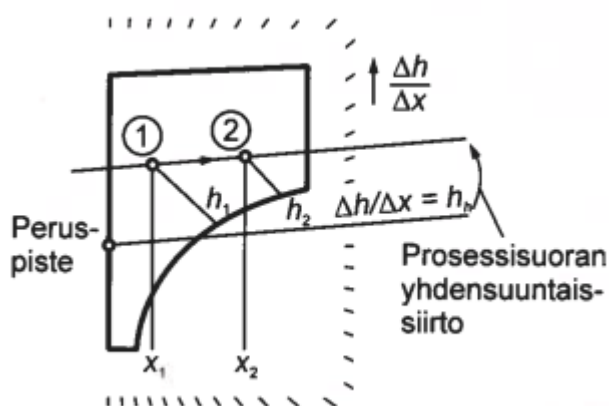
Huoltaminen on helppoa, koska käytössä kerääntyvä kalkki poistetaan laitteesta erillisellä kalkinkeruusäiliöllä. Myös veden poistaminen tapahtuu Condair RS-höyrykostuttimessa nappia painamalla. Höyrykostutinjärjestelmän huoltotoimenpiteiden laiminlyönti aiheuttaa kalkkeutumista vesiletkuihin ja kasvustoa kanaviin. Asennuksessa täytyy myös huomioida höyryjakelijoiden etäisyydet, mikä varmistaa optimaalisen tehon ja toimivuuden ilman ongelmia tai muita kosteusvaurioita. [15.] Nämä ovat usein esitetty absorptioetäisyytenä ja määritelty kostutinlaitteiden teknisissä esitteissä.

Höyrykostuttimen käyttö ei kuitenkaan ole energiatehokasta, sillä sen jatkuva sähköinen käyttö veden höyrystämiseen on kallista. Esimerkiksi 1500 l/s vaativan tilan kostuttamiseen pärjätään noin 30 kW:lla höyrykostuttimella. Kostutuksen kustannuksia tarkastellaan myöhemmin luvussa 5.1. Kostutinlaitteistoissa on usein lämmityselementti, joka keittää säiliössä olevaa vettä. Vesisäiliössä olevaa vettä seurataan anturilla, joka ohjaa venttiiliä säiliön täyttöä varten. Höyrystynyt vesi johdatetaan höyryputkea pitkin kanavistoon kuvan 5 mukaisesti.



Kuva 5. Prosessi, jossa höyryllä kostutetaan ilmaa. Höyry kuljettaa mukanaan lämpöä ja vettä. [16, s. 95.]

Kuvassa 6 esitetään kostutusprosessi, jossa höyrynjakoputki on kanavassa. Liikakostuttaminen höyryllä aiheuttaa kanavistoon lauhdevettä.



Kuva 6. Höyrykostutuksen prosessisuora Mollier-diagrammissa [16, s. 95].



Kuva 6 esittää höyrykostutuksen prosessia diagrammissa, jossa tilapisteessä 1 on alkutilanne ja siinä ilmaa kostutetaan matalapaineisella höyryllä. Tilapiste 2 on prosessin jälkeinen tila, jossa on siirrytty kostempaan ilman olotilaan. [16, s. 95.] Lämpö ja vesimäärä ilmaistaan ilmavirran lämpötilasta ja kosteusasteesta, jonka jälkeen voidaan määrittää höyrykostutuksen siirtymistä ja ominaisuuksien muutosta ilmavirrassa kaavoilla 10–12.

$$q_{hm}h_h = q_{im}(h_2 - h_1) \quad (10)$$

$$q_{hm} = q_{im}(x_2 - x_1) \quad (11)$$

$$h_h = \frac{h_2 - h_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta h}{\Delta x} \quad (12)$$

$q_{im}$  on ilmamäärän tilavuusvirta ( $\text{dm}^3/\text{s}$ )

$q_{hm}$  on höyryn tilavuusvirta ( $\text{dm}^3/\text{s}$ )

$h_h$  on höyryn ominaisentalpia ( $\text{kJ}/\text{kg}$ )

$x$  on kosteussisältö ( $\text{kg}$  vettä/ $\text{kg}$  kuivaa ilmaa).

### 3.4.2 Ilman kostuttaminen vedellä

Hyvä sisäilman kostutuslaite sisältää itse laitteen ja altaan lisäksi ohjaus- ja pisanerotuslevyystön, kiertovesiputkiston, suodattimen, kiertovesipumpun, venttiilin, painemittarin ja ylivuotoputken. Ilmavirran nopeudeksi määritetään 1,5–2,5 m/s pisanerotuslevyystön lävitse, jotta ei muodostuisi ylimääräisiä vesipisaroita. Laitteiston vesisäiliössä oleva kostutusvesi on hyvä vaihtaa ajoittain. Kostutusvesi väkevöityy suolapitoisuuden suhteen, koska se sitä ei poistu esimerkiksi vesihöyryn mukana höyrykostutuksen tuottamisessa. Kostutuksen säätö tapahtuu venttiilin avulla kiertoveden puolella tai tuloilmapuolella säätösäleikköjen avulla. [16, s. 94.]

Kapillaarikostuttimessa kostutinosaan voidaan tuoda vettä niin, ettei siihen tuoda eikä viedä lämpöä pois. Prosessi on adiabaattinen, koska se on

lämpöeristetty ympäristöstään. [16, s. 94.] Veden massavirtaa eli ilmaan siirtynyttä vettä voidaan esittää seuraavalla tavalla kaavassa 8 [1. s, 193].

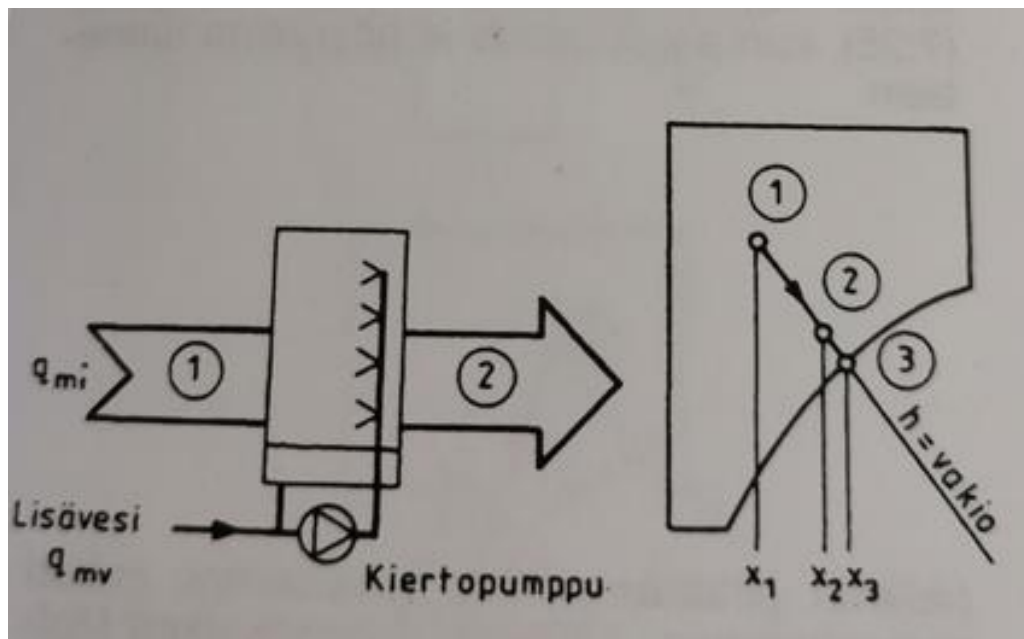
$$q_{mv} = q_{mi} * (x_2 - x_1) \quad (8)$$

$q_{mv}$  on veden massavirta (kg/s)

$q_{mi}$  on ilman massavirta (kg/s)

$x$  on ilman kosteus (kg/kg).

Tämän sekoittamisen aikana ilmassa ei ole kyllästettyä vesihöyryä, vaan ilman tilaa määrittää kosteuslaitteen hyötysuhde [1. s, 194]. Kuvassa 7 havainnollistetaan ilman kostutuksen prosessia kiertovedellä.



Kuva 7. Ilman kostutus kiertovedellä [16, s. 93].

Kaavalla 9 lasketaan hyötysuhde prosentteina, jossa kostutus etenee suurimmasta arvostaan.

$$\eta = \frac{l_2}{l_3} * 100 \% = \frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_1} * 100 \% \quad (9)$$

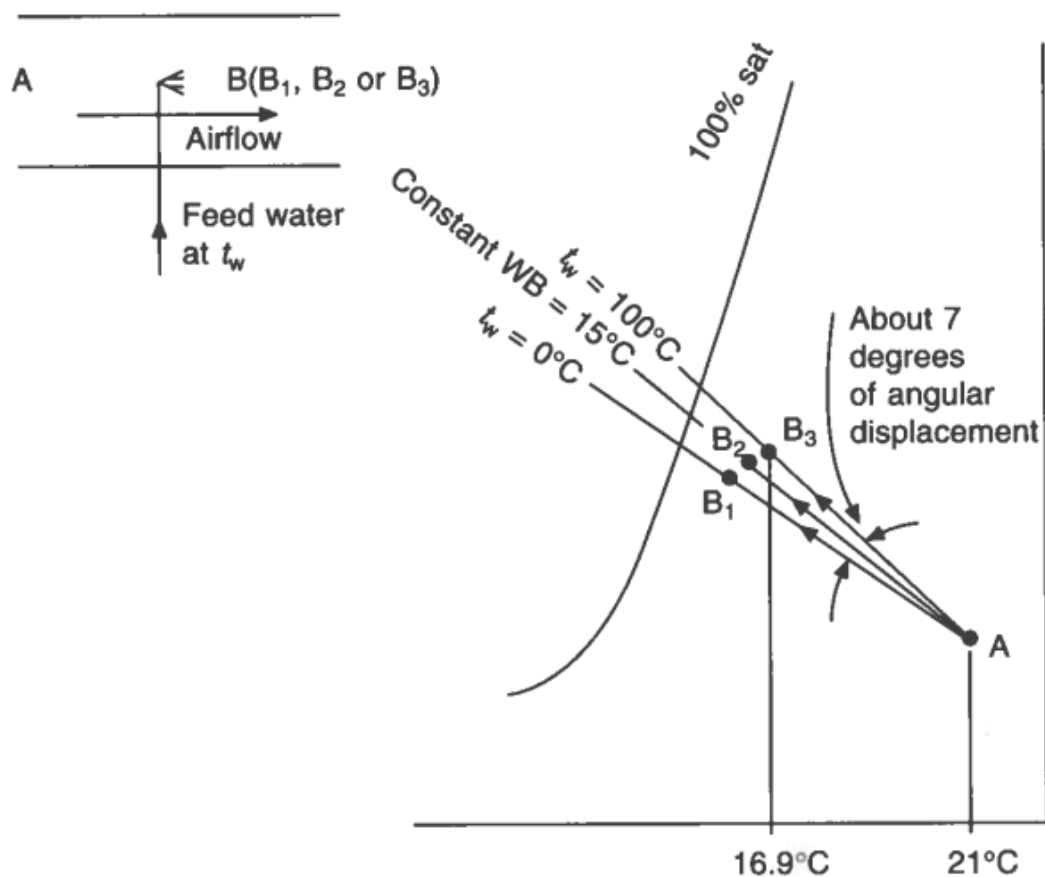
$\eta$  on kostutuslaitteen hyötysuhde (%)

$l$  on janan pituus Mollier-diagrammissa (mm)

$x$  on ilman kosteus (kg/kg).

### 3.4.3 Sumukostutin

Sumukostutin on menetelmä, jossa kostuttimen suutin on kanavassa tai paikassa, jossa ilmavirta kulkee. Suuttimesta ruiskutetaan vettä, jonka jälkeen vesi höyrystyy. Kuvassa 8 on esitetty prosessi psykrometrisessä diagrammissa.



Kuva 8. Kostutusprosessi psykrometrisessä esitettyinä, jossa ruiskutettu vesi haihtuu [17, s. 52].

Sama prosessi esitettyinä mollierin diagrammissa kuvassa 9.



ja se etenee vakion märkälämpötilasuoran mukaisesti. Tilan muutos A:sta B<sub>3</sub>:een tapahtuu, kun vettä ruiskutetaan 100 °C:n lämpötilassa. [17, s. 54.]

Ylimääräistä vettä ei jää kammion pohjalle, mikä tarkoittaa veden täydellistä haihtumista. Piste B lähenee prosessissa kyllästymiskäyrää, mutta kuinka lähelle, niin se riippuu syötetyn veden määrästä. [17, s. 52.]

Kun tiedetään höyrystetyn veden määrän syötössä, voidaan kaavalla 13 laskea kohdassa B kosteustaso ilmavirtauksessa syöttöalueen jälkeen.

$$g_b = g_a + m_w \quad (13)$$

$g_b$  on ilman kosteus pisteessä B (g/kg)

$g_a$  on ilman kosteus pisteessä A (g/kg).

Höyrystetty vesimäärä syötössä  $m_w$  kg/kg kuivaa ilmaa höyrytilassa. Tähän voidaan soveltaa myös lämpötasapainoa, sillä syötettäessä vettä 0 °C ei tapahdu entalpiamuutoksia ilmavirtauksessa. [17, s. 53.]

$$h_a + h_w = h_b \quad (14)$$

$$= (1,007t_b - 0,026) + g_b(2501 + 1,84t_b) \quad (15)$$

### 3.5 Tuloilman kuivaus

Kesäisin ilma on kosteampaa verrattuna talveen, jolloin tuloilman kuivaaminen on tarpeellista potilaiden mukavuuden ja hyvinvoinnin kannalta. Rakennuksen rakennemateriaalit kärsivät suhteellisen kosteuden ollessa yli 30 % tiloissa, joissa kostutusta ei tarvita. Kosteuden poistamiseen on neljä hyvää tapaa:

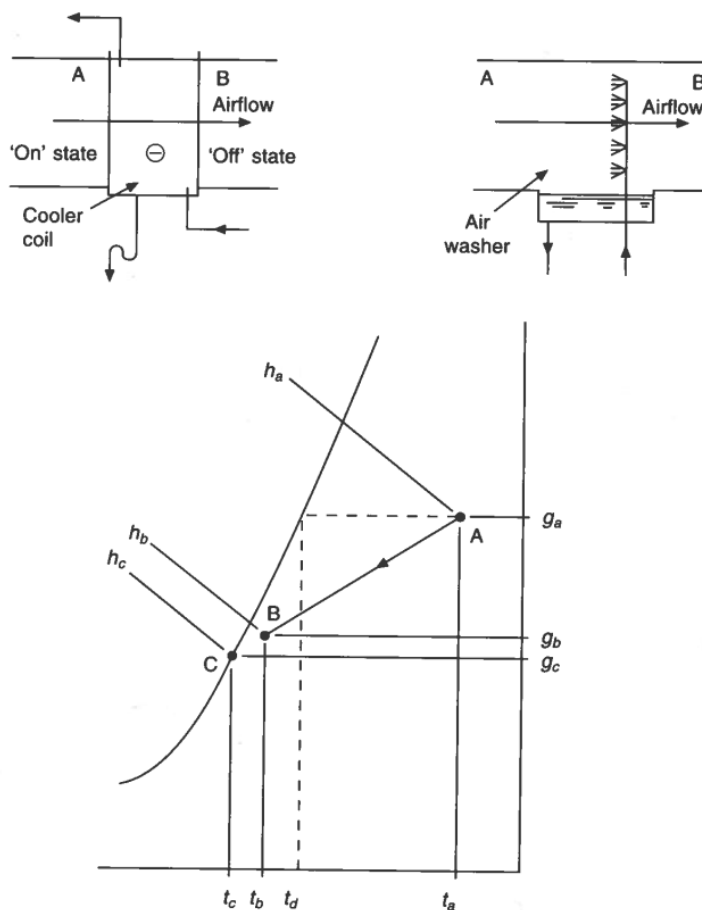
1. Ilman jäähdyttäminen kastepisteen alapuolelle.
2. Pintaan pidättyminen betonitekniikassa käytetty tapa. Adsorptio.

## 3. Absorptio.

## 4. Kompressointi ja jäähdytys. [17, s. 45.]

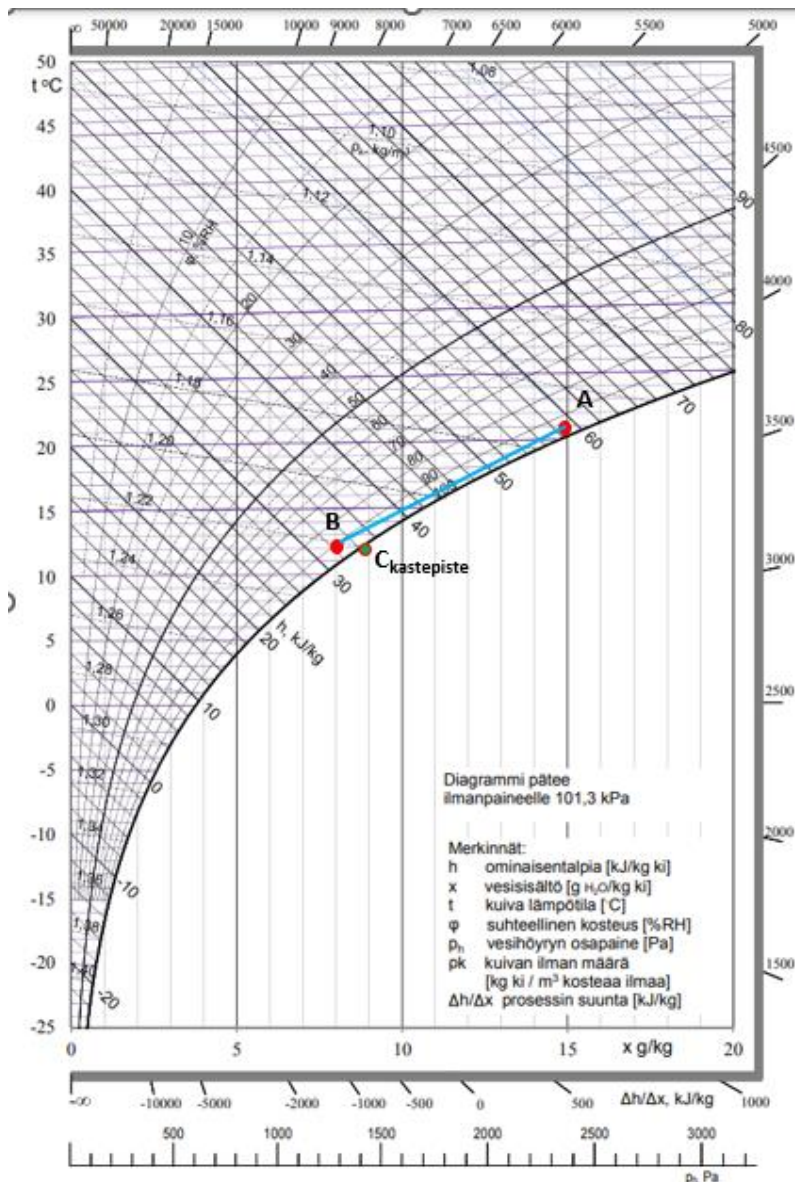
Ensimmäinen kuivatustapa on käytännöllisin ja usein käytetty tapa [17, s. 58]. Jäähdytetään ilma jäähdytyspatterin läpi, jossa virtaa kylmää nestettä, mikä on usein vesiglykoli-seos sen matalan jäätymispisteen takia. 30 % vesiglykoli-seoksessa jäätymispiste on  $-13,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kun taas pelkästään veden on  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [18.] Puh- taassa glykolissa on taas vielä matalampi jäätymispiste [19, s. 15].

Täytyy myös kuitenkin ottaa huomioon mahdollinen jäätymisvaara. Kuvassa 10 on esitetty kostutuksen kuivatusprosessi menetelmällä, jossa ilma kuljetetaan jäähdytyspatterin läpi.



Kuva 10. Kosteuden kuivatus jäähdytyksellä psykrometrinen kuvaus [17, s. 45].

Sama prosessi esitettyinä mollierin diagrammissa kuvassa 11.



Kuva 11. Absoluuttinen kosteus pisteessä A 15 g/kg ja pisteessä B 7 g/kg. [2, s. 408].

Kuvassa 10 ja 11 nähdään tapahtumasarja, jossa kosteaa ilmaa kuivatetaan. Pisteessä A kostea ilma menossa jäähdytyspatterin lävitse, jonka jälkeen pisteessä B kostea ilma on kulkenut jäähdytyspatterin lävitse ja lämpötila on nyt alhaisempi. Lopuksi piste C tarkoittaa kostutuksen kyllästymispistettä. Suihkutettu vesi patterissa tai osa jäähdytyspatterista pitää olla matalampi lämpötila kuin tuulilman kastepistelämpötila, kun kostea ilma on komponenttien kanssa

kosketuksissa. Harvoin puhutaan jäähdytyspatterin hyötysuhteesta, joten käytetään eri termejä kuten "contact factor" eli kosketuskerroin ja "by-pass factor" eli ohituskerroin.

Kosketuskertoimella tarkoitetaan sitä ilmamäärää, mikä menee jäähdytyspatterin läpi samalla, kun se osuu siihen. Ohituskertoimella taas tarkoitetaan sitä ilmamäärää, mikä ei onnistu olemaan kosketuksessa jäähdytyspatterin kanssa menemällä tästä ohitse. [20, s. 119.] Jäähdytyspatterin "contact factor" voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$\beta = \frac{g_a - g_b}{g_a - g_c} = \frac{h_a - h_b}{h_a - h_c} \quad (16)$$

$g$  on ilman kosteus kuivaa ilmaa kohden pisteessä A (kg/kg)

$h$  on ilman märkälämpötila (°C)

$t$  on kuivalämpötila (°C).

Samaan tapaan voidaan laskea "by-pass factor"

$$(1 - \beta) = \frac{g_b - g_c}{g_a - g_c} = \frac{h_b - h_c}{h_a - h_c} \quad (17)$$

Nämä lausekkeet voidaan muuttaa kuivalämpötilaehtojen mukaisiksi lausekkeiksi:

$$\beta = \frac{t_a - t_b}{t_a - t_c} \quad (18)$$

$$(1 - \beta) = \frac{t_b - t_c}{t_a - t_c} \quad (19)$$

Laskennassa voidaan käyttää myös märkälämpötilan arvoja, jos mukana olevien arvojen tilapisteet eivät ole kaukana toisistaan ja sallitaan pientä epätarkkuutta. Märkälämpötilan arvoasteikko ei ole psykrometrisessä kaaviossa lineaarinen, joten sitä käyttäessä mittavirhe on todennäköisempää. [17, s.45–46.]



### 3.6 Granlundin suositukset ja suunnitteluohjeet

Suomessa kostutusjärjestelmiä on suunniteltu kokemusperusteisesti. Granlund Oy:ssä on sairaaloihin perehtyneitä asiantuntijoita, jotka ovat palvelleet lähes kaikkia Suomen sairaanhoitopiirejä. Yhdessä asiantuntijoiden kanssa he ovat luoneet mitoitustaulukon sairaalan sisäilmastolle. Granlundilla on käytössä sairaaloille tarkoitettu sisäilmaston mitoitusohje, jonka lähtökohtana on sisäilmasto- luokitus 2018, ja FINVAC ry:n oppaat. Taulukossa 2 esitetään Granlundin suositukset ja ohjeet suhteelliselle kosteudelle sairaalan eri tiloissa.

Taulukko 2 Granlundin käyttämiä mitoitusarvoja [21].

Tilat	Kesän olosuhteet	Talven olosuhteet
Leikkaussalit	Huoneen kosteus <60 %RH Huoneen lämpötila 18–26 °C	Huoneen kosteus <60 %RH Huoneen lämpötila 18–26 °C
Kuvantamisen tilat	Huoneen kosteus laitetoimittajan vaatimusten mukaan Huoneen maksimilämpötila 26 °C	Huoneen kosteus laitetoimittajan vaatimusten mukaan Huoneen lämpötila 22 °C
ATK-konesalit	Huoneen kosteus 55 %RH Huoneen maksimilämpötila 25 °C	Huoneen kosteus 45 %RH Huoneen lämpötila 21 °C
Allashoitotila	Huoneen kosteus 60 %RH Huoneen maksimilämpötila 26 °C	Huoneen kosteus 40 %RH Huoneen lämpötila 23 °C

## 4 Kyselytutkimus

Tässä tutkimuksessa kyselylomake osoittautui parhaaksi menetelmäksi tutkimuksen toteuttamiseen. Ennen lomakkeen laatimista tehtiin perusteellinen kartoitus Suomen sairaaloissa. Tarkoituksena oli löytää tekniikasta vastaava

esihenkilö, joka osaisi vastata sairaalansa kustutusjärjestelmästä. Haastavinta oli näiden henkilöiden löytäminen, koska monella vastaajista oli toisestaan eroavia titteleitä eikä sairaalan infopisteistä osattu aina osoittaa oikeaa henkilöä. Kyselylomakkeen vastaajana oli mm. sairaalan lvi-insinööri sekä huolto- ja käyttöpäällikkö.

Kyselylomake luotiin Microsoft Office -ohjelmalla. Kysymyksiä oli aluksi liikaa ja ne olivat hieman epäselviä. Kysymyksiä myöhemmin muokattiin ja karsittiin sellaiset, jotka eivät olleet niin oleellisia aiheen kannalta. Kysymyksiä oli lopulta 12 kappaletta. Kysely koostui pääosin kysymyksistä, joiden vastausvaihtoehdot olivat Kyllä / Ei / En osaa sanoa sekä kysymyksistä, joilla pyrittiin selvittämään asioiden syy-seuraussuhteita.

Kyselytutkimuksessa kysyttiin eri puolilta Suomea 11 eri sairaalalta kysymyksiä liittyen kustutuksen käyttöön. Kysely toteutettiin toukokuussa 2023, ja siihen saatiin vastauksia yhdeksältä eri sairaalasta. Kyselytutkimuksessa kysyttiin kustutuksen käytöstä ilmanvaihdossa sairaalan tiloissa. Siinä kysyttiin myös, millaisia kustutusjärjestelmiä on käytössä, onko niiden käytön aikana ilmaantunut itse kustuttimissa tai kustuttimen verkostoissa ongelmia sekä minkälaisia ongelmia ja miten ongelmat on ratkaistu. Lopuksi kysyttiin, seurataanko kustutuksen energiakustannuksia vastaajan sairaalassa. Kysely toteutettiin sähköisesti ja kaikki vastaukset käsiteltiin anonyymisti.

#### 4.1 Kyselytutkimuksen tulokset

Tulokset käsitellään tässä alaluvussa anonyymisti. Kyselyn tuloksia esitellään yhteisissä kaavioissa, jotta saadaan helpompi kokonaiskuva. Kysely lähetettiin 11 sairaalalle, joista vastasi yhdeksän sairaalaa. Kuvassa 12 näkyvät vastaukset kysymykseen, jossa tiedusteltiin kustutuksen käyttöä vähintään joissakin tiloissa.

Onko sairaalanne ilmanvaihdossa kostutus käytössä vähintään joissakin tiloissa?

[Lisätietoja](#)

<span style="color: blue;">●</span> Kyllä	9
<span style="color: orange;">●</span> Ei	0
<span style="color: green;">●</span> En osaa sanoa	0



Kuva 12. Jokaisessa sairaalassa on käytössä ainakin yhdessä tilassa ilmanvaihdon kostutus.

Tutkimuksessa selvitettiin kuvan 13 mukaisesti käytetty ilmanvaihdon kostutus-tapa sairaaloissa Suomessa.

Mikä kostutustapa käytössä?

<span style="color: blue;">●</span> Hörykostutus	9
<span style="color: orange;">●</span> Muu	0



Kuva 13. Kostutustavan käyttöön vastanneiden tulokset sairaaloissa.

Tekeillä olevassa eurooppalaisessa sairaalastandardissa suositellaan, että kostuttimia käytettäessä käytettäisiin hörykostuttimia hygieniasyiden takia. [11, s. 62.] Kaikissa sairaaloissa ei kuitenkaan ole samanlainen kostutusjärjestelmä, joten kuvassa 14 näytetään vastaus, millainen kostutusjärjestelmä on sairaalassa käytössä.

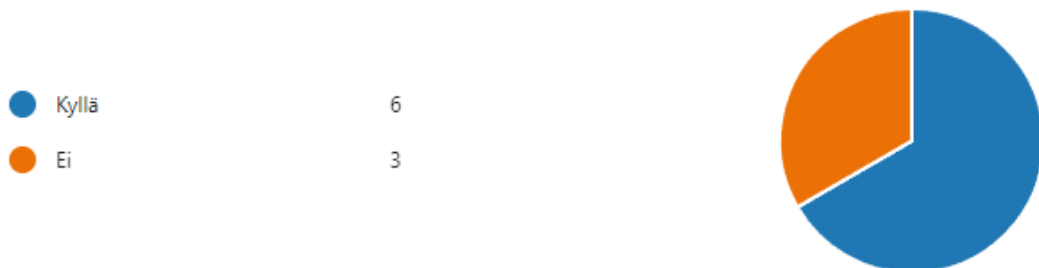
5. Onko kostutusjärjestelmä keskitetty vai IV-konekohtainen? (Voit valita useamman vaihtoehdon)



Kuva 14. Vastanneiden sairaaloiden erityyppiset kostutusjärjestelmät.

Kostutus on ollut käytössä, mutta käyttö on aiheuttanut ongelmia, minkä takia kostutusjärjestelmä on saatettu poistaa käytöstä. 67 % Vastanneista on kokenut ongelmia yksikössään kostutuksen käytöstä kuvan 15 mukaan.

Kostutusta on ollut, mutta on otettu pois käytöstä



Kuva 15. Kostutusta on käytetty, mutta on myöhemmin otettu pois käytöstä.

Erilaisia vastauksia liittyen käyttöönoton poistamiseen saatiin kuudelta sairaalalta, joiden syyt ovat:

- tilojen muutos, jonka myötä kostutusta ei enää tarvittu
- huono toimivuus, jonka takia poistettu käytöstä 15 kostutinta
- kostutuksen säätöön ja kondensointiin liittyvät ongelmat

- henkilökunnan ilmoittamat epämiellyttävät hajut.

Verkoston käytöstä ja ylläpitoon liittyviin ongelmista kysyttiin erikseen kuvassa 16, johon vastasi kuusi sairaalaa.

#### Onko kostutusjärjestelmän verkostossa tai ylläpidossa ollut ongelmia?



Kuva 16. Kostutusjärjestelmän verkostossa tai ylläpidossa ilmennyt ongelmia sairaalassa.

Kostutusjärjestelmien käytöstä tai verkoston ylläpidosta ilmeni erilaisia ongelmia. Vastauksia voidaan tiivistää seuraavasti:

- Höyrykostuttimiin kertyy kalkkia, jota on huoltotoimenpiteen aikana poistettava. Myös sähkövastukset kärsineet pinnoitevaurioita.
- Kanavistosta kondensoitunut vesi alkanut vuotamaan ja henkilökunta myös valittanut ”märästä” hajusta.
- Kostuttimet vikaantuneet ja ovat aiheuttaneet ongelmia säiliöissä ja ohjauskorteissa sekä vuotaneet vettä.
- Vakioilmastointikoneissa ollut sellaisia ongelmia, että kostuttimet olleet tehottomia ja vesijohtoihin sekä vastuksiin kertynyt paljon kalkkia. Ongelmat olleet yksilöllisiä eli ei koske kaikkia koneita. Huoltotoimenpiteissä valmistajan toimesta ollut materiaalitoimituksen kanssa haasteita.
- Vanhat kostuttimet toimineet vesijohtovedellä, mikä aiheuttanut tukoksia suuttimissa ja heikentänyt myös kostutusputkistoa, kun taas uusissa kostuttimissa on ollut käytössä puhdistettua vettä.
- Yksittäisiä ongelmia höyrykostuttimen eteen kylmän veden syöttöön on lisätty kalvosuodattimet, ettei kostutin kalkkeudu.

Osa sairaaloista oli myös kuvan 17 mukaan ilmoittanut kostutuksen käytöstä ilmeneen sisäilmaongelmia.

Onko kostutuksen käytöstä ilmennyt sisäilmaongelmia?

<span style="color: blue;">●</span> Kyllä	5
<span style="color: orange;">●</span> Ei	4
<span style="color: green;">●</span> En osaa sanoa	0



Kuva 17. Kostutuksen käytöstä vastaajilla ilmenneet sisäilmaongelmat.

Kostutuksen liiallisesta tai liian vähäisestä käytöstä ilmeneviä ongelmia oli seitsemällä sairaalalla yhdeksästä kuvan 18 mukaan.

Onko kosteuden liiallisuudesta tai vähäisyydestä aiheutunut ongelmia sairaalan toiminnalle?

<span style="color: blue;">●</span> Kyllä	7
<span style="color: orange;">●</span> Ei	2



Kuva 18. Kostuttimien aiheuttamat mahdolliset haitat.

Kostuttimien käytöstä aiheuttavia ongelmia ilmoitti seitsemän sairaalaa yhdeksästä. Ongelmia ja kommentteja olivat muun muassa:

- Käyttäjät tuntevat kostutetut tilat tunkkaisiksi, kun kostutetut tilat liitetyvät kostuttamattomiin tiloihin.
- Trooppisen tuntuinen sisäilmasto ja sisäilma pahan hajuinen.

- 35 % suhteellinen kosteus arkiston tiloissa tuntunut epämiellyttävältä, jolloin suhteellisen kosteuden tasoa laskettu 30 %:iin käyttäjille mieluisaksi. 2022 vuoden hellejakson aiheuttama kostea ulkoilma aiheutti runsaasti valituksia, vaikka ilmamäärissä ei ole tapahtunut muutoksia.
- Kostuttimen ollessa käytössä on vesivahinkoja tapahtunut joka toinen viikko.
- Kuvantamisen laadun heikkeneminen aiheuttanut epäilyksiä kosteuden vähäisyydestä.
- Liiallinen kosteus aiheuttanut kasvustoa äänenvaimentimien pintoihin. Liika kosteus myös kondensoitunut kylmille pinnoille tiloissa.
- Höyry on kondensoitunut väärään paikkaan ja aiheuttanut vesivuotoa kanavistossa.

Viimeiseksi kysyttiin käyttäjiltä, seurataanko heillä ollenkaan kostutuksen käytön energiakustannuksia. Vastausten jakauma näkyy kuvassa 19.

#### Seurataanko teillä kostutuksen energiakustannuksia?



Kuva 19. Missään sairaalassa ei tietoisesti seurata kostutuksen energiakustannuksia.

## 4.2 Kyselytutkimuksen tuloksien analysointi

Tulosten mukaan sairaalat Suomessa käyttävät ilmanvaihdon kostutuksessa höyrykostutinta ainakin joissain tiloissa (kuva 12 ja 13). Konekohtainen järjestelmä on kyselytutkimuksen mukaan käytetyin (kuva 14), ja sillä saadaan helposti tarkka ja optimaalinen kosteus. Kostutusta on otettu joissain sairaaloissa pois käytöstä sen aiheuttamien ongelmien takia (kuva 15).

Enemmistö sairaaloista tietää kostutusverkoston ongelmista tai sen ylläpidon haasteista, kun taas osa ei osannut sanoa, mikäli ne ovat aiheuttaneet ongelmia (kuva 16). Näitä ongelmia on ilmaantunut kanavistoissa ja laitteistoissa. Hieman yli puolet vastaajista koki kostutuksen käytön aiheuttavan ongelmia sisäilmastossa (kuva 17), mikä on haitannut sairaalan toimintaa (kuva 18). Sairaaloissa ei myöskään seurata kostutuksen käytön energiakustannuksia.

## 5 Kostutuksen toiminnan tarkastelu simuloimalla

Käytetty simulointimenetelmä keskittyy tarkastelemaan ilmanvaihdon kostutuskustannuksia eri tilatyypeissä. Ilmanvaihdon kostutus on merkittävä tekijä sairaalan ilmanvaihdossa, koska joissain tiloissa ilmankosteuden hallinta on tärkeää. Tässä laskennassa käytetään työkaluna Excel-työkalua sekä Mollier-diagrammia. Excelissä tehdään simulointilaskelmia erityyppisten tilojen kostutuksen kustannuksista ottaen huomioon käyttöajat ja energiankulutus. Mollier-diagrammilla esitetään kostutuksen prosessi. Anonymiteetin takia ilmamäärät on otettu sairaalasta X.

Laskennat antavat arvokasta tietoa eri tilatyypeissä, koska Suomessa ei ole vielä standardia ilmanvaihdon kostutukselle sairaaloissa. Alaluvun 5.1 simulaatiomenetelmässä käytetään dataa ajanjaksolta edelliseltä vuodelta 1.10.2022–30.4.2023 Helsinki-Vantaan säähavaintoja suhteellisesta kosteudesta, sen hetkisestä ilmanpaineesta ja lämpötilasta tunneittain ajanjaksolta (ks. kuva 20). Ajanjakso on valittu niin, että se sisältää mahdollisimman paljon kostutuksen tarvetta. Lämpötilana käytetään jatkuvasti mitoitusslämpötilaa, koska tässä laskennassa ei oteta huomioon muuta energian kulutusta kuin kostutuksen vaatima. Tutkitaan, että millaisia kustannuksia ilmanvaihdon kostutuksella näillä olosuhteilla on ollut eri tilatyypeissä. Simulaatioiden avulla pystytään arvioimaan eri tilatyypeissä tarvittavaa kostutusmäärää ja sitä kautta laskemaan kokonaiskustannuksia. Tieto on arvokasta tilaajalle ja suunnittelijalle, jotta voidaan tarvittaessa budjetoida tehokkaammin.



Vuosi	Kk	Pv	Klo	Ilmanpaine hPa $p_i$	Ilmanpaine Pa $p_i$	Suhteellinen kosteus (%)	Ilman lämpötila °C $t_0$
2022	10	1	00:00	1012,7	101270	98	3,8
2022	10	1	01:00	1012,9	101290	99	3,3
2022	10	1	02:00	1012,8	101280	99	2,5
2022	10	1	03:00	1012,7	101270	99	2
2022	10	1	04:00	1012,6	101260	98	2,9
2022	10	1	05:00	1012,6	101260	97	4,2
2022	10	1	06:00	1012,5	101250	97	5,7
2022	10	1	07:00	1012,5	101250	86	9,8
2022	10	1	08:00	1012,2	101220	80	11
2022	10	1	09:00	1012	101200	78	11,6
2022	10	1	10:00	1011,8	101180	71	11,8
2022	10	1	11:00	1011,4	101140	67	13,2
2022	10	1	12:00	1010,8	101080	63	13,7
2022	10	1	13:00	1010,5	101050	69	12,6
2022	10	1	14:00	1010,2	101020	66	12,8
2022	10	1	15:00	1010	101000	74	11,9
2022	10	1	16:00	1009,7	100970	82	10,7
2022	10	1	17:00	1009,5	100950	86	10
2022	10	1	18:00	1009,5	100950	91	8,8
2022	10	1	19:00	1009,6	100960	96	7,2
2022	10	1	20:00	1009,5	100950	98	6,1
2022	10	1	21:00	1009,3	100930	96	6,3
2022	10	1	22:00	1009,2	100920	99	6,2
2022	10	1	23:00	1009	100900	99	4,7
2022	10	2	00:00	1008,7	100870	97	5,6
2022	10	2	01:00	1008,5	100850	98	5,5

Kuva 20. Ilmatieteen laitoksen toimittama säädata. Esimerkkinä yhden vuorokauden säähavainto. [22.]

Tähän asti Suomessa suunnitellut järjestelmät ovat olleet kokemusperusteisia, mutta tekeillä oleva yhteinen eurooppalainen sairaalastandardi voi vaikuttaa nykyisiin energiakustannuksiin, koska esimerkiksi talvisaikaan kostutuksen käyttö ei ole pakollista. Eri standardeissa on tilatyypeittäin erilaisia suunnitteluarvoja, joten luvun 5.1 simuloinneissa käytetään mitoituslämpötilana 21 °C astetta ja suhteellista kosteutta väliltä 10–60 %RH. Eri suhteellisen kosteuden mitoitusarvo antaa kattavan näkemyksen energian kulutuksesta.

## 5.1 Laskentakaavat ja energiakustannukset

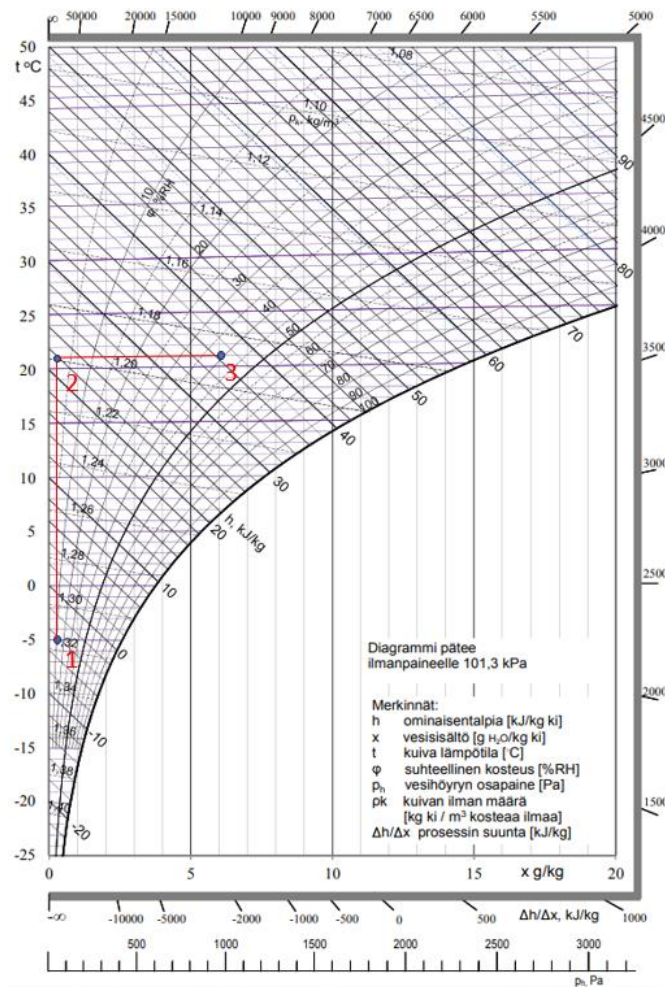
Tämän alaluvun laskennat perustuvat sähköisen höyrykostuttimen energiakustannuksiin, ja laskennat erityyppisistä tiloista toteutetaan ASHRAE-standardin mukaisesti. Ilmamäärät on otettu esimerkkinä käytössä olevasta sairaalasta ja

kuvassa 21 sähkön hinta on otettu kiinteänä Suomen tilastokeskuksesta ja pörssisähkö Nordpoolista tarkastelujakson ajalta.

Suomen tilastokeskus		Nordpool pörssisähkö	
2022M10	0,12 €/kWh	2022M10	0,14 €/kWh
2022M11	0,13 €/kWh	2022M11	0,25 €/kWh
2022M12	0,14 €/kWh	2022M12	0,27 €/kWh
2023M01	0,12 €/kWh	2023M01	0,09 €/kWh
2023M02	0,10 €/kWh	2023M02	0,09 €/kWh
2023M03	0,10 €/kWh	2023M03	0,08 €/kWh
2023M04	0,09 €/kWh	2023M04	0,07 €/kWh

Kuva 21. Suomen tilastokeskus ja Nordpool pörssisähkön hinnat tarkastelujaksolta. [23; 24].

Kuvassa 22 on esimerkki kostutusprosessista pisteiden 2 ja 3 välillä. Pisteessä 1 oleva ulkolämpötila on  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja sen suhteellinen kosteus on 10 %. Kun ilmaa lämmitetään  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$  asteeseen, niin sen absoluuttinen kosteus pysyy samana, mutta lämmitetyn ilman vuoksi sen kapasiteetti pitää sisällään vettä kuivaa ilmaa kohti kasvaa. Pisteessä 3 ilma kostutetaan 40 %RH samassa lämpötilassa.



Kuva 22. Esimerkkitalanne, jossa  $-5\text{ °C}$  lämpötilaa lämmitetään  $21\text{ °C}$  asteiseksi ja sen jälkeen kostutetaan, niin että sen suhteellinen kosteus on 40 %. [2, s. 408].

Voidaan laskea kuvan 22 mukainen kostutusprosessin tehontarve. Aluksi laskeaan kylläisen vesihöyryn paine kaavalla 3 pisteessä 0–1 ja 2 (ks. luku 2.1).

$$p'_{h01} = 10^5 * e^{11,78 * \frac{(268,15 - 372,79)}{268,15 - 43,15}} = 423 \text{ hPa}$$

$$p'_{h2} = 10^5 * e^{11,78 * \frac{(294,15 - 372,79)}{294,15 - 43,15}} = 2528,4 \text{ hPa}$$

Kylläisen vesihöyryn paineella lasketaan  $p_h$  vesihöyryn osapaine kertomalla se suhteellisella kosteudella kaavan 1 mukaan.

$$p_{h01} = \left(\frac{10}{100}\right) * 423 \text{ hPa} = 42,3 \text{ hPa}$$

$$p_{h2} = \left(\frac{40}{100}\right) * 2528,4 \text{ hPa} = 1011,4 \text{ hPa}$$

Kaavojen 1 ja 3 avulla voidaan laskea absoluuttinen kosteus prosessin alussa ja lopussa, kun tiedetään ulkoilman lämpötila ja mitoitustilalämpötila. Ei oteta huomioon muita prosesseja kuin kostutusprosessi, joten absoluuttinen kosteus pysyy samana lämmitysprosessin aikana (kuva 22). Absoluuttinen kosteus pisteessä 0–1 ja 2 määräytyy kaavan 2 mukaan

$$x_{01} = 0,622 * \frac{42,3 \text{ hPa}}{(101325 \text{ Pa} - 42,3 \text{ hPa})} * 1000 = 0,26 \text{ g/kg}$$

$$x_2 = 0,622 * \frac{1011,4 \text{ hPa}}{(101325 \text{ Pa} - 42,3 \text{ hPa})} * 1000 = 6,27 \text{ g/kg}$$

Näiden tietojen avulla voidaan laskea ominaisentalpia  $h_k$  kaavalla 4 (ks. luku 2.3). Vaikka absoluuttinen kosteus pysyy pisteessä 0 ja 1 samana (kuva 22), niin ominaisentalpia täytyy laskea pisteessä 1 ja 2.

$$h_1 = 1,006 * 21^\circ\text{C} + \frac{0,26 \frac{\text{g}}{\text{kg}}}{1000} * (2501 + 1,85 * 21^\circ\text{C}) = 21,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = 1,006 * 21^\circ\text{C} + \frac{6,27 \frac{\text{g}}{\text{kg}}}{1000} * (2501 + 1,85 * 21^\circ\text{C}) = 37,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Edellä mainituilla arvoilla voidaan laskea tietyn tilan kostutuksen vaatiman tehon kaavalla 20.

$$\Phi_{kostutus} = q_v * \rho_i * (h_2 - h_1) \quad (20)$$

$\Phi$  on kostutusprosessin kuluttama teho (kW)

$\rho_i$  on ilman tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$q_{vi}$  on ilman tilavuusvirta (dm<sup>3</sup>/s)

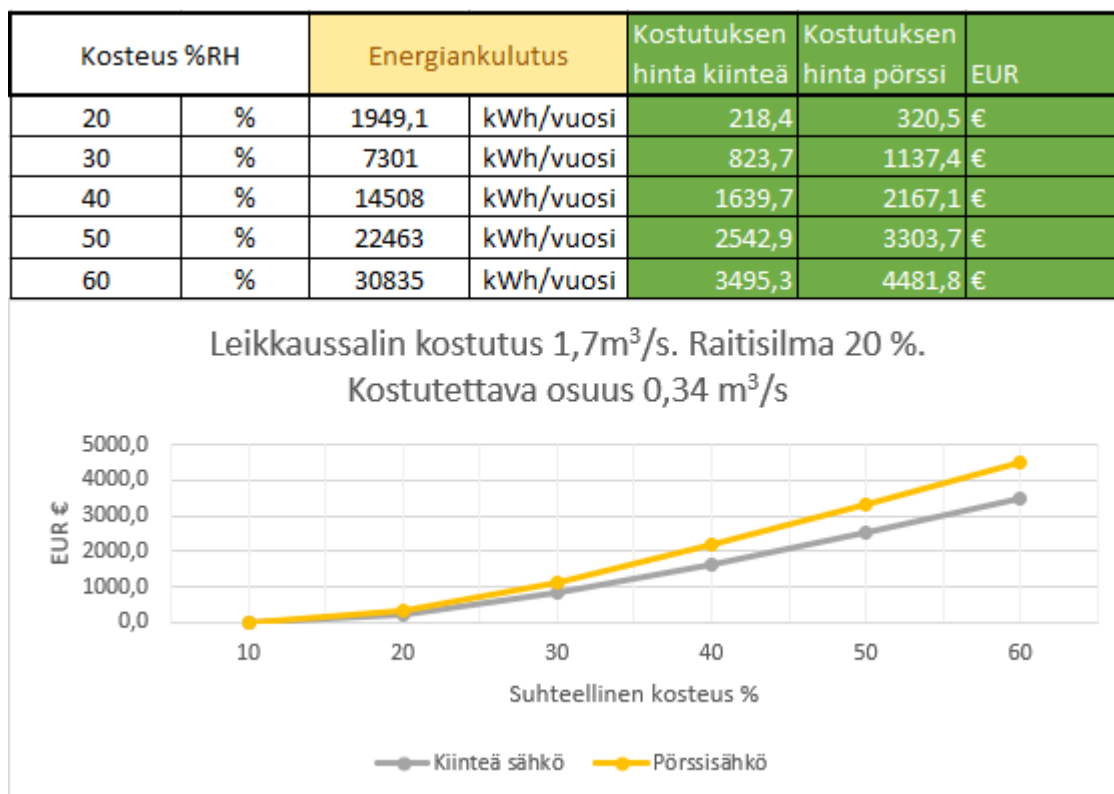
Näin tiedoilla voidaan laskea kuvan 21 mukainen kostutusprosessi. Voidaan olettaa kostutettavan tilan olevan leikkaussali, jonka ilmavirta on 1200 l/s. Tällöin kostutuksen teho näillä tiedoilla on yhdeltä tunnilta seuraava:

$$\Phi_{kostutus} = 1,2 \frac{m^3}{s} * 1,2 \frac{kg}{m^3} \left( 37,1 \frac{kJ}{kg} - 21,8 \frac{kJ}{kg} \right) = 22kWh$$

### 5.1.1 Leikkaussalit

Leikkaussalien sisäilmaston hallinta on tärkeää potilasturvallisuuden kannalta, koska leikkaushaavat ovat alttiita infektioille. Ilman suhteellinen kosteus on tärkeä tekijä leikkaussalissa terveyden kannalta sekä optimaalisen toimintaympäristön saavuttamiseksi (ks. kuva 1). Leikkaussaleja on sairaaloissa useita jopa kymmeniä ja niiden ilmamäärät suuria. Esimerkiksi sairaalassa X, on käytetty yhden leikkaussalin ilmamääräksi noin 1700 l/s. Tästä suuresta ilmamäärästä yleensä noin 20 % on raitisilmaa ja loput kiertoilmaa, joten näiden ilmanvaihto suunnitellaan tapauskohtaisesti. Yhdysvallan standardin ASHRAE:n mukaan leikkaussalien suunniteltu suhteellinen kosteus tulee olla 20–60 %RH ja lämpötila 20–24 °C. Oletetaan yhden leikkaussalin olevan käytössä 12 tunnin ajan

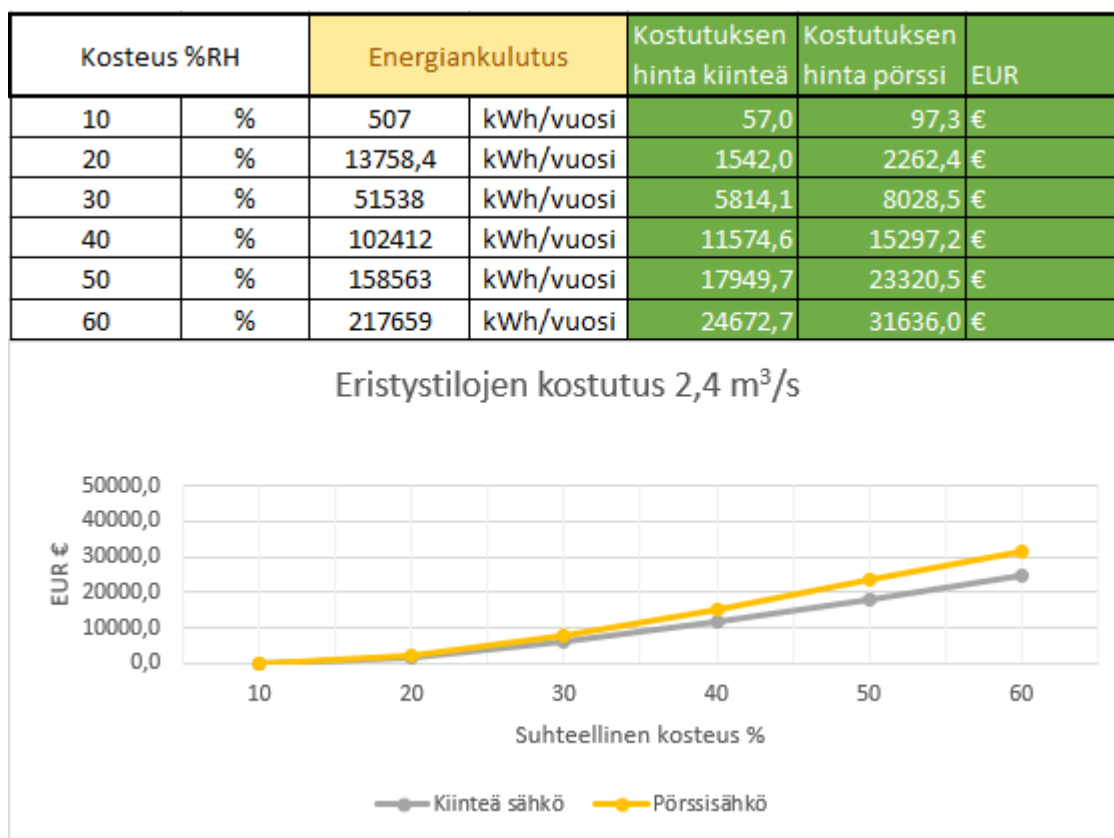
vuorokaudesta. Tällöin yhden leikkaussalin kustutuksen aiheuttamat energiakustannukset ovat kuvan 23 mukaiset.



Kuva 23. Leikkaussalin kustutuksen aiheuttama energiakustannus ilmamäärällä 1700 l/s, josta raitisilman osuus on 20 % ja loput kiertoilmaa ajanjaksolta 01.10.2022–30.4.2023 50 % käyttöasteella.

### 5.1.2 Eristystilat

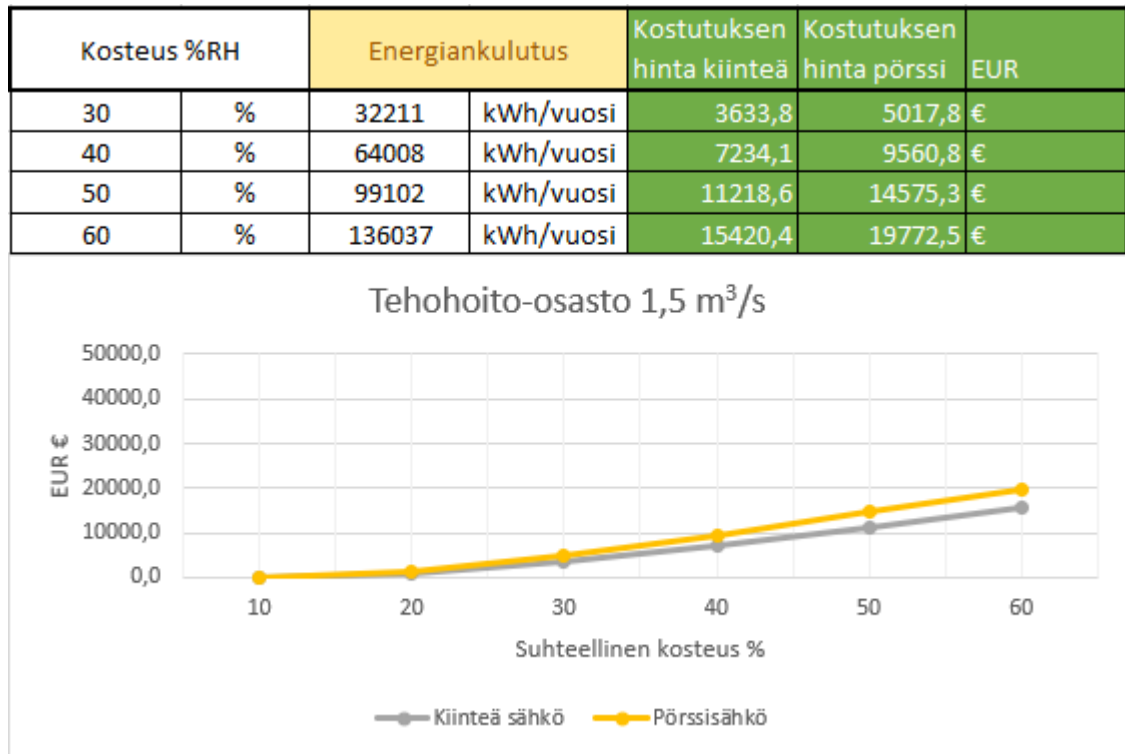
Eristystiloja sairaaloissa käytetään tarttuvien tautien leviämisen estämiseksi silloin, kun on potilailla todettu tarttuva tauti tai epäillään tartuntavaaraa. Tilojen tulee olla alipaineistettuna suhteessa viereisiin huoneisiin. [8.] Suhteellinen kosteus on olennaista näissä tiloissa, jotta voidaan minimoida mahdollisimman paljon bakteereille ja viruksille olevia optimaalisia elinympäristöjä (ks. kuva 1). ASHRAE-standardin mukaan suunniteltu ilmankosteus saa olla maksimissaan 60 %RH. Energiakustannukset ilmamäärällä 2400 l/s vastaa noin 10 ilmaeristystilan ilmanvaihtotarvetta ja niiden lämpötila 21 °C kuva 24.



Kuva 24. Eristyshuoneiden ilmamäärä yhteensä ja niiden kostuttamisen kuluttama energia ilmamäärällä 2400 l/s ajanjaksolta 01.10.2022–30.4.2023 täydellä käyttöasteella.

### 5.1.3 Tehohoito-osasto

Tehohoito-osastoja on erilaisia kuten neonataalinen eli vastasyntyneiden vauvojen tehohoito-osasto ja vakavasti sairaille potilaille tarkoitettu osasto. Tehohoito keskittyy hengenvaaran ja vakavien vammojen ennaltaehkäisyyn, joissa käytetään erityisosaamista ja kehittynyttä teknologiaa. [25.] ASHRAE-standardi ja Saksan standardi DIN1946-4 suosittelee vähimmäismääräksi ilman suhteelliselle kosteudelle 30 %. Tällöin noin 250 m<sup>2</sup>tehohoito-osaston energian kulutus kustutukselle olisi 1500 l/s ilmamäärällä kuvan 25 mukainen.



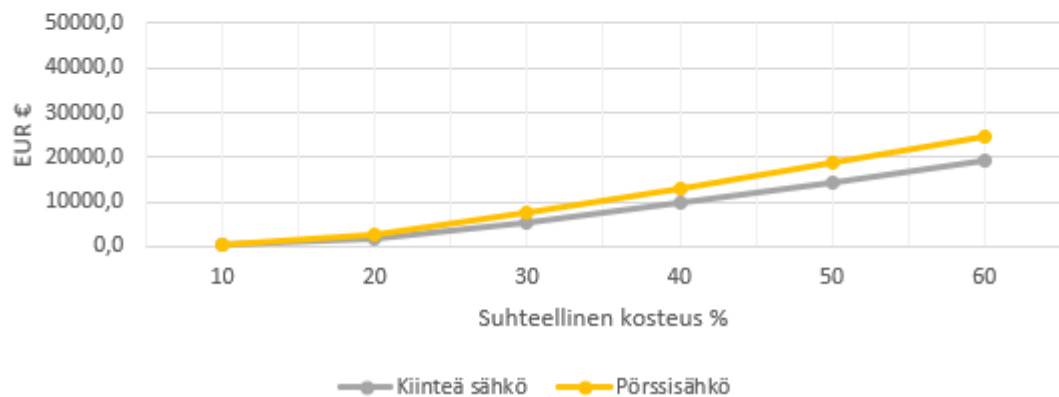
Kuva 25. Tehohoito-osaston kostutuksen energiankulutus ilmamäärällä 1500 l/s ajanjaksolta 01.10.2022–30.4.2023 täydellä käyttöasteella.

#### 5.1.4 Kuvantamistilat

Sairaalan kuvantamistilat kuten röntgentutkimukset, mammografiatutkimukset ja ultraäänitutkimukset ja niihin liittyvät radiologiset toimenpidetutkimuksissa käytetään laitteita, joilla on omat kosteusvaatimukset. Laitetoimittajat toimittavat optimaaliset lämpötila- ja suhteellisen kosteustasot laitteen toiminnalle. Sairaalassa X käytettiin ilmamääränä 1600 l/s kerroksessa, jossa oli kuvantamistiloja. ASHRAE-standardin mukaan minimilämpötila näissä tiloissa on 22 °C, mikä lisää huomattavasti energiankulutusta. Kuvassa 26 esitetään kostutuksen energiankulutusta ja kustannuksia tämän tyyppisille tiloille.



Kosteus %RH		Energiankulutus		Kostutuksen hinta kiinteä	Kostutuksen hinta pörssi	EUR
10	%	1179	kWh/vuosi	133,2	221,1	€
20	%	16653,4	kWh/vuosi	1872,1	2705,3	€
30	%	48653	kWh/vuosi	5494,0	7379,2	€
40	%	86801	kWh/vuosi	9817,8	12856,4	€
50	%	127990	kWh/vuosi	14501,0	18693,8	€
60	%	170208	kWh/vuosi	19304,4	24608,8	€

Kuvantamistilat 1,6 m<sup>3</sup>/s

Kuva 26. Kuvantamistilojen kostutuksen energiankulutus ilmamäärällä 1600 l/s ajanjaksolta 01.10.22–30.4.2023 täydellä käyttöasteella.

## 6 Yhteenveto

Insinööriyössä perehdyttiin ilman kosteuden teoriaan ja turvallisiin ratkaisuihin ilmanvaihdon kostutukselle. Lisäksi tavoitteena oli tutkia sekä Suomen että ulkomaiden sairaaloiden käytäntöjä ilmanvaihdon kostutukselle ja luoda näistä katsaus sekä vertailla eri maiden tapoja keskenään. Kostutuksen käytöllä on vaikutus erilaisten mikrobien elinympäristöön, ihmisten hengitystieinfektioihin, allergioihin, epäpuhtauksiin ja rakennusmateriaalien emissioon. Potilasturvallisuuden ja henkilökunnan hyvinvoinnin kannalta optimaalinen suhteellisen kosteuden alue on 40–60 %. Höyrykostutin on sen prosessin takia käytetyin kostutusmenetelmä sairaaloissa, koska se on hygieenisistä syistä turvallisin vaihtoehto. Höyrykostuttimella pystytään myös nopeasti reagoimaan ilmankosteuden muutoksiin ja säätämään kosteutta tarvittaessa.

Suomessa ei ole olemassa ilmanvaihdon kostutusjärjestelmien suunnitteluun liittyvää standardia tai ohjeistusta, vaan suunnittelu on toteutettu yleensä kokemusperusteisesti. Eri maiden standardien vertailussa huomattiin, että suhteellisen kosteuden maksimi eri tiloissa oli kutakuinkin samalla tasolla, mutta lämpötilat poikkesivat osittain toisistaan. Tekeillä olevan Euroopan ilmanvaihdon sairaalasuunnittelu standardi CEN/TC 156/WG 18 käsittelee sairaalan ilmanvaihdon yleisiä vaatimuksia. Standardissa on erikseen määriteltä vaatimuksia sisäilman kostuttamiselle.

Tutkimus Suomen sairaaloiden ilmanvaihdon kostutuksen käytöstä ja kokemuksista tehtiin verkkokyselylomakkeella. Tavoitteena oli selvittää Suomen sairaaloiden käyttämiä kostutusjärjestelmiä ja käytäntöjä kostutuksen käytölle. Kyselyn vastausten perusteella huomattiin jokaisen sairaalan käyttävän ainakin jossain tiloissa kostutusmenetelmänä höyrykostutusta. Kolmasosa vastaajista on poistanut käytöstä kostuttimia tilojen muutoksien myötä sekä erilaisten toimivuus- ja kondensaatio-ongelmien takia. Yli puolet vastaajista koki verkoston tai sen ylläpitämisen kanssa ongelmia, jotka liittyivät pääosin veden vuotamiseen

eri paikoissa ja kerääntyneeseen kalkkiin. Suurin osa vastaajista myös ilmoitti kosteuden liiallisuuden tai vähäisyyden aiheuttaneen ongelmia sairaalan toiminnalle. Sisäilma on usein trooppisen tuntuinen ja tunkkainen. Kuvantamisen tiloissa laitteiden toiminta heikentynyt, jolloin kuvien laatu ollut myös heikompaa.

Laskentasimulaatiossa käytettiin ASHRAE-standardin arvoja suhteelliselle kosteudelle ja lämpötiloille mutta kuitenkin Suomessa käytettyjä ilmamääriä kyseisille tiloille. Keskimääräisenä lämpötilana laskennoissa käytettiin 21 °C ja kuvantamisen tilan laskennoissa 22 °C standardin mukaisesti. Tiloista tehtiin kostutuksen energiakustannuslaskelmia kiinteän sähkön ja pörssisähkön hinnalla ajanjaksolta 01.10.2022–30.4.2023. Laskelmista huomataan kostutuksen kustannusten kasvavan moninkertaisesti, mitä lähemmäksi maksimiarvoa lähestytään. Kuvantamisen tiloissa huomataan lähes samalla ilmamäärällä ja yhden °C-asteen erolla 30 % suhteellisessa kosteudessa olevan 32–34 % ero energiankulutuksessa, jos vertailuna käytetään tehohoito-osaston arvoja. Laskelmista voidaan päätellä, että lämpötila-arvon vaihtamisella on eksponentiaalinen vaikutus energiakustannuksessa.

Kostutuksen käytöstä kaivataan jatkotutkimusta sen osalta, miten saataisiin energiatehokkaampia ratkaisuja, jossa huomioidaan koko sairaalan kostutusjärjestelmä ja sen energiankulutus. Tämän tutkimuksen toteutus voisi sisältää kaikki tilat todetuilla käyttöajoilla, mikäli parametreissa olisi säätämisen varaa. Ilman suhteellisen kosteuden lisääminen jopa vain kymmenellä prosentilla kaksinkertaistaa energiankulutuksen joissakin olosuhteisessa.

## Lähteet

- 1 Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointiteknikka ja sisäilmasto. Espoo: Suomen LVI-liitto ry.
- 2 Sandberg, Esa. 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät: Ilmastointitekniikka osa 1. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 3 Rauno, Holopainen. 2023. Ilmastointiprosessit ja hx-diagrammi. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 4 Wolkoff, Peder & Kjærgaard, Søren K. 2007. The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. *Environment International*. Vol. 33, s. 850–857.
- 5 Traversari, Roberto. 2022. Humidification in healthcare facilities – knowledge base and practice. Verkkoaineisto. Eindhoven university of technology. <[https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/205247539/Published\\_version\\_RH\\_healthcare\\_facilities\\_20220522.pdf](https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/205247539/Published_version_RH_healthcare_facilities_20220522.pdf)>. Luettu 9.10.2023.
- 6 SFS-EN IEC 61340-6-1:2018. 2018. Staattinen sähkö. Osa 6–1: Terveystuonhuollon staattisen sähkön hallinta. Tilojen yleiset vaatimukset. SESKO ry.
- 7 DIN 1946-4:2008. 2008. Ventilation and air conditioning - Part 4: Ventilation in buildings and rooms of health care. German Institute for Standardization DIN.
- 8 ASHRAE Standard 170-2017. 2017. Ventilation of Health Care Facilities. ASHRAE.
- 9 Health Technical Memorandum. 2023. Verkkoaineisto. UK Government. <<https://www.england.nhs.uk/publication/specialised-ventilation-for-healthcare-buildings/>>. Päivitetty 13.11.2023. Luettu 17.6.2023.
- 10 Ling Tong; Lu Ji; Dan Li & Huihui Xu. 2021. The occurrence of COVID-19 is associated with air quality and relative humidity. Vol. 94, s. 965–970.
- 11 CEN/TC 156. 2021. Ventilation for hospitals. Part 1: General requirements, Operating Suites and Isolation rooms. European Committee of standardization. CEN.

- 12 SFS-EN 13053:2019. Rakennusten ilmanvaihto. Ilmankäsittelykoneet. Yksiköiden, komponenttien ja osien luokitus ja suorituskyky. Suomen Standardisoimisliitto.
- 13 Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet. 2007. LVI 05-10417 Rakennustieto.
- 14 Steam humidifier Condair RS installation manual. Verkkoaineisto. Condair Group AG. <<https://www.condair.co.uk/m/0/condair-rs-installation-manual-en-pf.pdf>>. Luettu 25.8.2023.
- 15 Healthy air humidity the importance of air humidification in hospitals and in outpatient settings. Verkkoaineisto. Condair. <<https://www.condair.com/m/0/importance-of-healthy-air-humidity-in-hospitals.pdf>>. Luettu 30.4.2023.
- 16 Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Espoo: Suomen LVI-liitto.
- 17 Jones, W. Peter. 2001. Air conditioning engineering: Fifth edition. Britain: MASHRAE.
- 18 Ethylene Glycol Heat-Transfer Fluid. Verkkoaineisto. The Engineering Toolbox. <[https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d\\_146.html](https://www.engineeringtoolbox.com/ethylene-glycol-d_146.html)>. Luettu 26.8.2023.
- 19 Holmbäck, Tom. 2017. Glykolivesikiertoisen jäähdytysjärjestelmän kehittäminen ja sen turvallisuuden parantaminen. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 20 Simha, R V. 2012. Willis H Carrier Father of Air Conditioning. Verkkoaineisto. Indian Academy of Sciences. <<https://www.ias.ac.in/article/fulltext/reso/017/02/0117-0138>>. 1.2.2012. Luettu 30.7.2023.
- 21 Sisäilmaston mitoitustiedot sairaala. 2022. Yrityksen sisäinen aineisto. Granlund Oy.

- 22 Säähavainnot tuntikohtaisesti. Muuttujina ilman lämpötila, suhteellinen kosteus, ilmanpaine merenpinnan tasolla, 2022. 2023. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>>. Luettu 15.8.2023.
- 23 Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin. Muuttujina kuukaudet, hintakomponentti, sähkön kuluttajatyypit. 2022. 2023. Verkkoaineisto. <[https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_ehi/stat-fin\\_ehi\\_pxt\\_13rb.px/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/stat-fin_ehi_pxt_13rb.px/)>. Luettu 15.7.2023.
- 24 Sähkön spot hinta aikaväliltä. Muuttujana aikaväli. 2022. 2023. Verkkoaineisto. <[https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_ehi/stat-fin\\_ehi\\_pxt\\_13rb.px/](https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/stat-fin_ehi_pxt_13rb.px/)>. Luettu 15.7.2023.
- 25 Tehohoito. 2021. Verkkoaineisto. <<https://www.laakariliitto.fi/laakarinetiikka/hoidon-erityiskysymyksiä/tehoahoito/>>. Luettu 10.9.2023