

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikan koulutusohjelma

Huhtikuu 2022

Matias Henttula

Mikrobiologisen laboratorion kosteudenhallinta

– Esisuunnittelu, energia- ja kustannuslaskenta



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikan koulutusohjelma | Tuotekehitys

Huhtikuu 2022 | 43 sivua

Matias Henttula

Mikrobiologisen laboratorion kosteudenhallinta

- esisuunnittelu, energia- ja kustannuslaskenta

Opinnäytetyön tavoitteena oli esisuunnitella Bayer Oy:n Turun tuotantolaitoksen Mikrobiologisen laboratorioon kosteudenhallintajärjestelmä, jonka avulla osastolle virtaavaa prosessi-ilmaa voidaan tarvittaessa kuivata. Tämän lisäksi tavoitteena oli selvittää ratkaisumallin vuotuinen energiankulutus ja laskelmoida projektin kokonaiskustannukset.

Opinnäytetyössä tutkittiin Bayer Oy:n Turun tuotantolaitoksen muiden osastojen kosteudenhallintajärjestelmiä, ja tutkimusten pohjalta kehiteltiin neljä erilaista vaihtoehtoista ratkaisumallia Mikrobiologisen laboratorion ilmankuivauksen toteuttamiseksi. Eri ratkaisumalleja vertailtiin keskenään ja niiden joukosta valittiin toimivin vaihtoehto. Valittua ratkaisumallia kehitettiin mitoittamalla ilmankuivausprosessiin sopiva lämmönsiirrin käyttäen Mollier-diagrammia ja lämmönsiirtimen valintaohjelmaa. Vuotuinen ilmankuivausprosessin energiankulutus selvitettiin käyttämällä IDA ICE simulointiohjelmaa. Lopuksi opinnäytetyössä laskettiin eri urakoitsijoilta saatujen tarjousten pohjalta kosteudenhallinta muutosprojektin kokonaiskustannusarvio.

Työn teoriaosuudessa hyödynnettiin lähteinä suomalaisia ilmastointitekniikkaan keskittyviä teoksia sekä eri laitevalmistajien verkkosivuja.

Asiasanat:

Kosteudenhallinta, ilmankuivaus, absorptiokuivaus, kondenssikuivaus

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical engineering | Product development

April 2022 | 43 pages

Matias Henttula

Humidity management of a Microbiological laboratory

- Pre-planning, energy consumption calculation and calculation of costs

The aim of this bachelor's thesis was to pre-plan a humidity management system for the Microbiological laboratory of Bayer Ltd.'s Turku production facility. The humidity management system can be used for drying the process air of the Microbiological laboratory if necessary. In addition, the aim was to find out the annual energy consumption for the moisture control system and to calculate the total cost of the project.

In the thesis, other departments humidity management systems of Bayer Ltd.'s Turku production facility were studied, and based on the research, four different alternative solutions were developed for managing the humidity of Microbiological laboratory's supply air. The chosen solution model was developed by dimensioning a heat exchanger suitable for the air-drying process. The dimensioning was made by using Mollier-diagram and a heat exchanger selection program. The annual energy consumption of the air-drying process was determined by IDA ICE simulation program. Finally, based on the bids of the various contractors, the total cost of the project was calculated.

Keywords:

Humidity management, Air-drying, condensation drying, absorption drying

Sisältö	
Käytetyt lyhenteet tai sanasto	7
Johdanto	8
1.1 Taustat ja tavoitteet	8
1.2 Yritysesittely	8
1.2.1 Turun tuotantolaitos	9
Kostea ilma	10
2.1 Yleistä	10
2.2 Mollier-diagrammi	11
Ilmastoinnin prosessit	13
3.1 Lämmitys	13
3.2 Jäähdytys	15
3.3 Lämmöntalteenotto	17
3.4 Ilmankuivaus	18
3.4.1 Kondenssikuivaus	19
3.4.2 Absorptiokuivaus	20
Lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmä laboratorioille	22
Kuivauksen esisuunnittelu	23
5.1 Suunnittelun lähtökohdat	23
5.2 Ratkaisumallien kartoittaminen	25
5.2.1 Absorptiojärjestelmän lisääminen	29
5.2.2 Vyöhykepattereiden vaihtaminen	30
5.2.3 Jäähdytyspatterin lisääminen	31
5.2.4 LTO-patterin vaihtaminen ja putkiston muokkaaminen	32
5.3 Ratkaisumallien arviointi	33
5.4 Uuden patterin tilaaminen ja katselmointi	34
Energiankulutus	36
Kustannuslaskelma	40

Yhteenveto	41
Lähteet	42

Kaavat

Kaava 1. Lämmitystehon kaava (Sandberg 2016, 131).	15
Kaava 2. Jäähdytystehon kaava (Sandberg 2016, 131).	17

Kuvat

Kuva 1. Mollier-diagrammi (Sandberg 2014, 407).	11
Kuva 2. Jäähdytys- tai lämmityspatterin rakenne (Sandberg 2014,171).	13
Kuva 3. Esimerkki lämmitysprosessista kuvattuna Mollier-diagrammissa.	14
Kuva 4. Jäähdytysprosessi havainnollistettuna Mollier-diagrammissa.	16
Kuva 5. Nestekiertoinen LTO-järjestelmä (Sandberg 2014, 184).	18
Kuva 6. Ilmankuivaus menetelmien toiminta-alueet (Cotes 2022).	19
Kuva 7. Kondenssikuivausprosessin kulku Mollier-diagrammissa.	20
Kuva 8. Absorptiokuivausjärjestelmä (Munters Finland Oy 2022).	21
Kuva 9. Laboratorion tyypillinen ilmastointijärjestelmän rakenne (Goldschmidt ym. 2009, 67).	22
Kuva 10. Mikrobiologisen laboratorion ilmastointijärjestelmä.	24
Kuva 11. Kondenssikuivausprosessi	26
Kuva 12. Absorptiokuivaimen lisääminen tulokoneeseen.	29
Kuva 13. Havainnekuva uuden jäähdytyspatterin sijainnista.	31

Kuva 14. Uuden LTO- / jäähdytyspatterin havainnollistava muutoskuva.	32
Kuva 15. Kuvakaappaus lämmönsiirtimen Coils-valintaohjelmasta.	34
Kuva 16. IDA ICE simulaatiossa käytetty IV-kone.	37
Kuva 17. IDA ICE:n laatima IV-koneen energiankulutusraportti	38

Taulukot

Taulukko 1. Lähtöarvotaulukko.	24
Taulukko 2. Arvoanalyysitaulukko eri ratkaisumalleista.	33
Taulukko 3. Mikrobiologisen laboratorion kosteudenhallinnan kustannuslaskelma.	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)
ρ	Tiheys
Φ	Jäähdytys- tai lämmitysteho
q	Tilavuusvirta
h	Entalpia
ISPE	International Society for Pharmaceutical Engineering
IV	Ilmanvaihto
LTO	Lämmöntalteenotto
T	Lämpötila

Johdanto

1.1 Taustat ja tavoitteet

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Bayer Oy:n Turun tuotantolaitoksen Infrastructure & Utilities -osasto. Toimeksiantaja havaitsi kesällä 2019 Mikrobiologisen laboratorion prosessi-ilman olevan liian kosteaa työympäristössä. Lisäksi ilman korkean kosteuspitoisuuden todettiin vaikuttavan laboratoriotiloissa tehtyjen laadunvarmistustestien tuloksiin. Mikrobiologinen laboratorio on suunniteltu yli 20 vuotta sitten, joten ilmastointijärjestelmää ei ole mitoitettu toimimaan nykyisien kesien lämpimämmissä sääolosuhteissa. Ilmastointijärjestelmästä puuttuu prosessi, joka kuivattaa osastolle virtaavaa tuloilmaa.

Tavoitteena opinnäytetyössä on esisuunnitella ja laskea energiankulutus sekä kokonaiskustannukset Mikrobiologisen laboratorion tulevalle kosteudenhallintajärjestelmälle. Esisuunnittelun tavoitteena on kartoittaa ilmankuivausprosessin mahdolliset toteutustavat. Lisäksi suunnittelussa tulee huomioida tilojen lyhyt käyttöikä, joka päättyy viimeistään vuoteen 2025 mennessä. Energiakulutuksella halutaan varmistuslaskea ilmankuivausprosessin tuomat käyttökustannukset. Kustannuslaskelman tavoitteena on arvioida muutosprosessissa muodostuvia kuluja, kuten materiaali-, komponentti- ja työtuntikuluja.

Opinnäytetyön aiheen valintaan vaikutti aikaisempi kokemus ilmastointitekniikan parissa. Bayer Oy valikoitui opinnäytetyön toimeksiantajaksi aikaisemman työkokemuksen pohjalta.

1.2 Yritysesittely

Bayer Oy on saksalainen kansainvälisesti toimiva life science yritys, jonka pääosaamisalueita ovat terveydenhoito ja maatalous. Yritys on jakanut liiketoimintansa kolmeen eri osa-alueeseen, jotka ovat: Reseptivalmisteet,

Kuluttajatuotteet ja Crop science. (Bayer Oy 2021a.) Bayer Oy perustettiin Leverkusenessa vuonna 1863 Friedrich Bayerin ja Johann Friedrich Weskottin toimesta (Bayer Oy 2020a). Yritys kansainvälistyi ja teki läpimurron vuonna 1899 lanseerattuaan Aspirinin (Bayer Oy 2020b). Nykyään Bayer on tunnettu lukuisista eri tuotteista, joista suosituimpia ovat mm. Xarelto, Claritin ja Confidor (Bayer Oy 2022a). Vuonna 2021 Bayer konserni koostui 374 konserniyhtiöstä, jotka sijaitsivat 83 eri maassa (Bayer Oy 2022a).

1.2.1 Turun tuotantolaitos

Bayer Oy:n Turun tuotantolaitos sai alkunsa Huhtamäki-konsernin laajentuessa lääketeollisuuteen 1940-luvulla. Turun tuotantolaitos toimi Leiras-nimen (vuodesta 1992 eteenpäin Leiras Oy) alla vuoteen 1996, jolloin saksalainen lääkeyritys Schering AG osti Leiras Oy:n. Vuonna 2006 Bayer AG osti Schering AG:n saaden myös Scheringin toiminnan Turussa. Nimenvaihdosten ja yritysfuusioiden jälkeen Turun tuotantolaitos on toiminut Bayer Oy nimen alla vuodesta 2011. (Bayer Oy 2020c.)

Turun tuotantolaitos on yksi Bayerin suurista kansainvälisistä lääketehtaista, josta viedään valmisteita yli 130 maahan. Turun tuotantolaitoksella valmistetaan ja kehitetään polymeeripohjaisia lääkeannosteluteknologiaan perustuvia ehkäisykapseleita ja hormonikierukoita. (Bayer Oy 2020d.)

Kosteaa ilmaa

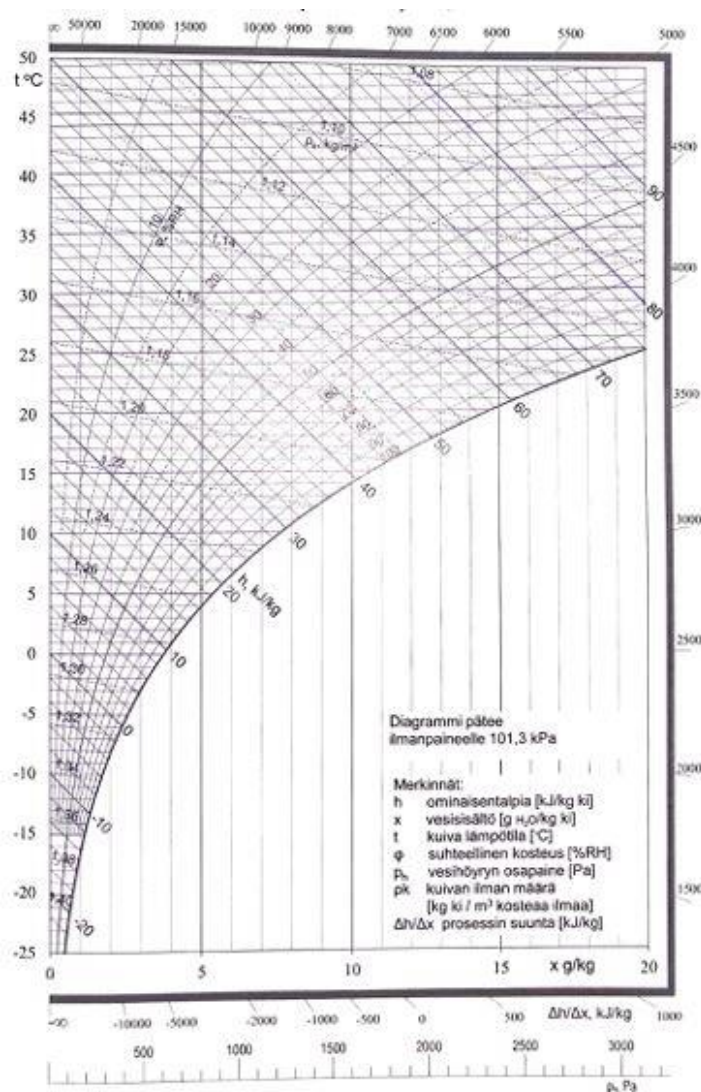
2.1 Yleistä

Ulko- ja sisäilmasta puhuttaessa tarkoitetaan kosteaa ilmaa. Kosteaa ilmaa on yhdistelmä kuivaa ilmaa ja vesihöyryä. Kuiva ilma muodostuu erilaisten kaasujen seoksesta ilman vesihöyryä. Yleisimpiä kuivassa ilmassa esiintyviä kaasuja ovat typpi, happi, argon ja hiilidioksidi. Vesihöyryn pitoisuus kosteassa ilmassa on merkittävä tekijä ilman ominaisuuksien kannalta, sillä höyry sisältää olomuotonsa vuoksi suuren määrän energiaa. Ilman kuivauksella tarkoitetaan vesihöyryn vähentämistä kosteassa ilmassa. Kun vesihöyryä lisätään kosteaan ilmaan, puhutaan kostutuksesta. Kuivaukseen ja kostutukseen kuluva energiamäärä on likimain veden höyrystymislämmön energia. Ilmankosteuden määrä ilmaistaan pääasiassa kahdella eri tavalla. (Sandberg 2014, 81.)

1. Absoluuttisella kosteudella [kg/kg tai g/kg] tarkoitetaan vesihöyryn määrää yhtä kilogrammaa kuivaa ilmaa kohden. Ilman lämpötilan muutos ei vaikuta absoluuttisen kosteuden arvoon, ellei lämpötilan laskemisen seurauksena tapahdu kosteuden tiivistymistä. Absoluuttista kosteutta käytetään yleensä ilmastointitekniikan laskelmissa, sillä kosteuden määrä ilmassa on selkeämmin ymmärrettävissä. (Sandberg 2014, 81.)
2. Suhteellisella kosteudella [% RH], joka ilmaisee vesihöyryn määrän ilmassa suhteutettuna kostean ilman maksimimäärään omaksua kosteutta ilman, että tapahtuu veden tiivistymistä. Suhteelliseen kosteuteen vaikuttaa olennaisesti ilman lämpötila, sillä lämpimässä ilmassa absoluuttista kosteutta voi esiintyä enemmän. Toisin sanoen, kun kostean ilman lämpötila nousee, suhteellinen kosteus ilmassa laskee. Suhteellista kosteutta käytetään yleiskielessä, kun halutaan ilmaista sisä- tai ulkoilman kosteus. (Sandberg 2014, 81.)

2.2 Mollier-diagrammi

Mollier-diagrammi eli h-x-piirros (Kuva 1.) on graafinen diagrammi, joka kuvaa kostean ilman ominaisuuksien suhdetta keskenään. Ominaisuuksia eli suureita on myös mahdollista tarkastella laskennallisesti, mutta yleensä ne ovat luettavissa riittävällä tarkkuudella diagrammista. (Sandberg 2016, 126.) Suureet, jotka diagrammista voidaan lukea ovat suhteellinen kosteus, absoluuttinen kosteus, ominaisentalpia, vesihöyryn osapaine, kuivalämpötila, märkälämpötila ja kastepistelämpötila (Sandberg 2014, 84).



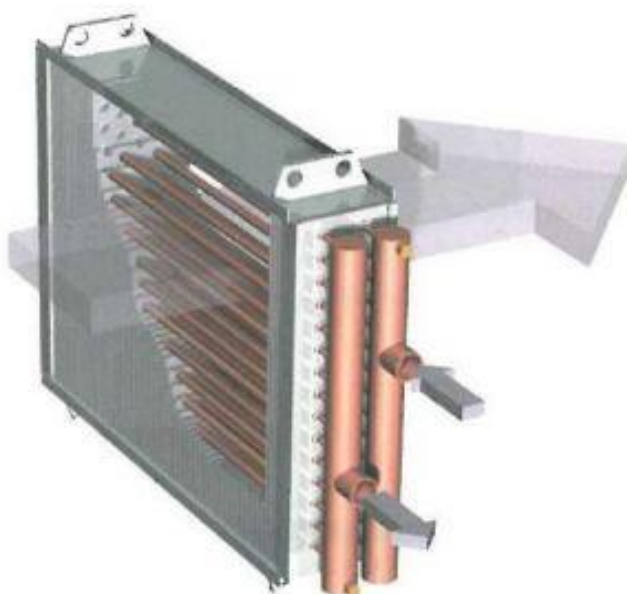
Kuva 1. Mollier-diagrammi (Sandberg 2014, 407).

Diagrammissa h kuvaa ilman entalpiaa eli lämpösisältöä [kJ/kg] ja x absoluuttista kosteutta [g/kg]. Entalpia ja absoluuttinen kosteus muodostavat yhdessä vinokulmaisen koordinaatiston. Koordinaatiston origossa sijaitsee molempien suureiden 0-kohta. Diagrammia käytettäessä tulee huomioida ilmanpaine, jolle se on laadittu. (Sandberg 2014, 86.) Mollier-diagrammia voidaan hyödyntää ilmastointiprosessien havainnollistamisessa. (Sandberg 2016, 126). Tässä opinnäytetyössä Mollier-diagrammia hyödynnetään lämmönsiirtimien valinnoissa.

Ilmastoinnin prosessit

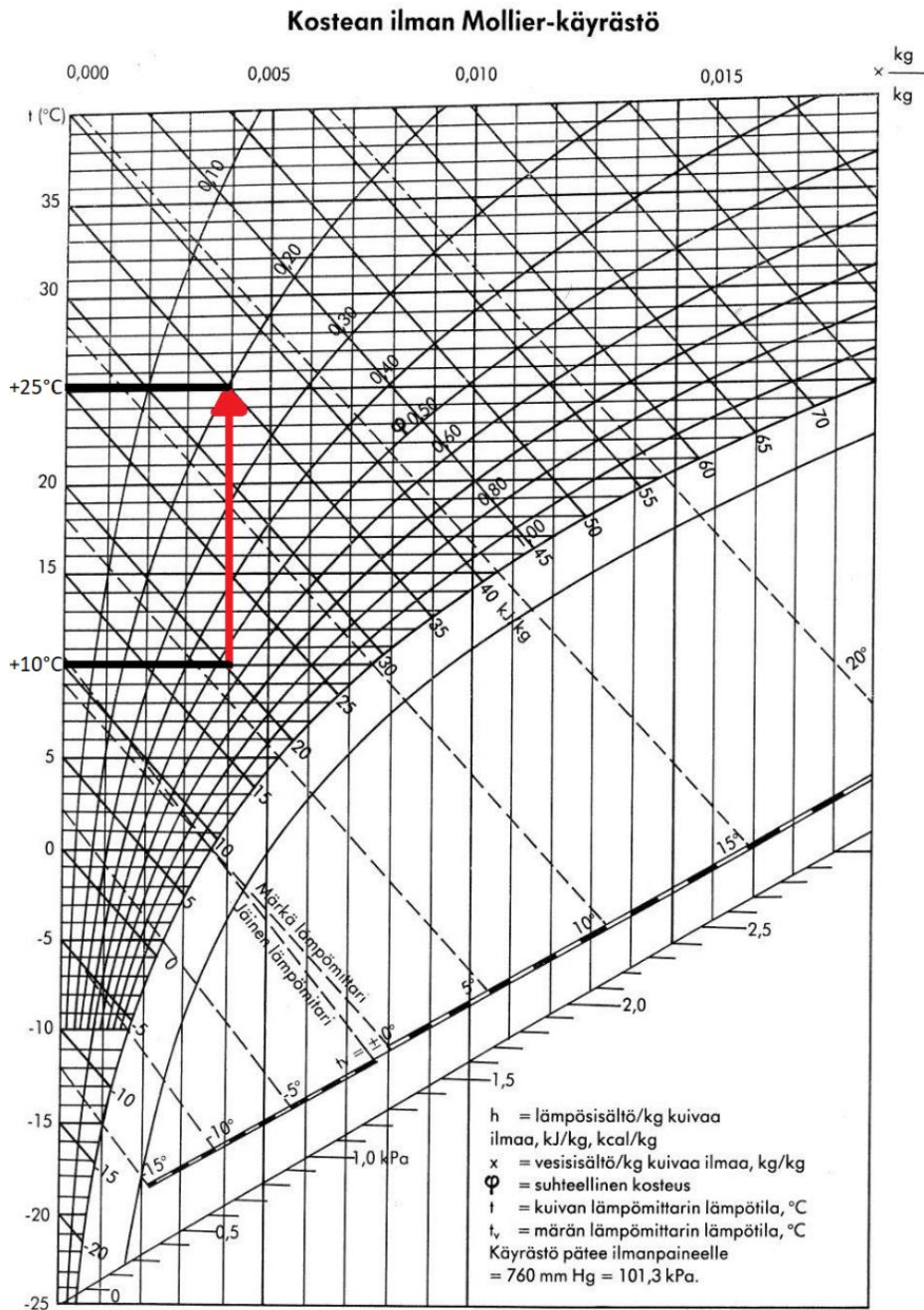
3.1 Lämmitys

Tuloilmakoneen ilmavirran lämmitys toteutetaan käyttämällä lämmönsiirrintä eli lämmityspatteria. Lämmitys- ja jäähdytyspatterin perustoimintaperiaate on samakaltainen. Molemmat patterit rakentuvat putkistosta, jossa virtaa kylmää tai kuumaa väliainetta. Putkisto yhdistetään laajentamalla se lamelleihin eli ohuisiin alumiinilevyihin, joiden tehtävänä on jäähdyttää tai lämmittää patterin läpi virtaava ilma. Yleensä putkisto on valmistettu kuparista ja lamellit alumiinista. Patterien perusrakennetta esiteltä kuvassa 2. (Sandberg 2014, 171.)



Kuva 2. Jäähdytys- tai lämmityspatterin rakenne (Sandberg 2014,171).

Ilmaa lämmitettäessä sen lämpötila nousee. Lämmitysprosessissa ilman absoluuttinen kosteus sisältö pysyy muuttumattomana. Mollier-diagrammista tarkasteltuna lämmitysprosessin kulkusuunta on vertikaalisesti ylöspäin (Kuva 2). (Sandberg 2016, 131.)



Kuva 3. Esimerkki lämmitysprosessista kuvattuna Mollier-diagrammissa.

Kun halutaan selvittää tuloilmakoneen ilmavirran lämmittämiseen tarvittava teho ulkoilman lämpötilasta haluttuun tuloilman lämpötilaan, voidaan teho laskea kaavalla 1.

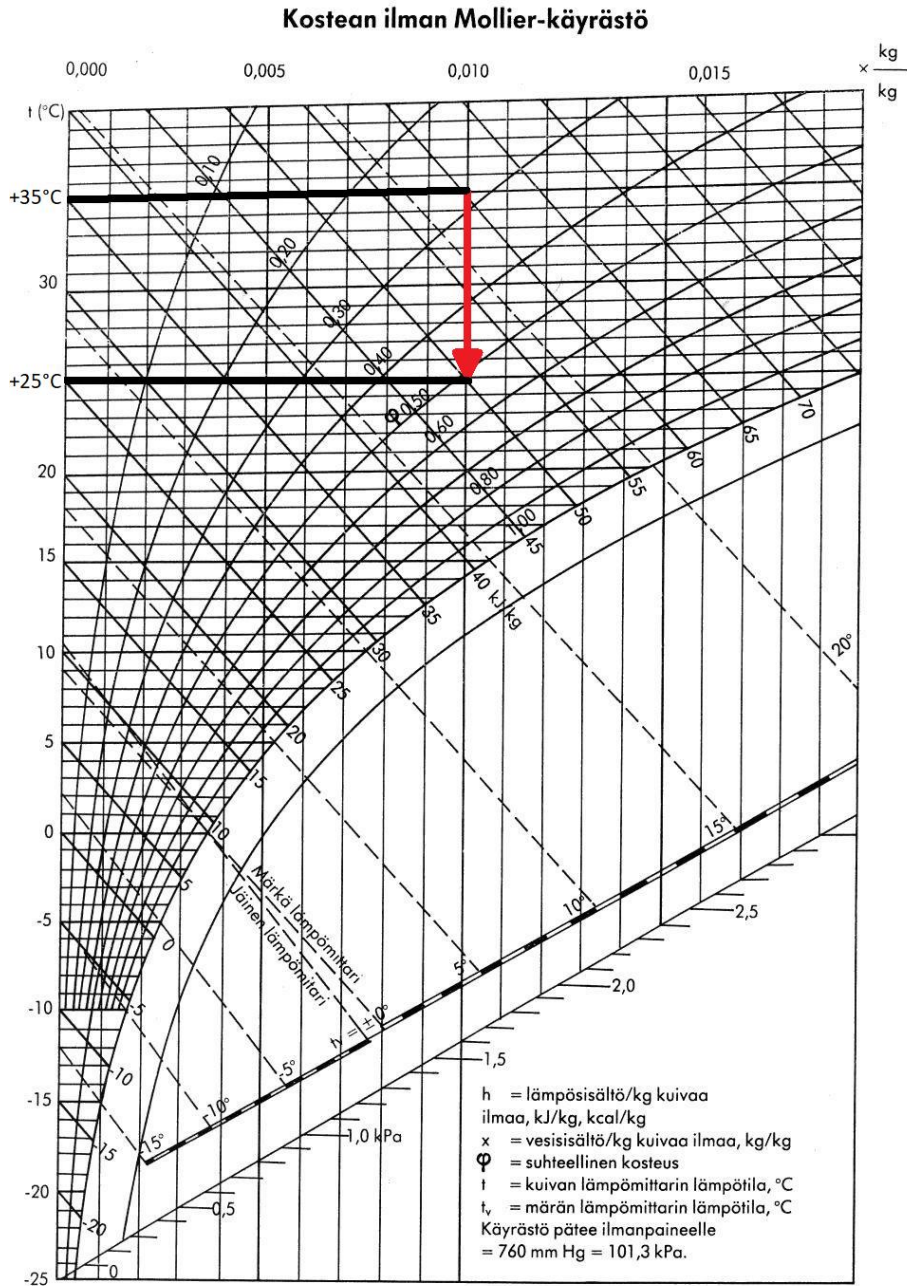
$$\Phi_{\text{ilma}} = \rho_i q_{vi} c_{pi} (T_{\text{tulo}} - T_{\text{ulko}})$$

Φ_{ilma}	lämmitysteho [kW]
q_{vi}	ilman tilavuusvirta [m ³ /s]
c_{pi}	ilman ominaislämpö [kJ/kgK]
ρ_i	Ilman tiheys [kg/m ³]
T_{tulo}	tuloilman lämpötila [°C tai K]
T_{ulko}	ulkoilman lämpötila [°C tai K]

Kaava 1. Lämmitystehon kaava (Sandberg 2016, 131).

3.2 Jäähdytys

Ilman jäähdytyksellä tarkoitetaan sen lämpötilan laskemista. Lämpötilan laskeminen toteutetaan vastavirtaperiaatteella toimivalla lämmönsiirtimellä eli jäähdytyspatterilla. (Sandberg 2016, 132.) Jäähdytyspattereita on toimintatyypiltään kahdenlaisia, suora- ja vastavirta-tyyppisiä, suorahöyrystyksellä toimivia pattereita ja nestekiertoisia pattereita. Käytännön laskelmissa voidaan olettaa patterin pintalämpötilan olevan vakio. (Suomen LVI-liitto yms. 2004,92.) Jäähdytysprosessi, jossa ilman kosteussisältö pysyy muuttumattomana ja patterin pintalämpötila vakiona on kuvattu kuvassa 4. Prosessin kulkusuunta on kohtisuoraan alaspäin.



Kuva 4. Jäähdytysprosessi havainnollistettuna Mollier-diagrammissa.

Jäähdytysprosessissa ilmankosteus sisältöön saattaa tapahtua muutoksia, jos patterin pintalämpötila on alhaisempi kuin siitä läpi virtaavan ilman kastepistelämpötila. Tällöin patterin pintaan tiivistyy eli kondensoituu vesihöyryä ja patterista läpi virtaava ilma kuivuu. (Sandberg 2016, 132.) Tästä syystä jäähdytyspatteri tulee varustaa vesialtaalla, jonka kautta kondenssivesi ohjataan lattiakaivoon (Sandberg 2014, 173).

Kun jäähdytysprosessissa ei tapahdu kondensoitumista, voidaan jäähdytyspatterin tehon määrittämiseen käyttää samaa kaavaa kuin lämmitystehon laskennassa (Kaava 1). Jäähdytysprosessi, jossa tapahtuu vesihöyryn kondensoitumista, tulee käyttää kaavaa 2. (Sandberg 2014, 87.)

$$\Phi_{ilma} = \rho_i q_{vi} (h_{tulo} - h_{ulko})$$

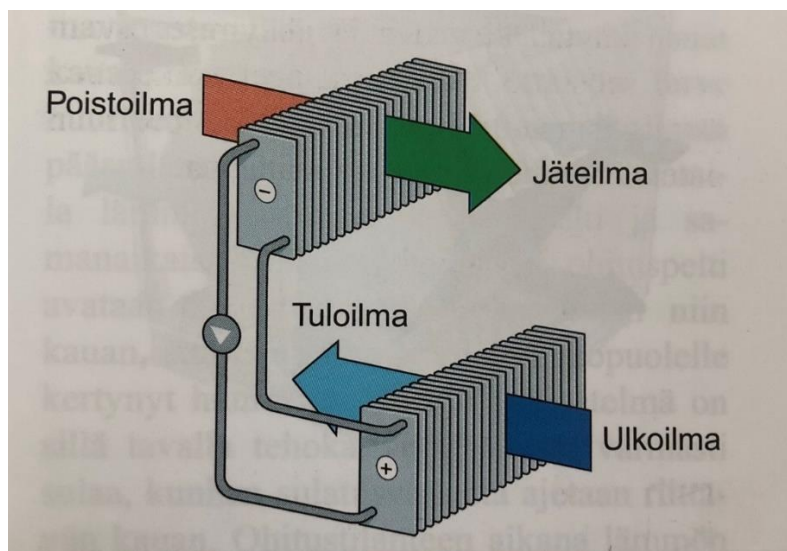
Φ_{ilma}	Jäähdytysteho [kW]
q_{vi}	ilman tilavuusvirta [m ³ /s]
ρ_i	Ilman tiheys [kg/m ³]
h_{tulo}	tuloilman entalpia [kJ/kg]
h_{ulko}	ulkoilman entalpia [kJ/kg]

Kaava 2. Jäähdytystehon kaava (Sandberg 2016, 131).

3.3 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenotto on yksittäinen ilman käsittelyprosessi, jossa tuloilmavirtaan siirtyy lämpöenergiaa poistoilmavirrasta (Sandberg 2016, 130). Prosessin tavoitteena on pienentää ilman lämmittämiseen kuluvia energiakustannuksia. Lämmön siirtäminen ilmavirtojen välillä voidaan toteuttaa käyttäen erilaisia lämmönsiirtimiä. Eri lämmönsiirintyyppejä ovat ristilevy- ja vastavirtalevylämmönsiirtimet sekä regeneratiiviset lämmönsiirtimet. Lisäksi on olemassa virtaavan väliaineen välityksellä toimivia lämmönsiirrin yhdistelmiä. Tällaista kokoonpanoa nimitetään nestekiertoiseksi lämmöntalteenotoksi. (Suomen LVI-liitto yms. 2004, 95–96.) Tässä opinnäytetyössä keskitytään käsittelemään nestekiertoista lämmöntalteenottojärjestelmää, sillä se on yleisimmin käytetty LTO-järjestelmätyyppi puhdastilojen ja laboratorioden ilmanvaihdossa. Syy nestekiertoisen LTO-järjestelmän käyttöön kyseisissä

tiloissa on täysin toisistaan erotetut tulo- ja poistoilmavirrat, joiden välillä ei voi esiintyä vuotoa prosessinaikana. Nestekiertoisen lämmöntalteenoton toimintaa on havainnollistettu kuvassa 5. (Sandberg 2014, 184.)



Kuva 5. Nestekiertoinen LTO-järjestelmä (Sandberg 2014, 184).

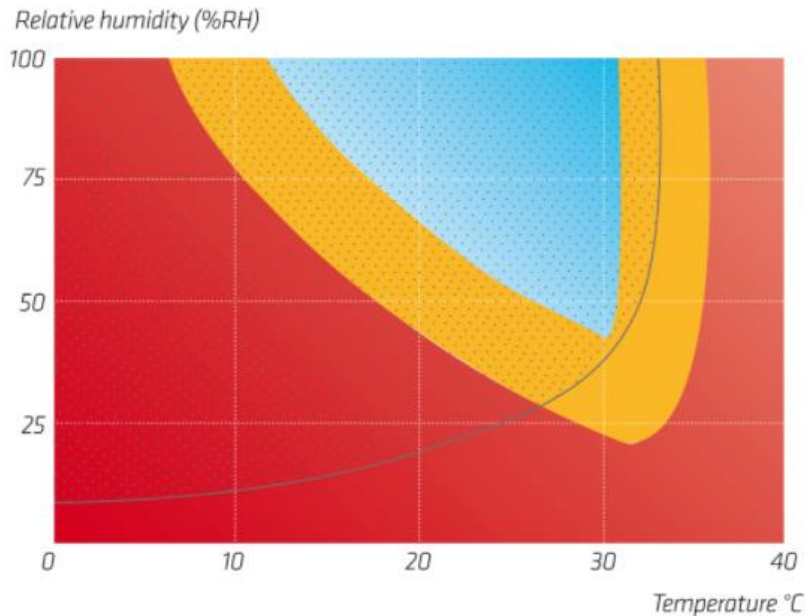
Nestekiertoisessa LTO-järjestelmässä lämmön siirtäminen ilman ja väliaineen välillä toteutetaan tulo- ja poistoilmapattereilla. Patterit ovat rakenteeltaan saman tyyppisiä kuin jäähdytys- ja lämmitysprosesseissa käytetyt lämmönsiirtimet. Lämmönsiirron väliaineena käytetään jäätymisestoaineen ja veden seosta, jota kierrätetään järjestelmässä pumpulla. (Sandberg 2014, 184.)

Nestekiertoisella LTO:lla saavutetaan tyypillisesti noin 40–60 % lämpöhyötysuhde (Suomen LVI-liitto yms. 2004, 96).

3.4 Ilmankuivaus

Ilmankuivauksella tarkoitetaan prosessia, jossa tavoitteena on poistaa halutusta ilmasta ylimääräinen vesihöyry. Kosteuden poistamiseen on tarjolla kaksi eri menetelmää, jotka ovat absorptio- ja kondenssikuivaus. (Trotec 2022a)

Kuvassa 6. on havainnollistettu menetelmien tehokkuutta eri olosuhteissa. Absorptiokuivausta suositellaan käytettävän punaisella alueella, kun taas kondenssikuivauksen on todettu olevan tehokkaampi vaihtoehto sinisellä alueella. Keltainen alue kuvassa esittää siirtymävaihetta eri menetelmien välillä. (Cotes 2022.)

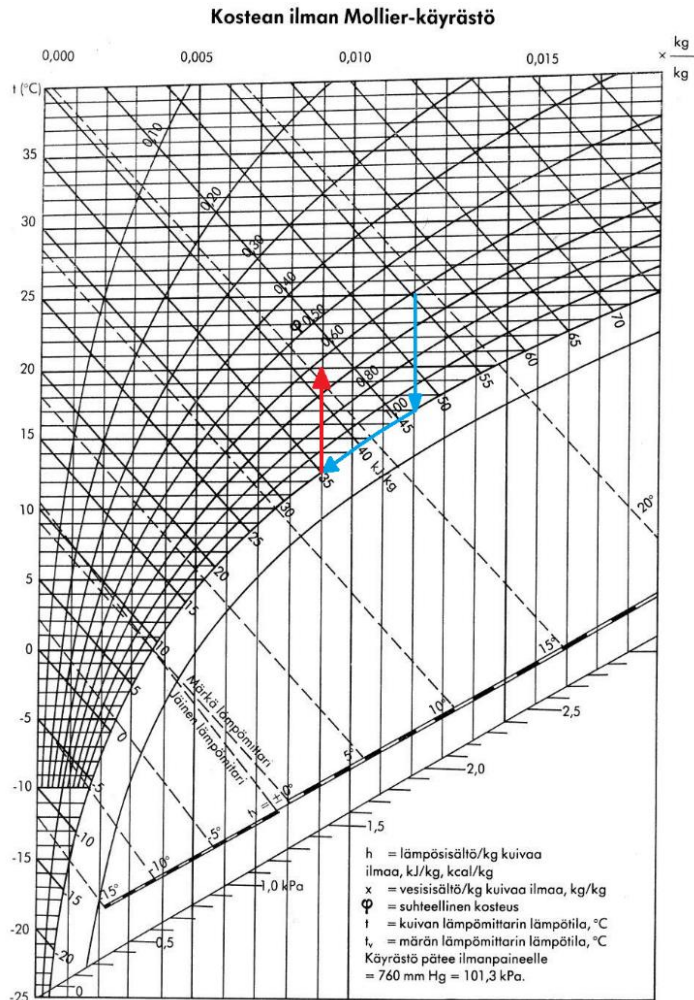


Kuva 6. Ilmankuivaus menetelmien toiminta-alueet (Cotes 2022).

3.4.1 Kondenssikuivaus

Kuivausmenetelmä perustuu ilmassa olevan vesihöyryn tiivistymiseen jäähdytyspatterin pinnalle. Jäähdytysprosessin jälkeen ilma lämmitetään lämmityspatterilla haluttuun sisälämpötilaan. Kondenssikuivaus yhdistää kaksi yksittäistä ilman käsittelyprosessia. (Sandberg 2016, 130.)

Kondenssikuivauksen kulkua on havainnollistettu Mollier-diagrammilla kuvassa 6. Siniset nuolet edustavat jäähdytysprosessia, jossa tapahtuu kosteuden tiivistymistä prosessin osuttua kyllästyskäyrälle. Punainen nuoli kuvastaa ilma lämmitysprosessia.



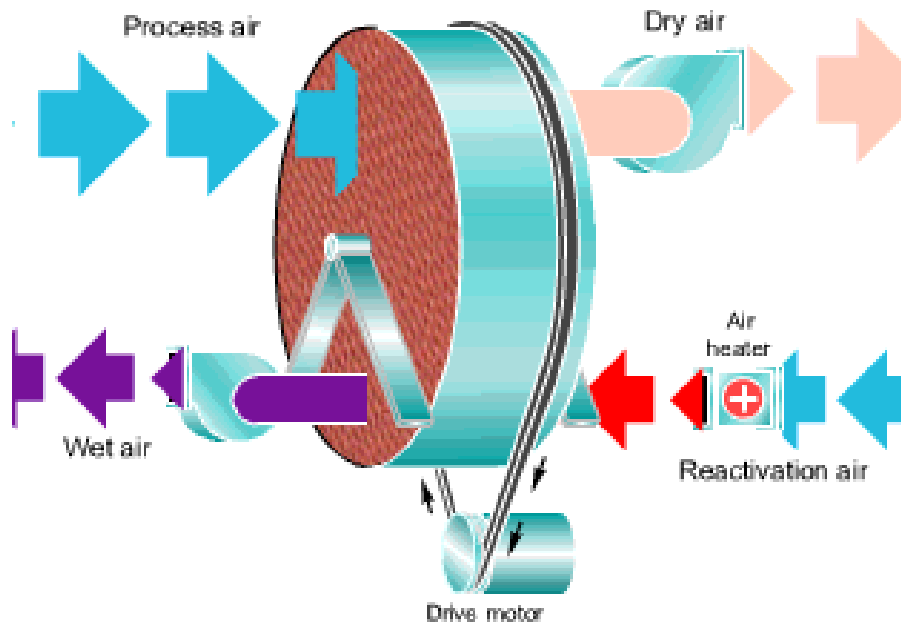
Kuva 7. Kondenssikuivausprosessin kulku Mollier-diagrammissa.

3.4.2 Absorptiokuivaus

Absorptiokuivaus on ilmankuivausmenetelmä, joka toteutetaan erillisellä absorptiokuivausjärjestelmällä. Järjestelmän toiminta perustuu kuiva-aineeseen, jolla on kyky imeä ilmasta kosteutta. Yleisin kuiva-aineen materiaali on silikageeli. (Trotec 2022b.)

Järjestelmä rakentuu kuiva-aineella päällystetystä pyörivästä roottorista, jossa on kaksi erikokoista sektoria. Kuivaussektorilla ilma virtaa roottorin läpi ja kosteus siirtyy ilmasta kuiva-aineeseen. Roottoriin siirtynyt kosteus poistetaan regenerointisektorilla. Sektori lämmitetään ilmavirran avulla, jolloin kosteus roottorista poistuu lämpimän ilmavirran mukana. Kahden sektorin

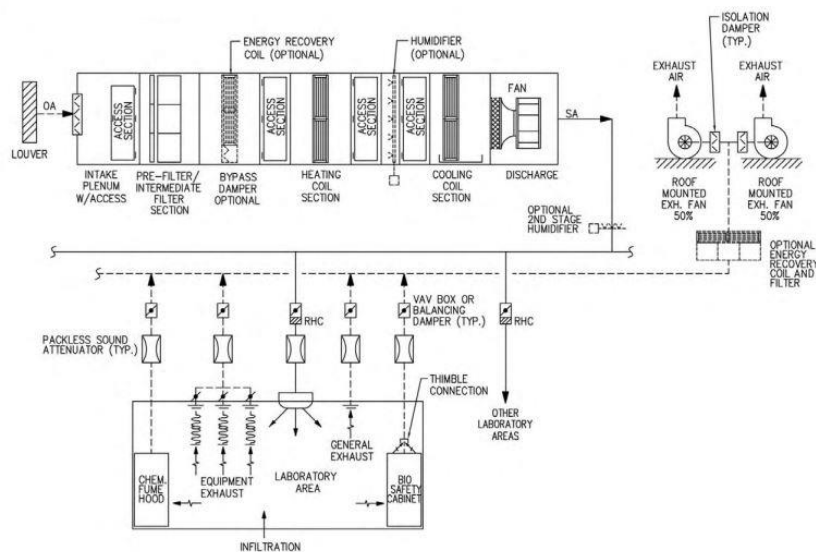
yhteisvaikutukset mahdollistavat ilman jatkuvan kuivatuksen. Järjestelmän toimintaperiaatetta esitellään tarkemmin kuvassa 7. (Munters 2022.)



Kuva 8. Absorptiokuivausjärjestelmä (Munters 2022).

Lääketeollisuuden ilmastointijärjestelmä laboratorioille

ISPE:n julkaisemassa hyvien käytäntöjen oppaassa esitellään yleisesti lääketieteellisuuden erilaisia ilmastointijärjestelmiä. Lääketeollisuuden laboratorioiden ilmastointijärjestelmän tyypillistä rakennetta on kuvattu kuvassa 8. (Goldschmidt ym. 2009, 67–68.)



Kuva 9. Laborion tyypillinen ilmastointijärjestelmän rakenne (Goldschmidt ym. 2009, 67).

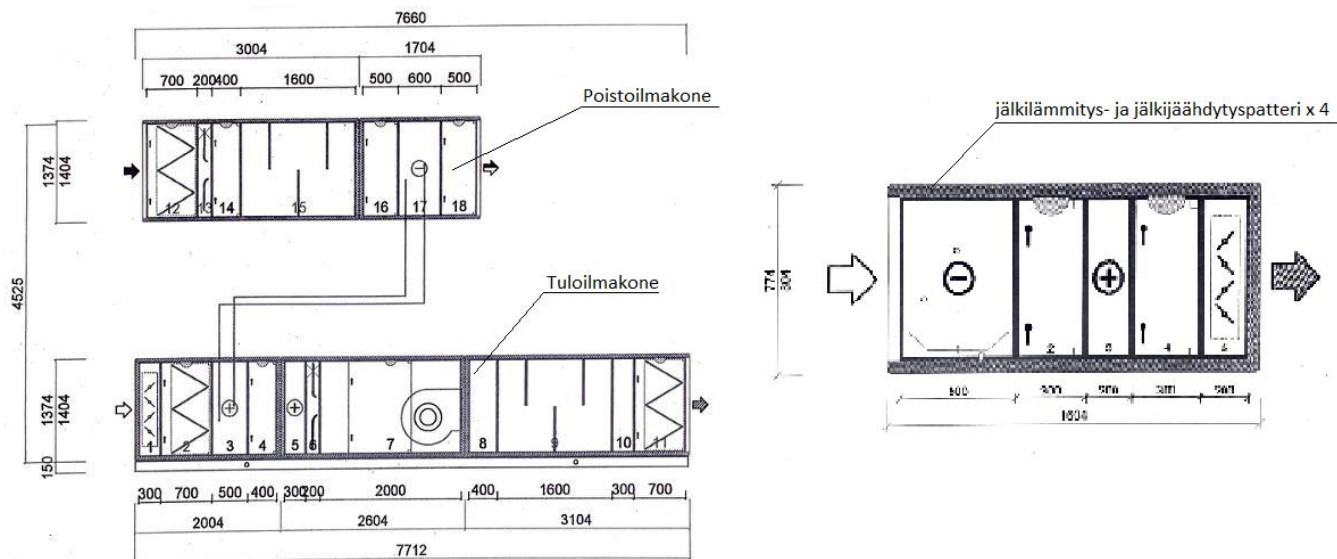
Järjestelmä rakentuu erillisestä tulo- ja poistoilmayksiköstä. Yksiköt ovat kytkettyinä toisiinsa epäsuoralla nestekiertoisella LTO:lla. Tuloilmayksikköön sisältyy yleensä suodatin, LTO-, lämmitys-, jäähdytys- ja jälkilämmityspatterit. Lisäksi ilmankostutusyksikkö voidaan tarvittaessa lisätä tuloilmakoneeseen. Mikäli huoneet johon prosessi-ilma virtaa ovat puhtausluokiteltu tarvitsee tuloilmayksikköön lisätä HEPA-suodatus. Poistoyksikkö muodostuu vähintään LTO-patterista ja poistoilmasuodattimista. Laboratoriossa sijaitsevien vetokaappien ja kohdepoistojen korvausilmamäärä hyödynnetään yleensä ilmastointijärjestelmän mitoituksessa. (Goldschmidt ym. 2009, 67–68.)

Kuivauksen esisuunnittelu

5.1 Suunnittelun lähtökohdat

Ilmastoinnin esisuunnittelun tavoitteena on selvittää lopullinen ratkaisumalli, jolla kosteudenhallinta tullaan toteuttamaan. Tähän sisältyy mahdollisten uusien laitteiden mitoittaminen yhteensopivaksi nykyisen Mikrobiologisen laboratorion kanssa.

Nykyinen Mikrobiologisen laboratorion ilmastointijärjestelmä rakenne on esitelty kuvassa 10. Ilmastointijärjestelmä noudattaa pitkälti tyypillistä lääketeollisuuden laboratorion ilmastointijärjestelmän mallia. Mikrobiologisen laboratorion Nykyisen ilmastointijärjestelmän on valmistanut FläktGroup Oy. Ilmastoinnin vaikutusalue koostuu neljästä eri vyöhykkeestä. Tuloilmakoneesta ilma jaetaan eri vyöhykkeiden välille. Tulokone sisältää kaksinkertaisen ilmansuodatuksen, äänenvaimentimen sekä LTO- ja lämmityspatteri. Lisäksi jokaisella vyöhykkeellä sijaitsee jälkijäähdytys- ja jälkilämmityspatteri. Ilmastointijärjestelmässä on kahden tyyppisiä jälkilämmitys- ja jälkijäähdytyspatterin yhdistelmiä. Poistokone rakentuu ilmansuodattimesta, äänenvaimentimesta ja LTO-patterista.



Kuva 10. Mikrobiologisen laboratorion ilmastointijärjestelmä.

Ilmastointijärjestelmä on suunniteltu yli 20 vuotta sitten ja sen toiminnassa on havaittu selkeitä puutteita viime vuosina. Lisääntyneiden kuumien ja kosteiden kesien vuoksi ilmastointijärjestelmään tarvitsee lisätä kosteudenhallintayksikkö. Mikrobiologisen laboratorion käyttöön suunniteltu päättymisajankohta on vuonna 2025, joten investoinnit kosteudenhallintayksikköön halutaan minimoida. Bayer Oy on määritellyt etukäteen ulko- ja prosessi-ilmalle olosuhterajat, joiden puitteissa järjestelmän tulee pystyä toimimaan. Kuivatustarpeen laskennalle ja suunnittelulle tarvittavat lähtöarvot ovat koottuna taulukossa 1. Taulukkoon kirjatut arvot ovat poimittu Bayer Oy:lta saaduista dokumenteista ja sähköposteista.

Nimike:	Arvo:	Yksikkö:
Tuloilmakoneen lämmityspatterin teho	98,9	kW
Tuloilmakoneen LTO-patterin teho	80,9	kW
Jälkilämmityspatterin ₁ teho	10,9	kW
Jälkijäähdytyspatterin ₁ teho	7,7	kW
Jälkilämmityspatterin ₂ teho	23,7	kW
Jälkijäähdytyspatterin ₂ teho	17,4	kW
Maksimi ulkoilman lämpötila	28	°C
Maksimi ulkoilman suhteellinen kosteus	60	RH %
Tavoiteltu sisäilman lämpötila	20	°C
Tavoiteltu sisäilman suhteellinen kosteus	50	RH %
Tuloilmakoneen ilmamäärä	2,6	m ³ /s
Tuloilmakoneen staattinen paine	420	Pa

Taulukko 1. Lähtöarvotaulukko.

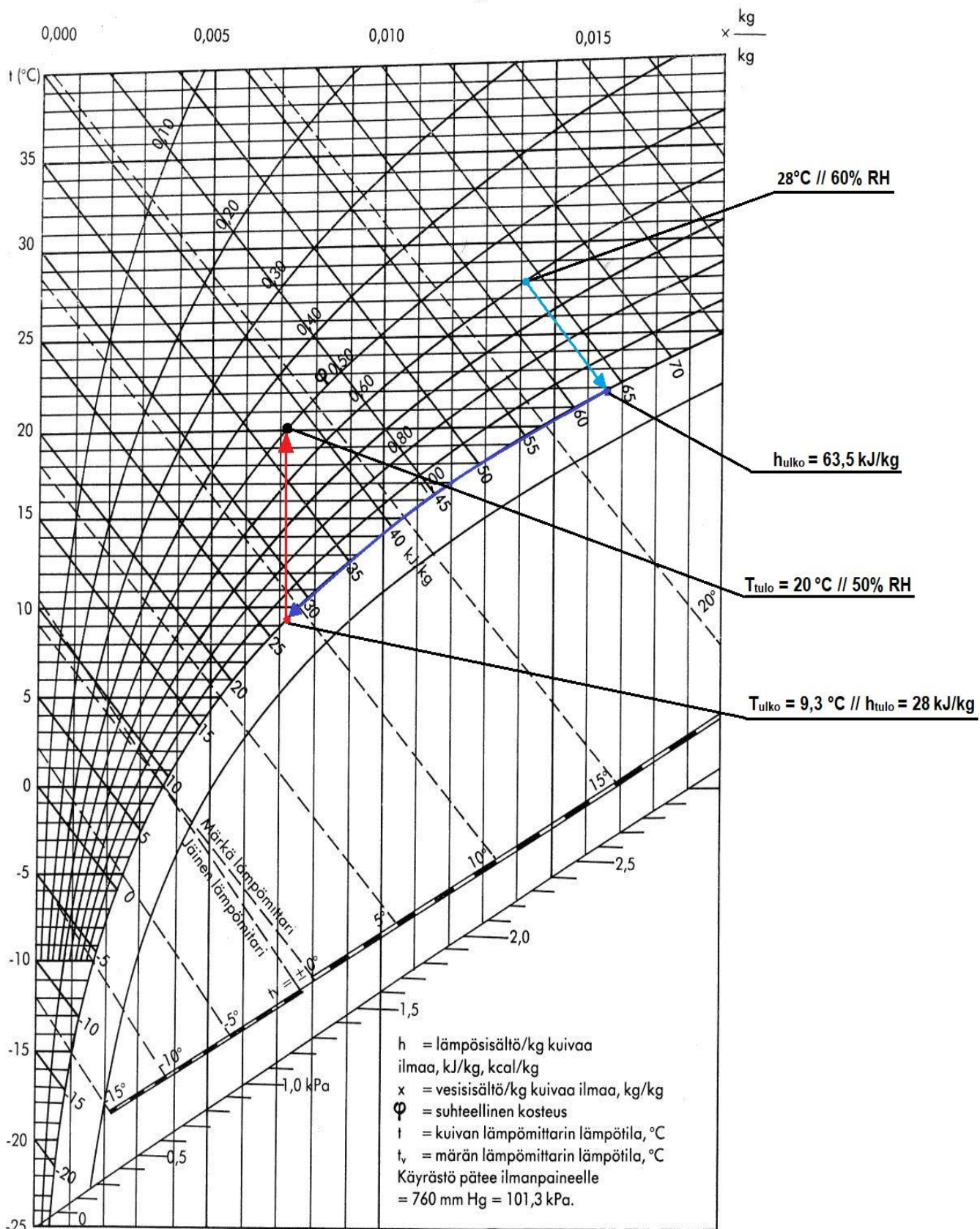
5.2 Ratkaisumallien kartoittaminen

Tässä alaluvussa käydään läpi erilaisia ratkaisumalleja, jolla kosteudenhallinta voidaan toteuttaa Mikrobiologiseen laboratorioon. Kartoittaminen aloitettiin etsimällä internetistä ja muista käytössä olevista lähteistä erilaisia kosteudenhallinnan toteutusmenetelmiä ilmankuivaukselle lääketeollisuudessa. Koska Internetistä löytyi hyvin vähän saatavilla olevaa tietoa lääketeollisuuden ilmankuivauksen toteutusmenetelmistä, opinnäytetyössä päädyttiin tutkimaan Bayer Oy:n Turun tuotantolaitoksen muiden osastojen, kuin Mikrobiologisen laboratorion kosteudenhallinnan toteutustapoja. Tällä tavoin saavutettiin kokonaisvaltainen kuva tuotantolaitoksessa yleisesti käytössä olevista erilaisista kosteudenhallintajärjestelmistä. Näitä eri toteutusmalleja sovellettiin myös Mikrobiologisen laboratorion kosteudenhallintajärjestelmän esisuunnittelussa.

Tuotantolaitoksen eri ilmastointijärjestelmiä tutkiessa ilmeni, että noin 90 % tehtaan kosteudenhallintajärjestelmistä toimii kondenssikuikaus menetelmällä. Loput 10 % ilmankuivauksesta tuotantolaitoksella toteutetaan käyttämällä absorptiokuivausjärjestelmää. Tuotantolaitoksen eri kondenssikuikausjärjestelmiä tarkasteltaessa selvisi eroavaisuuksia myös ilmastointijärjestelmien välillä. Kuivausprosessin sijainti vaihteli tulokoneen ja vyöhykkeillä sijaitsevien jälkijäähdytys- ja jälkilämmityspattereiden välillä.

Turun tuotantolaitoksen eri kosteudenhallintamenetelmiin tutustumisen jälkeen haluttiin laskennallisesti saada selville tarvittava jäähdytys- ja lämmitysteho kondenssikuikauksen toteutumiselle. Kondenssikuikausprosessi piirrettiin Mollier-diagrammiin, josta on luettavissa laskuihin tarvittavia lähtöarvoja. Loput laskuihin käytetyt lähtöarvot löytyvät taulukosta 1 ja lähdemateriaaleista. Tarvittava lämmitys- ja jäähdytysteho selvitettiin käyttämällä laskukaavoja 1 ja 2.

Kostean ilman Mollier-käyrästä



Kuva 11. Kondenssikuivausprosessi

Tarvittava jäähdystysteho:

$$q_{vi} = 2,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_i = 1,184 \text{ kg/m}^3 \text{ (Properties of air)}$$

$$h_{tulo} = 28 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{ulko} = 63,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\Phi_{ilma} = 1,184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 2,6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \left(63,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 28 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 109,28 \text{ kW}$$

Tarvittava lämmitysteho:

$$q_{vi} = 2,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$c_{pi} = 1,006 \text{ kJ/kgK (Properties of air)}$$

$$\rho_i = 1,246 \text{ kg/m}^3 \text{ (Properties of air)}$$

$$T_{tulo} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ulko} = 9,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Phi_{ilma} = 1,246 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 2,6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1,006 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (20 \text{ }^\circ\text{C} - 9,3 \text{ }^\circ\text{C}) = 34,87 \text{ kW}$$

Tarvittavan jäähdytys- ja lämmitystehon selvittämisen jälkeen vertailtiin saatuja tuloksia ilmastointijärjestelmässä olemassa olevan laitteiston kanssa. Tällä tavoin saatiin selville Mikrobiologisen laboratorion ilmastointijärjestelmässä olemassa olevien lämmönsiirtimien soveltuvuus kondenssikuivausprosessin toteuttamiseksi. Laskelmista selvisi, ettei ilmastointijärjestelmä kykene suorittamaan kondenssikuivausta ilman järjestelmän modifiointia.

Jälkijäähdytyspattereiden yhteenlaskettu teho on alhaisempi kuin aikaisemmin ylempänä laskettu tarvittava jäähdytysteho. Vyöhykepattereiden yhteenlasketut jäähdytys- ja lämmitystekot otettu taulukosta 1.

Käytössä olevien jälkijäähdytyspattereiden tehon summa:

Jälkijäähdytyspatterin₁ teho = 7,7 kW

Jälkijäähdytyspatterin₂ teho = 17,4kW

$$2 * 7,7kW + 2 * 17,4kW = 50,2kW$$

Käytössä olevien jälkilämmityspattereiden tehon summa:

Jälkilämmityspatterin₁ teho = 10,9 kW

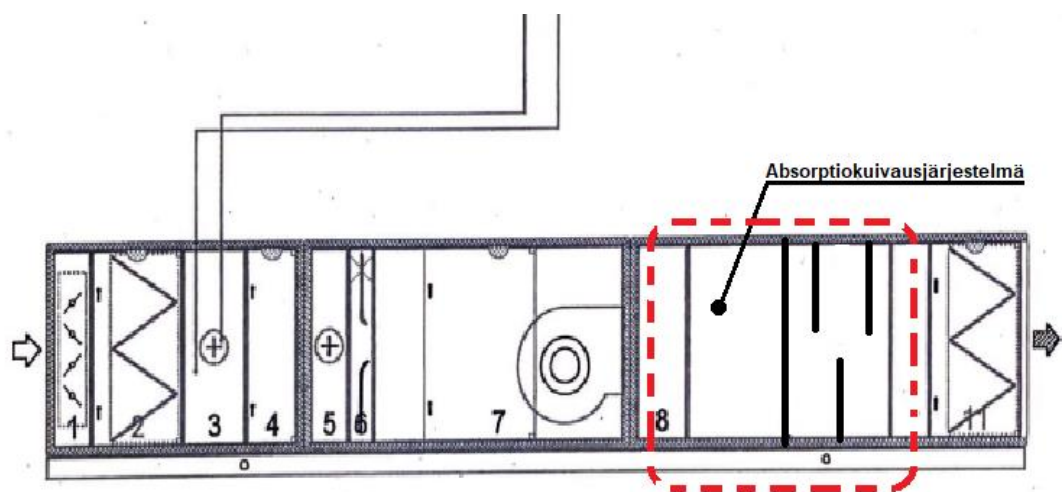
Jälkilämmityspatterin₂ teho = 23,7kW

$$2 * 10,9kW + 2 * 23,7kW = 69,2kW$$

Taustatutkimusten ja alustavien laskemien pohjalta esisuunniteltiin neljä vaihtoehtoista toteutustapaa kosteudenhallinnalle. Eri vaihtoehdot käytiin läpi yhteistyössä Bayer Oy:n Turun tuotantolaitoksen ilmastointi-insinöörin ja insinööritoimisto Rejlers Oy:n LVI-suunnittelijan kanssa. Rejlers Oy toteuttaa Mikrobiologisen laboratorion kosteudenhallinnan lopulliset muutossuunnitelmat. Eri vaihtoehdot kosteudenhallinnan toteutustavoille ovat kuvattuna seuraavissa alaluvuissa.

5.2.1 Absorptiojärjestelmän lisääminen

Absorptiokuivausjärjestelmän sovittaminen olemassa olevaan ilmastointijärjestelmään aloitettiin selvittämällä sijainti, johon kuivausjärjestelmä istutetaan. Tulokoneen piirustuksia tutkimalla löydettiin absorptiokuivaimelle mahdollinen tila. Puolittamalla tulokoneessa sijaitseva äänenvaimennin, saadaan noin 0,8 metriä vapaata tilaa, johon absorptiokuivausjärjestelmän tulee mahtua. Kuvassa 12 punaisella katkoviivalla rajatun alueen sisällä on esitetty mahdolliset muutokset Mikrobiologisen laboratorion tulokoneessa.



Kuva 12. Absorptiokuivaimen lisääminen tulokoneeseen.

Bayerin Turun toimipisteellä käytössä olevat absorptiokuivausjärjestelmät ovat Munters Finland Oy laitevalmistajalta tilattuja. Tästä syystä myös Mikrobiologisen laboratorion ilmastointijärjestelmään sopivan absorptiokuivaimen etsiminen voitiin rajata kyseiseen laitevalmistajaan. Munters Finland Oy:n verkkosivuilta löytyvästä laitekatalogista etsittiin absorptiokuivainjärjestelmää, joka kykenisi toimimaan Mikrobiologisen laboratorion ilmastointijärjestelmän asettamissa rajoissa. Tulokoneen staattinen paine, ilmamäärä ja 0,8 metrin vapaa tila toimivat rajaavina tekijöinä absorptiokuivaimen etsinnässä. Staattinen paine ja ilmamäärä ovat saatavilla taulukosta 1. Ilmeni, ettei Munters Finland Oy:n verkkosivuilla ole tarjolla

kuivainta, joka sopisi Mikrobiologisen laboratorion ilmastointijärjestelmään. Täten absorptiokuivaimen lisääminen tulokoneeseen ei ollut mahdollista.

5.2.2 Vyöhykepattereiden vaihtaminen

Seuraava vaihtoehto on jälkijäähdytys- ja jälkilämmityspattereiden hyödyntäminen kondenssikuvauksessa. Aikaisemmin esitetyissä laskuissa selvisi, ettei nykyisten käytössä olevien jälkijäähdytyspattereiden teho riitä märkääjähdyttämään prosessi-ilmaa riittävästi. Vaihtamalla jokaisen vyöhykkeen jälkijäähdytyspatteri tehokkaampaan, voidaan kuivausprosessi toteuttaa onnistuneesti jälkijäähdytys- ja jälkilämmityspattereilla. Alla esitetään laskutoimitus, josta selviää yksittäisen jäähdytyspatterin tehon tarve.

Jäähdytykseen arvioitu tarvittava teho = 109,28 kW

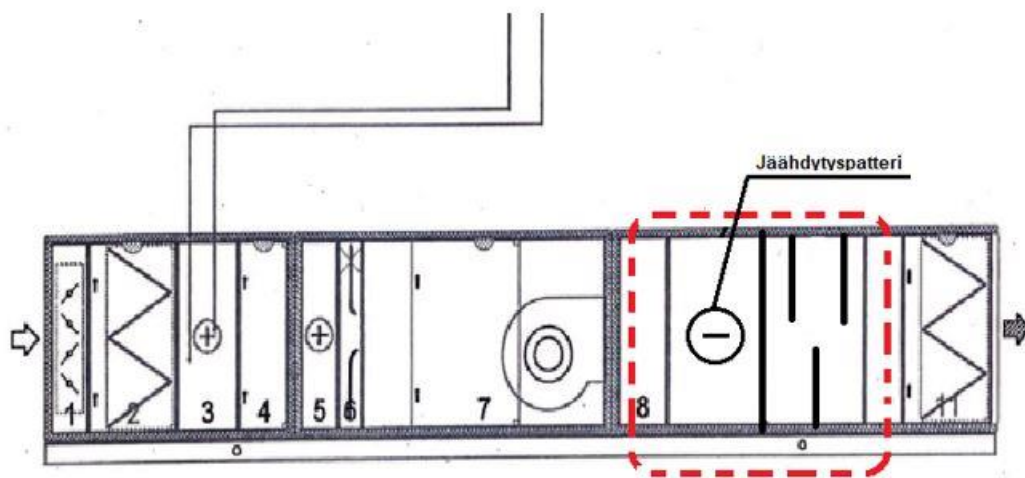
Jäähdytyspattereiden lukumäärä = 4

$$109,28 \text{ kW} \div 4 = 27,32 \text{ kW}$$

Kuivausprosessi käyttämällä vyöhykepattereita aiheuttaa ongelmia muun ilmastointijärjestelmän toimivuuden osalta. Tulokoneessa sijaitsevan lämmitys- ja LTO-patterin käyttöarvo laskee, koska kyseisiä pattereita ei voida hyödyntää kuivausprosessissa, sillä ne sijaitsevat jälkijäähdytyspattereita aikaisemmin ilmastointijärjestelmässä. Lisäksi neljän uuden jälkijäähdytyspatterin hankinnasta, asennuksesta ja putkitöistä koituu merkittäviä kustannuksia. Muuttamalla kuivausprosessi sijaintiin, jossa ilma ei ole haarautunut, voitaisiin prosessi toteuttaa käyttäen alhaisempaa lämmönsiirrin määrää.

5.2.3 Jäähdytyspatterin lisääminen

Lisäämällä uusi jäähdytyspatteri tulokoneeseen, kondenssikuivaus voidaan toteuttaa hyödyntämällä uutta jäähdytyspatteria ja olemassa olevia jälkilämmityspattereita. Uuden jäähdytyspatterin sijainti ilmastointijärjestelmässä tulisi olemaan sama kuin aikaisemmin esitellyn absorptiokuivausjärjestelmän. Tämä vaatii tulokoneessa olevan äänenvaimentimen lyhentämistä. Kuvassa 13 on kuvattu Mikrobiologisen laboratorion tulokone, johon on sovitettu uusi jäähdytyspatteri.

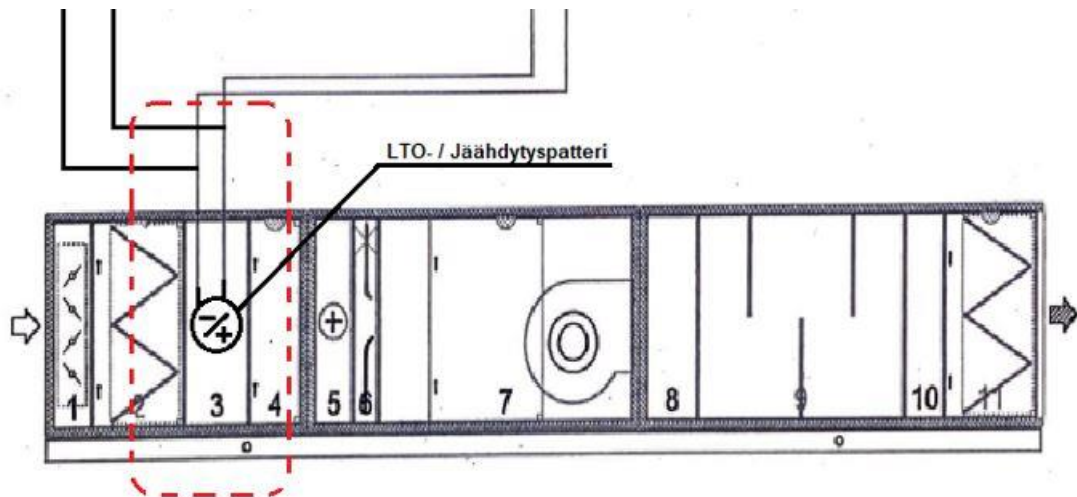


Kuva 13. Havainnekuva uuden jäähdytyspatterin sijainnista.

Uuden jäähdytyspatterin lisääminen tulokoneeseen tuo koko järjestelmän toimivuuden kannalta samanlaisia ongelmia kuin edellisessä aluvussa esitellyssä ratkaisumallissa. Jäähdytyspatterin sijainnin vuoksi LTO- ja lämmityspatterin käyttöarvo laskee, sillä niiden tuottamaa lämmitystehoa ei hyödynnetä kondenssikuivauksessa. Edelliseen vaihtoehtoon verrattuna uuden jäähdytyspatterin lisääminen on kuitenkin kannattavampi vaihtoehto. Jäähdytyspatterin hankinta-, asennus- ja käyttökustannukset ovat aikaisempaan vaihtoehtoon verrattuna alhaisemmat.

5.2.4 LTO-patterin vaihtaminen ja putkiston muokkaaminen

Aikaisemmin esitellyissä vaihtoehdoissa keskeiseksi ongelmaksi on muodostunut kondenssikuivauksen jäähdytysprosessin sijainti. Tässä vaihtoehdossa jäähdytysprosessi on suunniteltu tapahtuvan tulokoneen etuosassa, jotta olemassa olevaa lämmityspatteria voidaan käyttää kuivatetun ilman lämmityksessä. Tämä tarkoittaa, että tulokoneen etuosassa sijaitseva LTO-patteri tulee kytkeä jäähdytyskoneen kylmäpiiriin ja vaihtaa tehokkaampaan yksilöön, sillä nykyisen LTO-patterin teho ei riitä jäähdyttämään prosessi-ilmaa riittävästi. Nykyisen LTO-patterin teho on saatavilla lähtöarvotaulukosta 1. Muutokset toteutettua LTO:ta voidaan pitää päällä talviaikaan, kun ulkoilma ei vaadi kuivausta. Kesäaikana patteri kytketään LTO-piiristä jäähdytyspiiriin, jolloin patteria voidaan hyödyntää kondenssikuivauksessa. Uuden LTO- / jäähdytyspatterin sijaintia on esitelty kuvassa 14.



Kuva 14. Uuden LTO- / jäähdytyspatterin havainnollistava muutoskuva.

5.3 Ratkaisumallien arviointi

Eri vaihtoehtoja vertailtiin arvoanalyysitaulukkoa käyttäen. Arvoanalyysiin valittiin kolme ominaisuutta, jotka pisteytettiin välillä 1–5 käyttäen painokerrointa. Vertailtuja ominaisuuksia olivat kustannukset, yhteensopivuus ja tehokkuus. Kustannuksia pyrittiin arvioimaan alustavien asennus-, hankinta- ja työvoimakustannusten kokonaissummaa. Yhteensopivuudella vertailtiin eri ratkaisumallien sopivuutta nykyiseen ilmastointijärjestelmään muutosvaiheessa. Kuivausjärjestelmien tehokkuutta arvioidessa pyrittiin huomioimaan ratkaisumallin vaikutus koko ilmastointijärjestelmän toiminnan tehokkuuteen. Arvoanalyysitaulukko on nähtävillä taulukossa 2.

	Kustannukset	Yhteensopivuus	Tehokkuus	Yhteensä
Absorptiokuivausjärjestelmän lisääminen	1	1	3	1,8
Vyöhykepattereiden vaihtaminen	2	3	3	2,7
Jäähdytyspatterin lisääminen	4	2	3	3
LTO-Patterin vaihtaminen ja putkiston muokkaus	2	4	5	3,8
Painokerroin	0,3	0,3	0,4	1,0

Taulukko 2. Arvoanalyysitaulukko eri ratkaisumalleista.

Tämän jälkeen eri vaihtoehdot ja arvoanalyysi esiteltiin Bayer Oy:n ilmastointi-insinöörille. Ratkaisumallien haitta- ja hyötypuolien läpikäymisen jälkeen todettiin yhteisymmärryksessä, että LTO-patterin vaihto ja putkiston muokkaaminen on toimivin vaihtoehto eri ratkaisumalleista. Valitun ratkaisun varmistamiseksi sovittiin tapaaminen Rejlers Oy:n kanssa, joka toimii yhtenä Bayer Oy:n Turun toimipisteen LVI-suunnittelijana. Rejlers Oy:n LVI-suunnittelija vahvisti valitun ratkaisumallin toimivuuden.

5.4 Uuden patterin tilaaminen ja katselointi

Seuraavassa esisuunnittelun vaiheessa halutaan selvittää uuteen LTO- / jäähdytyspatteriin liittyvät tarkat tiedot, jotta voidaan varmistua patterin yhteensopivuudesta Mikrobiologisen laboratorion ilmastointijärjestelmän kanssa. Ilmastointijärjestelmästä saatavilla oleva aineisto ja tiedot ilmakeuhäilyprosessista lähetettiin FläktGroup Oy:n asiakaspalveluun, josta tiedusteltiin prosessiin yhteensopivaa lämmönsiirintä. FläktGroupilta tarjottiin ilmakeuhäilyprosessiin ja tulokoneeseen yhteensopivaa LTO- / jäähdytyspatteria. Patterin valinta toteutettiin käyttäen Coils-valintaohjelmaa, johon tarvittavat parametrit syöttämällä ohjelma tarjoaa parametreihin sopivaa lämmönsiirintä. Kuvassa 13 on näkyvissä kuvakaappaus Coils-valintaohjelmasta, josta voidaan havaita uuden patterin teknisiä tietoja. Lisäksi FläktGroup toimitti uuden lämmönsiirtimen konepiirustukset.

Id		Vesi		Höyry		Höyry		Lauhdutin	
Tunniste: IV-34 LTO/JIP						Patterinsovellus: EU-patteri			
Ilma						Patteri			
Virta, m³/s:	2,6	2,6				EURF	EURF		
Lämpötila sisään, °C:	28	28,0				Koko:	40		40
Tulolman kosteus, %:	60					Tehovalitsohto:	4		4
Lämpötila ulos, °C:	9	9,0				Vesiteiden määrä:			16
Poistolman kosteus, %:		100				Läntätkoko DN:			1x32
Nopeus, m/s:		1,7				Tuotelunnuks			
Painehäviö, Pa:		160				EURF-40-B-4-...-HH		X ...	
Vesi						EURF-40-2-4-2-2-16-1-HH			
Lämpötila sisään, °C:	7	7,0				Pattereitten lkm.: 1			
Lämpötila ulos, °C:	12	12,5							
Virta, l/s:		5,96							
Eteyleeniglykolia, paino %:	30								
Nopeus, m/s:		2,0							
Painehäviö, kPa:		173							
Teho									
Teho, kW:		118							

Kuva 15. Kuvakaappaus lämmönsiirtimen Coils-valintaohjelmasta.

Tarvittavien tietojen saannin jälkeen vierailtiin Mikrobiologisen laboratorion konehuoneessa katselmoimassa tarkemmin tulevaa muutosaluetta. Katselmointiin osallistui Are Oy, joka tulee vastaamaan uuden patterin

asennustöistä. Katselmoinnin ajaksi Mikrobiologisen laboratorion ilmastointijärjestelmä sammutettiin. Ilmastointikoneen sammumisen jälkeen tulevan muutosalueen kammioiden luukut avattiin ja ilmastointikoneen kammioiden mittoja vertailtiin FläktGroupilta saatujen patterin konepiirustusten mittoihin. Tämän lisäksi katselmuksessa varmistettiin uuden patterin alle asennettavan kondenssivesialtaan yhteensopivuus ilmastointikoneeseen, sekä kondenssialtaaseen valuvan veden viemärointi. Katselmuksen jälkeen saavutettiin selkeä käsitys uuden patterin asentamiseen liittyvistä työvaiheista. Esisuunnitteluosion päättää varmistuminen uuden patterin tarkoista tiedoista sekä sen yhteensopivuudesta ilmastointijärjestelmän kanssa.

Opinnäytetyön kustannuslaskelman kannalta tärkeitä työvaiheita ovat putkityöt, automaatiotyöt, eristystyöt ja putkiston pesu ja täyttö. Kyseisiä työvaiheita ei kuitenkaan käsitellä opinnäytetyössä tarkemmin. Edellä mainituista työvaiheista koituvat kokonaiskustannukset ovat nähtävillä myöhemmin esitetystä kustannuslaskelmasta.

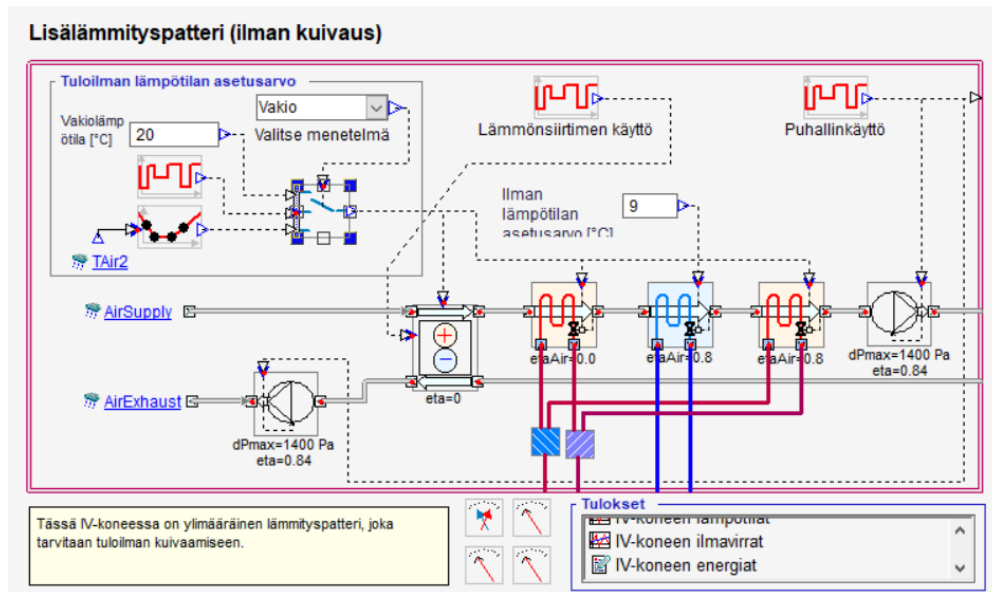
Energiankulutus

Esisuunnitellun ratkaisumallin vuotuiset energiakustannukset halutaan saada selville ennen varsinaista muutosprosessia. Uudesta ratkaisumallista syntyvä energiankulutus näkyy Mikrobiologisen laboratorion ilmastoinnin pääosin lämmitys- ja jäähdytyskustannuksissa. Energiakustannusten selvittämiseen käytettiin IDA ICE nimistä sisäilman- ja energiansimulaatio ohjelmistoa. IDA ICE -ohjelmisto saatiin käyttöön pyytämällä kokeilulisenssiä ohjelmiston verkkosivuilta. Ennen varsinaista energiasimulointia, suoritettiin IDA ICE:n portaalissa tarjolla oleva perehdytys ohjelmiston käyttöä varten. Lisäksi simulointiohjelmiston käyttömanuaali luettiin läpi ennen varsinaista simulointia.

Simulointi aloitettiin määrittämällä rakennustyyppi, jonka sisäilmaa ja energiankulutusta simuloidaan. Rakennustyyppi määrittelee rakennusteknisiä seikkoja, kuten esimerkiksi seinä-, lattia- ja kattorakenteissa käytettyjä materiaaleja. Ohjelmistosta valittiin tarkasteltavaksi Suomessa sijaitseva sairaalarakennus, koska sen arvioitiin vastaavan parhaiten lääketeollisuuden laboratorion rakennustyyppiä. Tämän jälkeen Mikrobiologisen laboratorion pinta-ala ja tilavuus syötettiin ohjelmistoon, jotta simulaatio olisi mahdollisimman todenmukainen.

Rakennuksen perustietojen syöttämisen jälkeen aloitettiin Mikrobiologisen laboratorion ilmastointijärjestelmän toiminnan mallinnus simulaatio-ohjelmaan. IV-koneen tyyppiä valittiin ilmankuivaus, jolloin ohjelmisto asettaa automaattisesti ylimääräisen lämmityspatterin jäähdytyspatterin edelle. IV-koneen tyyppiä valitsemisen jälkeen aloitettiin syöttämään Mikrobiologisen laboratorion ilmastointijärjestelmän tietoja simulointiohjelmaan. Simuloidun IV-koneen rakenne on nähtävillä kuvassa 16. Kuvassa jäähdytyspatteria ennen sijaitsevat LTO-patteristo ja lämmityspatteri eivät ole käytössä simulaation aikana. Ilmastoinnin käyntiajaksi asetettiin normaali teho ympäri vuoden, joka vastaa nykyistä Mikrobiologisen laboratorion ilmastoinnin aikaohjelmaa. Tämän jälkeen siirryttiin määrittelemään ilmastointijärjestelmän lämmönsiirrinten oletus jäähdytyksen- ja lämmöntuottotavat. Jäähdytyspatterin tuottotapana käytetään

sähköllä toimivaa jäähdytyskonetta, kun taas lämmityksessä hyödynnetään kaukolämpöä.

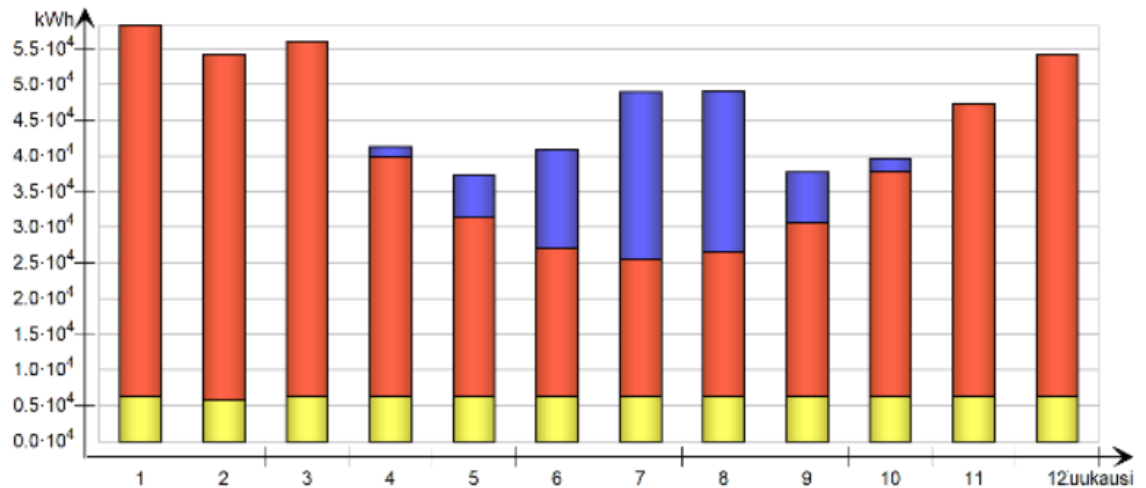


Kuva 16. IDA ICE simulaatiossa käytetty IV-kone.

Lopuksi ennen simulaation suorittamista huoneen sisäilman asetusarvot täydennettiin vastaamaan Mikrobiologisen laboratorion olosuhderajoja. Lisäksi valittiin sääolosuhteet ja sijainti, jossa ohjelmaan luotu rakennus sijaitsee. Sijainniksi valittiin Helsinki ja sääolosuhteiden referenssiksi Helsinki-Vantaan vuoden 2030 sää. Helsinki oli maantieteellisesti lähimpänä tarjolla olevista IDA ICE tarjoamista sijainneista. Tämän jälkeen käynnistettiin simulointi. IDA ICE:n laatimasta raportista on nähtävillä simuloidun Mikrobiologisen laboratorion IV-koneen arvioitu yhden vuoden energiankulutus ilman LTO:ta. Kuvakaappaus IDA ICE:n IV-koneen raportista on nähtävillä kuvassa 17.

kWh (tuntuva ja sidottu)

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	51883.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6415.0
2	48305.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5794.0
3	49692.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6415.0
4	33693.0	1352.0	0.0	0.0	0.0	6208.0
5	24910.0	6054.0	0.0	0.0	0.0	6415.0
6	20906.0	13756.0	0.0	0.0	0.0	6208.0
7	19133.0	23447.0	0.0	0.0	0.0	6415.0
8	20173.0	22505.0	0.0	0.0	0.0	6415.0
9	24429.0	7080.0	0.0	0.0	0.0	6208.0
10	31452.0	1824.0	0.0	0.0	0.0	6415.0
11	41092.0	12.7	0.0	0.0	0.0	6208.0
12	47874.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6415.0
Yhteensä	413542.0	76030.7	0.0	0.0	0.0	75531.0



Kuva 17. IDA ICE:n laatima IV-koneen energiankulutusraportti

LTO:ta ei saatu toimimaan simulaatiossa rinnakkain kondenssikuivauksen kanssa, joten LTO:n käytöstä syntyvät energiasäästöt tullaan arvioimaan laskennallisesti IDA ICE:n tuottamien tulosten pohjalta. Simuloinnin tuloksista voidaan arvioida kondenssikuivauksen olevan käytössä kesä-, heinä- ja elokuussa, sillä tällöin jäähdytyksen energiankulutuksessa on havaittavissa selkeää nousu. Tällöin voidaan päätellä LTO:n olevan käytössä vuoden muina kuukausina. LTO:n hyötysuhteeksi asetetaan laskelmassa 50 %, joka on keskimääräinen nestekiertoisen LTO:n hyötysuhde.

Lämmityksen energiankulutus, kun LTO on käytössä:

Vuoden lämmityksen energiankulutus ilman LTO:ta = 413 542 kWh

Vuoden lämmityksen energiankulutus pl. kesä-, heinä- ja elokuu = 353 330 kWh

LTO-järjestelmän hyötysuhde = 0,5

$$413\,542\text{ kWh} - (353\,330\text{ kWh} * 0,5) = 236\,877\text{ kWh}$$

Laskelmien jälkeen lämmityksen energiankulutus arvioidaan olevan vuositasolla noin 237 MWh ja jäähdytyksen noin 76 MWh. Pelkkään ilmankuivaukseen kuluneen lämmitysenergian summa oli simuloinnin mukaan noin 120 MWh olettaen, ettei lämmityspatteria käytetä laboratorion pelkkään lämmittämiseen kesäkuukausina. Lopullisia tuloksia vertailtiin Mikrobiologisen laboratorion tämänhetkisiin lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuksen arvioihin. Simuloinnissa ja laskelmissa saatujen arvojen todettiin olevan linjassa tämänhetkisiin arvioihin.

Kustannuslaskelma

Liite toimeksiantajan hallussa.

Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön lopputuloksena saatiin esisuunniteltua kustannustehokas ja nykyiseen ilmastointijärjestelmään yhteensopiva kosteudenhallinnan toteutusmenetelmä, jota voidaan hyödyntää muutosprojektin jatkosuunnittelussa. Lisäksi uuden kosteudenhallinnan energiankulutus selvitettiin simuloimalla ilmastointijärjestelmän toimintaa IDA ICE- ohjelmalla. Simuloinnin tuloksena saavutettiin ilmastoinnin kuukausikohtainen energiankulutusraportti, josta selvitettiin ilmankuivaukseen kuluva kokonaisenergia. Opinnäytetyössä koostettiin myös arvio koko muutosprojektin kustannuksista. Opinnäytetyössä saavutettiin työn alussa asetetut tavoitteet.

Opinnäytetyötä tehdessä havaittiin, että suunnitellessa ilmankuivausta olemassa olevaan rakennukseen, tulee suunnitteluvaiheessa huomioida tarkkaan tilojen nykyisen ilmastointijärjestelmän rakenne ja toiminta, jotta ilmankuivausprosessi ei rajoita tai poissulje järjestelmän muiden laitteiden toimintaa.

Tätä opinnäytetyötä voidaan hyödyntää, kun halutaan selvittää erilaisia toteutusmenetelmiä ilmankuivaukselle olemassa olevassa teollisuuskiinteistössä. Opinnäytetyötä voitaisiin jatkaa esimerkiksi tutkimalla Bayer Oy:n Turun toimipisteen muiden osastojen kosteudenhallintamenetelmiä paikan päällä suoritettavien mittausten avulla. Mittaustulosten pohjalta voitaisiin arvioida eri ilmankuivausprosessien tehokkuutta.

Lähteet

Bayer Oy 2020a, History 1863–1881. Viitattu 01.02.2022, päivitetty 04.08.2020, Saatavilla sähköisesti: <https://www.bayer.com/en/history/1863-1881>

Bayer Oy 2020b, History 1881–1914. Viitattu 01.02.2022, päivitetty 31.08.2020, Saatavilla sähköisesti: <https://www.bayer.com/en/history/1881-1914>

Bayer Oy 2020c, Suomi Historia. Viitattu 01.02.2022, päivitetty 17.11.2020, Saatavilla sähköisesti: <https://www.bayer.com/fi/fi/suomi-historia>

Bayer Oy 2020d, Bayer Suomessa. Viitattu 02.02.2022, Saatavilla sähköisesti: <https://www.bayer.com/fi/fi/suomi-bayer-suomessa>

Bayer Oy 2021a, Liiketoiminta-alueet. Viitattu 01.02.2022, päivitetty 15.01.2021, Saatavilla sähköisesti: <https://www.bayer.com/fi/fi/suomi-yritys>

Bayer Oy 2022a, Profile and organization. Viitattu 01.02.2022, päivitetty 01.02.2022, Saatavilla sähköisesti: <https://www.bayer.com/en/strategy/profile-and-organization>

Cotes 2022, 4 key differences between adsorption and condensation dehumidifiers. Viitattu 14.02.2022. Saatavilla sähköisesti: <https://www.cotes.com/blog/4-key-differences-adsorption-vs-condensing>

Goldschmidt, Norman A.; Moore Jr., Donald R.; Blazewicz, Bernard; Gantz, William A.; Gardner, Peter B.; Haycocks, Nicholas; Koller, Norman C.; Roberts, Ronald; Schnipper, Ted N, P. 2009. Good Practice Guide: Heating, Ventilation & Air Conditioning (HVAC). Tampa, Florida, Yhdysvallat: ISPE.

Munters 2022, Ilmankuivaus. Viitattu 14.02.2022, Saatavilla sähköisesti: <https://www.munters.com/fi/solutions/dehumidification/>

Properties of air, Properties of air at 1 atm pressure. Viitattu 20.02.2022, Saatavilla sähköisesti: https://www.me.psu.edu/cimbala/me433/Links/Table_A_9_CC_Properties_of_Air.pdf

Sandberg, E. 2014. Ilmastointitekniikka: Osa 1, Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät: perustietoa ilmastointitekniikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sandberg, E. 2016. Ilmastointitekniikka: Osa 2, Ilmastointilaitoksen mitoitus: opastusta sisäilmaston, ilmastointilaitoksen järjestelmien, tilailmastoinnin, kanavistojen, koneiden sekä jäähdytys- ja rakennusautomaatiojärjestelmien suunnitteluun ja mitoitukseen. Toinen painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Suomen LVI-liitto, Seppänen, O., Hausen, A. & Hyvärinen, K. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Talotekniikka-julkaisut.

Trotec 2022a, Ilmankuivausmenetelmät yhdellä silmäyksellä. Viitattu 07.02.2022, Saatavilla sähköisesti: <https://fi.trotec.com/tuotteet-ja-palvelut/koneet-homecomfort/ilmankuivaus/kaeytaennoen-tietoa-ilmankuivaimista/ilmankuivausmenetelmaet-yhdellae-silmaeyksellae/>

Trotec 2022b, Adsorptiokuivain. Viitattu 07.02.2022, Saatavilla sähköisesti: <https://fi.trotec.com/tuotteet-ja-palvelut/koneet-homecomfort/ilmankuivaus/kaeytaennoen-tietoa-ilmankuivaimista/ilmankuivausmenetelmaet-yhdellae-silmaeyksellae/adsorptiokuivain/>