

Joni Vepsäläinen

Elintarvikemyymälän sisäilman kuivatus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

12.5.2015

Tekijä Otsikko	Joni Vepsäläinen Elintarvikemyymälän sisäilman kuivatus
Sivumäärä Aika	37 sivua + 3 liitettä 12.5.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, tuotantopainotteinen
Ohjaajat	projektipäällikkö Antti Kuikka lehtori Hanna Sulamäki
<p>Insinööriyön tavoitteena oli selvittää, mitä eri vaihtoehtoja on kaupan sisäilman kuivatukseen. Tavoitteena oli myös selvittää, voiko selvitetystä vaihtoehdoista saada valmista mallia, jota käyttää sellaisenaan saneerauskohteeseen tai uudiskohteeseen.</p> <p>Tavoitteet pyrittiin saavuttamaan selvittämällä myymälän sisäilman kosteuslähteet, selvittämään myymälän omia ilmanvaihtoratkaisuja ja niiden avulla selvittää erilaisia kuivatusvaihtoehtoja. Pyrittiin myös selvittämään, milloin myymälöissä on kuivatustarve ja mitkä ovat kuivatusprosessin halutut olosuhteet, kun vertaillaan laitekustannuksia. Työssä esitettiin myös esimerkkikohteeseen kuivatuksen suunnitteluun niin saneerauskohteeseen, kuin uudiskohteeseenkin.</p> <p>Työn lähdeaineistona paljon internetlähteitä sekä talotekniikan alan kirjallisuutta. Suurin osa kirjallisuudesta liittyi ilmastoinnin prosesseihin.</p> <p>Kuivatuksen lisääminen elintarvikemyymälän ilmanvaihtoon vaatii huolellista suunnittelua. Vain oikein mitoitetuilla ja suunnitelluilla järjestelmillä kuivatus saadaan toimimaan. Lisäksi kuivatuksen toteutumiseen vaikuttaa kaupan kylmäjärjestelmien toiminta, ilmanvaihdon toiminta sekä kuivatuksen investointikustannukset.</p>	
Avainsanat	kaupan kylmäkalusteet, energiatehokkuus, kuivatus

Author Title	Joni Vepsäläinen Dehumidification of indoor air in grocery stores
Number of Pages Date	37 pages + 3 appendices 12 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructors	Antti Kuikka, Project Manager Hanna Sulamäki, Senior Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to compare the various options available for the dehumidification of indoor air in grocery stores. Another aim was to find out whether any of the drying options could be implemented as a standard alternative to be used in both existing and new buildings.</p> <p>First, the indoor air moisture sources of a grocery store were established, the possible ventilation solutions examined, and the output data to determine a variety of dehumidification options calculated. Then the conditions in which the indoor air of a store needs dehumidification, as well as a feasible drying process to reach the target conditions, also taking the costs of the units into account, were determined. Furthermore, examples of the planning of dehumidification in both renovation and new construction projects were presented. The source material for the thesis was collected from Internet documents as well as from professional literature.</p> <p>To dry the indoor air in a grocery store requires careful planning. Only a properly sized and planned dehumidification systems will work as desired. The key elements implemented in designing a dehumidification process include the operation of refrigeration systems, ventilation and equipment acquisition costs.</p>	
Keywords	Refrigeration equipment, energy efficiency, dehumidification

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Energiatehokkuus	2
2.1	Energiapalveludirektiivi ja energiatehokkuussopimus	2
2.2	Sähköenergiankulutus päivittäistavaramyymälässä	3
2.3	Kylmän tuotanto ja kylmäkalusteet	4
2.4	Esimerkki kylmäkalustetyypeistä	7
3	Sisäilma ja sen olosuhteet	8
3.1	Yleistä	8
3.2	Jäähdytys	10
3.3	Lämmitys	12
3.4	Kuivatus	13
3.5	Ilmavirtojen sekoitus	14
3.6	Sorptiokuivatus	15
4	Kuivatuksen lähtötiedot	17
4.1	Halutut olosuhteet ja lähtökohdat kuivatukselle	17
4.2	Ulkoilman vaikutus	18
4.3	Myymälän kosteuslähteet	20
4.4	Kaupan kylmäenergia ja lauhdelämpö	20
4.4.1	Kaupan kylmäjärjestelmät	21
4.4.2	Kaupan lauhdelämmön talteenotto	21
5	Kuivatuksen suunnittelu	22
5.1	Laitevalinta ja vaihtoehdot	22
5.2	Kuivatustarpeen laskenta	30
5.3	Muu kuivatukseen liittyvä LVI-suunnittelu	31
5.4	Malliesimerkki olemassa olevaan kohteeseen	32
5.5	Malliesimerkki uudiskohteeseen	34
6	Yhteenveto	35
	Lähteet	36

Liitteet

Liite 1. Päiväkohtainen säädata

Liite 2. Toimintakaavio kiertoilmakoneesta ja lauhdelämmön talteenotosta

Liite 3. Laskentataulukko kuivatukseen

1 Johdanto

Energiapalveludirektiivi (2006/32/EY), jonka soveltamisala on koko Suomen energian loppukäyttö, pois lukien lentoliikenteen, meriliikenteen ja päästökaupan piirissä oleva teollisuus, on määritellyt energiankäytön suuntaviivoja viime vuosina muussa teollisuudessa. Direktiivi tuli voimaan 17.5.2006, ja se tuli panna toimeen kansallisesti 17.5.2008 mennessä. Energiapalveludirektiivi korvattiin energiatehokkuusdirektiivillä (EED), joka tuli voimaan 4.12.2012. Direktiivin Suomen kansallinen ohje edellyttää yhdeksän (9) prosentin energiansäästötaavoitetta vuosilta 2001–2005 päästökaupan keskimääräisestä energiankäytöstä vuosille 2008–2016. S-ryhmä, jossa osana HOK-Elanto, on allekirjoittanut kaupan alan energiatehokkuussopimuksen. HOK-Elanto saavutti tuon tavoitteen vuonna 2011, joten uusi tavoite oli EU:n asettama 20 prosentin energiansäästö vuoteen 2020 mennessä. Uusi tavoite saavutettiin loppuvuonna 2014. Yksi keskeinen asia energiansäästöön vaikuttava asia on ollut kylmälaitteistojen kehittäminen ja niiden ohjausjärjestelmien optimaalinen käyttö. [1;2;3]

Energian hinnan nousu ja samalla toimipaikkaverkoston laajeneminen ovat aiheuttaneet nousevia energiakustannuksia, joten energiankäytön optimointi ja energiatehokkuus ovat entistä tärkeämpää. Kylmäkalusteet ovat suurin sähkönkuluttaja päivittäistavarakaupassa, joten niiden käytön optimointi ja kehitys on tärkeä osa energiatehokkuuden parantamisessa.

Kylmäkalusteisiin ovien lisäys ja kansitus on yksi tehokkaimmista keinoista vaikuttaa sähkönkulutukseen. Tästä on kuitenkin aiheutunut sisäilmaongelmia, sillä avoimet kalusteet ovat aikaisemmin kuivattaneet ja jäädyttäneet kosteaa tuloilmaa. Etenkin helikesällä sisäilman ilmankosteus on aiheuttanut sisäilmaongelmia.

Tämä työ keskittyy ilmastoinnin prosessien käsittelyyn, jota kautta voidaan ymmärtää kuivatuksen ilmastointiprosessi. Työssä esitetään erilaisia vaihtoehtoja kuivatuksen toteuttamiseksi. Lisäksi työssä käsitellään kuivatuksen huomioonottamista ilmanvaihdon suunnittelussa.

2 Energiatehokkuus

2.1 Energiapalveludirektiivi ja energiatehokkuussopimus

Kuten jo edellä mainittiin, elinkeinoelämää koskeva energiatehokkuusdirektiivi velvoittaa kaupan alalla toimijoita energiatehokkuuden parantamiseen sekä kustannus-, että ympäristösyistä. Yksi keskeisimmistä syistä energiatehokkuusdirektiiviin on ilmastonmuutoksen hillintä. Tästä syystä kaupan liitto on yksi toimialaliitto, joka on sopinut elinkeinoelämän energiatehokkuussopimuksen. Energiatehokkuussopimukset ovat tärkeässä asemassa Suomen energiatehokkuustavoitteiden toteuttamisessa. Tällainen sopimusjärjestelmä on Suomen ensisijainen työkalu energiapalveludirektiivin toimeenpanoon. [4]

Energiatehokkuussopimukset kattavat laajasti koko elinkeinoelämän tietyjä poikkeuksia lukuun ottamatta. Kun kaupan alan yritys sitoutuu noudattamaan energiatehokkuussopimusta, tulee yrityksen tunnistaa oma energiankulutuksensa ja sen tehostamismahdollisuudet. Lisäksi yrityksen tulee asettaa energiansäästötavoitteet, ottaa energiatehokkuus huomioon päivittäistoiminnan suunnittelussa sekä hankinnoissa. Yritys sitoutuu hyödyntämään uutta, energiatehokasta teknologiaa sekä toimintatapoja. Kaikki toiminta tähtää vähintään 9 prosentin tehostamistavoitteeseen, joka on palvelualan tavoite vuoteen 2016 mennessä. Säästötavoite on laskettu vuosilta 2001–2005 päästökaupan keskimääräisestä energiankäytöstä. [4]

Direktiivin lisäksi vuonna 2012 voimaan tulleet energiamääräykset, erityisesti rakentamismääräyskokoelman osa D3, velvoittavat energiatehokkaaseen rakentamiseen. Tämä koskee tällä hetkellä vain uusia kiinteistöjä, mutta myös jo olemassa olevia kiinteistöjä koskee myös ympäristöministeriön asetus 4/13 rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä.

HOK-Elannon energiatehokkuussopimuksen täyttäminen 9 prosentin tehostamiselle toteutui jo vuonna 2011, vaikka tavoite oli saavuttaa raja vuoteen 2016 mennessä. Tämän jälkeen HOK-Elanto asetti itse itsellensä tavoitteen tehostaa 20 prosenttiin alkutilanteesta, joka saavutettiin vuonna 2013. Vuonna 2014 HOK-Elanto asetti tavoitteeksi tehostaa energiansäästöä 30 prosenttia alkutilanteesta. Tavoitteen toteutumista ei ollut vielä tietoa tätä työtä tehdessä. Määräaika tälle tavoitteelle on vuonna 2020.

Kuvasta 1 voi tarkastella taulukkomuodossa tavoitettuja ja toteutuneita energiansäästö-tavoitteita [5].

Tilanne 2014

1. HOK-Elannon energiansäästö tavoitteiden kehitys (lähtötilanne 2009):

Tavoite asetettu	Tavoite	Toteutunut	Määräaika	Määrä, MVVh/vuosi	Määrä, milj.€/vuosi
2009	9 %	2011	2016	18 391	1,6
2011	20 %	2013	2016	40 869	3,5
2014	30 %		2020	61 304	5,2

Uusi tavoite →

2. Tulevat velvoitteet:

- EU:n energiatehokkuusdirektiivi (2012)/ energiatehokkuuslaki (2014)
- Toimipaikkakohtaiset tavoitekulutukset ja energian PTS (SOK)

3. Energiansäästön ylläpito

- Raportointijärjestelmät (kiinteistö, kaupan kylmälaitteet)



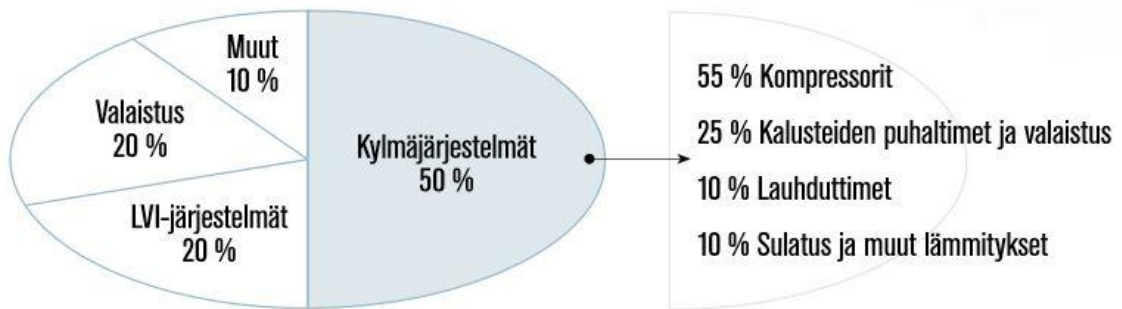
Kuva 1. HOK-Elannon energiatehokkuuden tavoitteet ja kehitys vuodesta 2009 alkaen [5].

2.2 Sähköenergiankulutus päivittäistavaramyymälässä

Myymän keskimääräinen sähkönkulutus on suhteessa sitä suurempaa, mitä pienemmästä myyntipinta-alasta on kyse. Esimerkiksi marketiksi määritellään myymälä, jonka myyntipinta-ala on yli 400 m², ja lähikaupan määritelmä on 100–400 m². Keskimääräinen sähkönkulutus marketissa on 320–460 kWh/brm² ja lähikaupoissa 600 kWh/brm². [6]

Elintarvikemyymälän kylmätekniikka on suurin yksittäinen sähkönkuluttaja, sillä noin puolet kaupan kokonaissähkönkulutuksesta kuluu kylmäjärjestelmien ylläpitoon. Kuvassa 2 on esitetty tarkemmin kaupan kylmäjärjestelmien sähkönkulutuksen jakautuminen. Muita suuria sähköenergian kuluttajia ovat valaistus ja muut LVI-tekniset järjestelmät. [2]

Sähkön kulutuksen tyypillinen jakauma päivittäistavarakaupassa

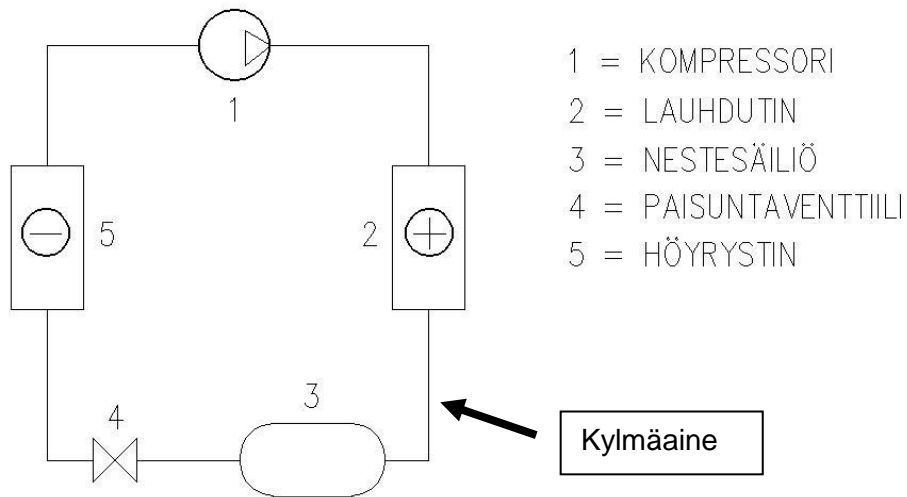


Kuva 2. Sähkönkulutuksen jakauma päivittäistavarakaupassa [2].

2.3 Kylmän tuotanto ja kylmäkalusteet

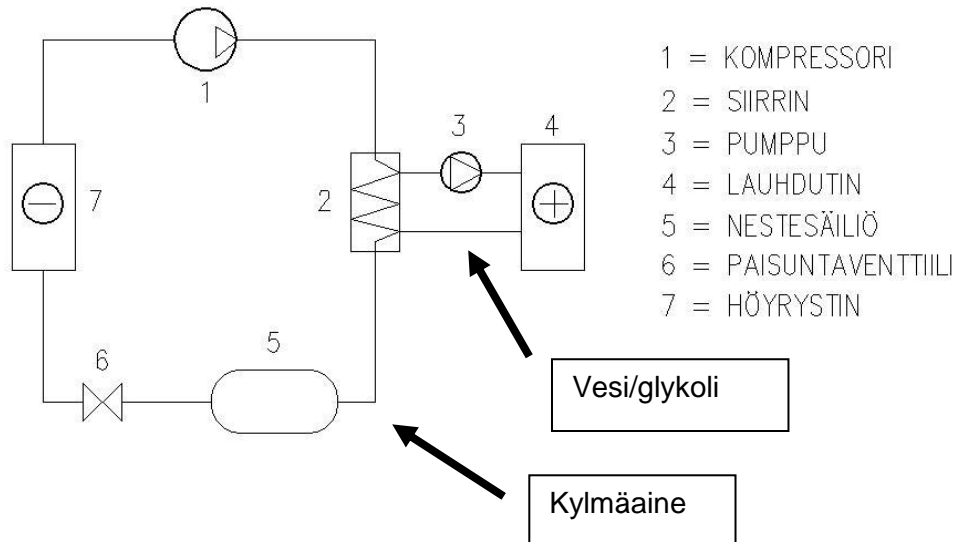
Elintarvikemyymälän kylmäntuotanto keskittyy pääasiassa kylmälaitoksiin, jotka on keskitetty kaupan teknisiin tiloihin. Kompressoreilla toimivat kylmälaitokset ovat nykypäivän kaupan kylmäntuotannon perusta. Pienissä järjestelmissä lauhdutukseen käytetään pääsääntöisesti suorahöyrysteistä ratkaisua ja suuremmissa välillistä järjestelmää. Myös pienissä järjestelmissä käytetään välillistä järjestelmää, jos kompressorin ja ulkolauhduttimen välinen korkeusero on liian suuri, sääntönä on pidetty 25:tä metriä. Kaupan järjestelmien kylmäaineina käytetään pääsääntöisesti R404A:ta ja R407A:ta. Lisäksi viime vuosina on myös rakennettu useampia hiilidioksidilla (CO₂) toimivia kylmäjärjestelmiä.

Suorahöyrysteisellä järjestelmällä tarkoitetaan jäähdytystapaa, jossa höyrystin on suoraan jäähdytettävässä kohteessa ja kylmäaine höyrystyy kokonaan tai osin. Höyrystimelle tullessa kylmäaine on nesteinä, ja palaa sieltä kokonaan tai osittain höyrystyneenä. Suorahöyrysteistä kytkentää käytetään pienissä ja keskisuurissa laitoksissa, joissa on kylmäaineina hiilivetypohjaisia kylmäaineita. Suorahöyrysteisen järjestelmän etuja on sen yksinkertaisuus, edullinen hankintahinta ja pienet putkistot. Kuvassa 3 on esitetty suoran järjestelmän toimintaperiaate. Kuvassa on esitetty kylmäkoneikon pääkomponentit. [15]



Kuva 3. Suoran järjestelmän periaatekuva [17].

Välillisessä järjestelmässä lämpö siirretään lauhduttimessa väliaineeseen. kiertävään lämmönsiirtonesteeseen josta lämpö siirtyy siirtimen avulla edelleen höyrystimessä kylmäkoneen kylmäaineeseen. Lämmönsiirtonesteenä voidaan käyttää esimerkiksi vesi-glykoliliuosta, jolla estetään väliaineen jäätyminen. Välillisen järjestelmän etuja verrattuna suoraan järjestelmään on sen parempi säädettävyys ja höyrystimen tasainen lämpötila. Haittoja ovat välipiirin vaatimat investointikustannukset, huonompi hyötysuhde sekä suuremmat putkistot. Kuvassa 4 on esitetty välillisen järjestelmän toimintaperiaate. [15]



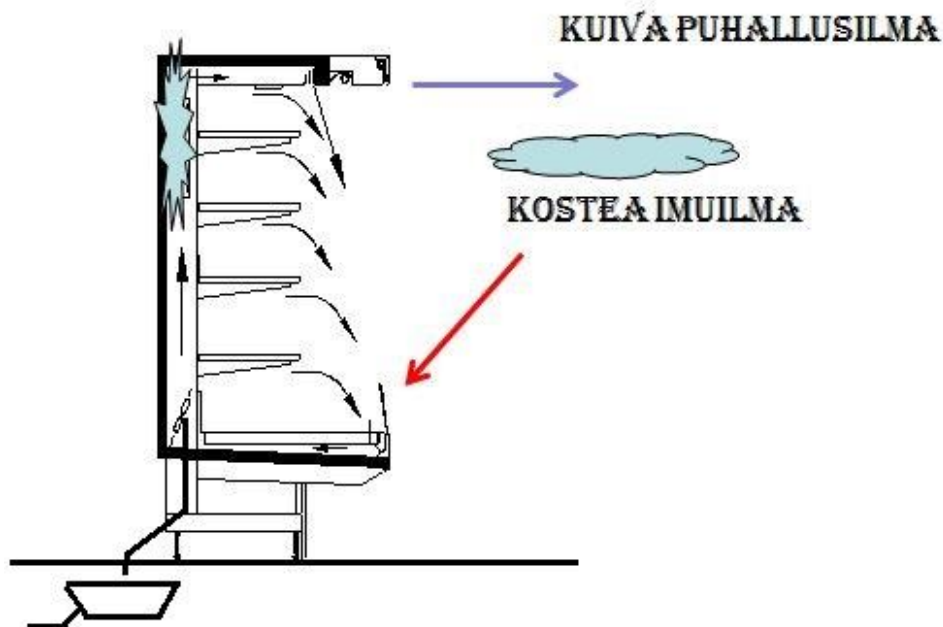
Kuva 4. Välillisen järjestelmän periaatekuva [17].

Uudemmissa kylmlaitoksissa käytetään tyypillisesti HFC-kylmäainetta, joista yleisin kaupan kylmlaitoksissa on R404A. Vanhoissa kohteissa on käytetty otsonille haitalliseksi todettua HCFC-kylmäaineita (vety-kloori-fluorihilivety) esimerkiksi R22, jonka käyttö huollossa kiellettiin vuonna 2010 ja myös kierrätetyn kylmäaineen käyttö kiellettiin 2015 alusta alkaen. Tästä johtuen R22-kylmäainetta käyttävät koneistot on saneerattu uusiin. Nykyiset HFC-kylmäaineet ovat myös voimakkaita kasvihuonekaasuja, mutta eivät aiheuta otsonikatoa. Myös HFC-kylmäaineille etsitään korvaavia vaihtoehtoja koko ajan. Mainittujen kylmäaineiden lisäksi käytössä on muitakin kylmäaineita mm. R134A, R407A ja R507A. [19]

Viime vuosina hiilidioksidilaitokset (CO₂) ovat yleistyneet kauppojen kylmän tuottamisessa. Lisäksi on odotettavissa, että hiilidioksidi kasvattaa osuuttaan tulevaisuudessa laitekehityksen tuodessa markkinoille kehittynyttä tekniikkaa, joka mahdollistaa toimimisen korkeassa painetasossa, jonka hiilidioksidi vaatii.[6]

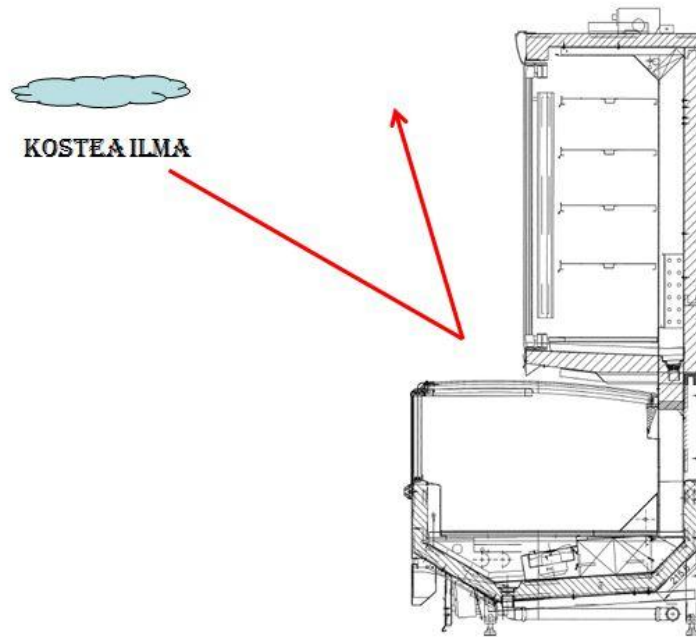
2.4 Esimerkki kylmäkalustetyypeistä

Avoim kylmäkaluste jäädyttää ja kuivattaa sisäilmaa, kun osa kosteasta sisäilmasta kulkeutuu kylmäkalusteen höyrystimen pintaan, jossa se jäähtyy ja kuivuu. Kylmäkaluste puhalttaa kuivatun ilman takaisin myymälään. Avoimissa kylmäkalusteissa jäädyttävän ja kuivattavan vaikutuksen takia kylmäkalusteen sulatustarve on suurempi kuin ovellisilla kalusteilla. Avoimessa kylmäkalusteessa jäädyttävä vaikutus on noin 1 kW/m. Kylmäkalustetoimittaja Norpen mukaan avoimen kylmäkalusteen kuivatusvaikutus on noin 25–35 % myymälän kylmätehosta. Kuvassa 5 on havainnollistettu kostean sisäilman kiertoa kylmäkalusteen höyrystimelle ja takaisin myymälään.



Kuva 5. Kaupan avoin kylmäkaluste [7].

Uudessa, ovellisessa tai kannellisessa kylmäkalusteessa jäädytys/kuivatusvaikutus on selkeästi pienempi. Kostea sisäilmaa pääsee kalusteen höyrystimeen vain ovien tai kansien ollessa auki. Ovellisessa kylmäkalusteessa jäädyttävä vaikutus on noin 0,4 kW/m. Norpen mukaan ovellisen kylmäkalusteen kuivatusvaikutus on noin 10–15 % myymälän kylmätehosta. Kuvassa 6 on havainnekuva ovellisesta kylmäkalusteesta.



Kuva 6. Kaupan kansitettu kylmäkaluste [7].

3 Sisäilma ja sen olosuhteet

3.1 Yleistä

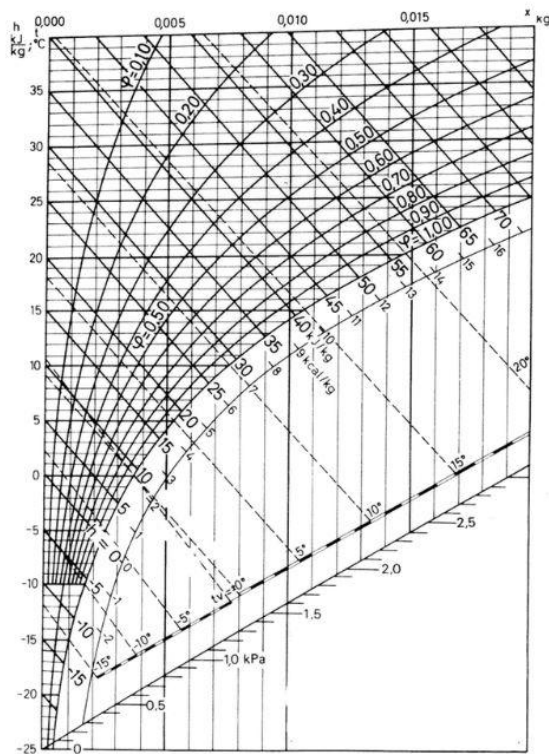
Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (2012) kohdassa 2.3.2, on seuraavanlainen ohje:

"Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilman kosteus pysyy rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa. Sisäilman kosteus ei saa olla jatkuvasti haitallisen korkea eikä kosteus saa tiivistyä rakenteisiin eikä niiden pinnoille tai ilmanvaihtojärjestelmiin siten, että se aiheuttaa kosteusvaurioita, mikrobien tai pieneliöiden kasvua tai muuta terveydellistä haittaa." [8]

Määräys edellyttää, ettei myymälän oviin ja pintoihin saa muodostua kosteutta. Lisäksi kokemusten mukaan kostea sisäilma on vaikuttanut myymälöissä kuivatuotteiden laatuun, pakastetuotteiden laatuun (kuuraa tuotteiden päällä), aiheuttanut tuotehävikkiä, henkilöstön jaksamiseen ja lisäksi kylmäkalusteiden eteen on aiheutunut liukastumisriski tiivistyneen kosteuden takia.

Kosteusongelmat keskittyvät vain kesäkuukausien ajalle, ja tällöinkin vain kun ulkoilma on tarpeeksi lämmintä ja ulkoilman suhteellinen kosteus on korkealla.

Sisäilman kosteuden hallinta perustuu tässä työssä täysin h-x piirroksen avulla ilman-käsittelyn perusprosesseihin. Kostean ilman h-x piirros eli Mollier-diagrammi havainnollistaa, millä tavalla ilman olosuhde muuttuu, ja siitä voi nähdä, millä tavoilla on mahdollista päästä olosuhteesta toiseen. Lisäksi diagrammin avulla voidaan laskea tarvittava lämmitys- tai jäähdysteho sekä kosteuden poisto- tai lisäystarpeet. Mollier-diagrammi on laadittu aina tietylle ilmanpaineelle, tässä tapauksessa ilmanpaine on 101,3 kPa, joka on yleisimmin käytössä oleva arvo. Kuvassa 7 on esitetty Mollier-diagrammi.



Kuva 7. Mollier-diagrammi [20].

Tämän työn tarkastelussa keskitytään kesäajan olosuhteiden hallintaan, jolloin ulkoilman lämpötila ja kosteuspitoisuus ovat suuria. Tämä aiheuttaa kondensoitumista kaupan kylmäkalusteiden pinnoille. Sisäilman kosteutta voidaan hallita kuivaamalla sitä. Tässä työssä käsitellään seuraavia ilmastoinnin perusprosesseja: jäähdytys, lämmitys, kuivatus. Edellisten lisäksi käsitellään myös yleisemmin teollisuudessa käytettyä sorptiokuivatusta.

3.2 Jäähdytys

Jäähdytyksellä lasketaan ilman lämpötilaa. Ilman jäähdytys voidaan toteuttaa suora-
höyrysteisellä kylmäainepatterilla tai epäsuoralla jäähdytyspatterilla, jossa virtaa väliai-
ne, useimmiten vesi. Kun jäähdytetään suora-
höyrysteisellä patterilla, pysyy sen pinta-
lämpötila pääosin vakiona. [9]

Kun esimerkiksi tuloilmavirta jäähdytetään ulkoilman lämpötilasta tuloilman lämpötilaan, käytetään seuraavaa kaavaa tehon määrittämiseksi:

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

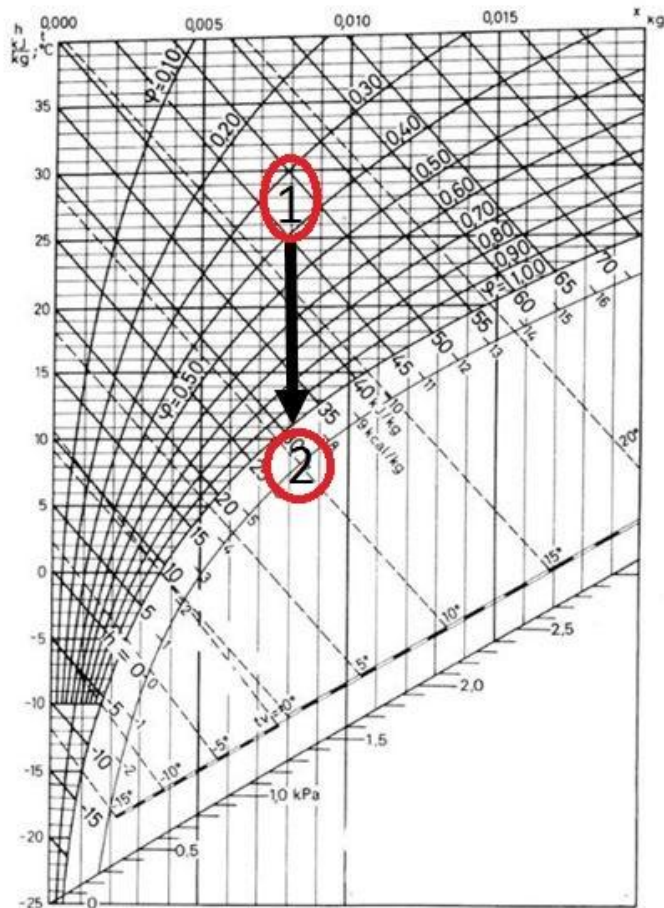
Φ_{ilma}	jäähdytyspatterin teho [kW]
ρ_i	ilman tiheys [kg/m ³]
q_{vi}	ilman tilavuusvirta [m ³ /s]
h_{ulko}	ulkoilman entalpia [kJ/kg]
h_{tulo}	tuloilman entalpia [kJ/kg]

Patteriin kondensoituva veden määrä voidaan laskea kaavalla

$$q_{vesi} = \rho_i q_{vi} (x_{ulko} - x_{tulo})$$

q_{vesi}	kondensoituvan veden määrä [kg/s]
x_{ulko}	ulkoilman absoluuttinen kosteus [g/kg]
x_{tulo}	tuloilman absoluuttinen kosteus [g/kg]

Jäähdytysprosessi, jossa tapahtuu vain tuntuvaa vaikutusta mutta ei kuivatusta, on esitetty kuvassa 8. Jos patterin pintalämpötila on korkeampi kuin patterille tulevan ilman kastepistelämpötila, silloin patteriin ei kondensoidu vesihöyryä. Tässä jäähdytysprosessissa ilman absoluuttinen kosteus pysyy samana, vaikka ilman suhteellinen kosteus kasvaa. Mollier-diagrammissa prosessissa liikutaan suoraan alaspäin. [9]

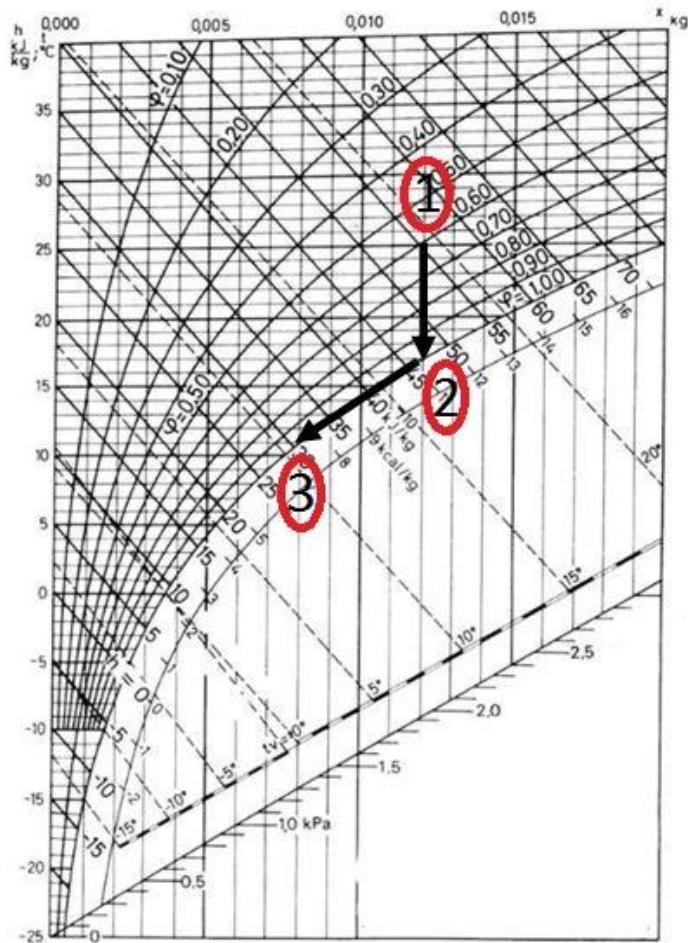


1 = Alkutilanne

2 = Lopputilanne

Kuva 8. Kuiva jäähdytysprosessi Mollier-diagrammissa esitettyä.

Jäähdytysprosessi, jossa tapahtuu kuivatusta on esitetty kuvassa 9. Koska patterin pintalämpötila on matalampi kuin patterille tulevan ilman kastepistelämpötila, patteriin kondensoituu vesihöyryä. Tällöin prosessi menee suoraan kyllästyskäyrälle piirrettyä pintalämpötilaa kohti. Kyllästyskäyrää pitkin menevä osa on kosteutta poistavaa prosessia. Käytännössä prosessi ei ole täysin suora, sillä patterin pintalämpötila ei pysy täysin vakiona, vaan muuttuu hieman ilmavirran mukana. Käytännön laskuissa tätä muutosta ei kuitenkaan usein huomioida, vaan prosessi piirretään yksinkertaistettuna Mollier-diagrammille. [9]



- 1 = Alkutilanne
- 2 = Jäähdytys
- 3 = Kosteuden poisto

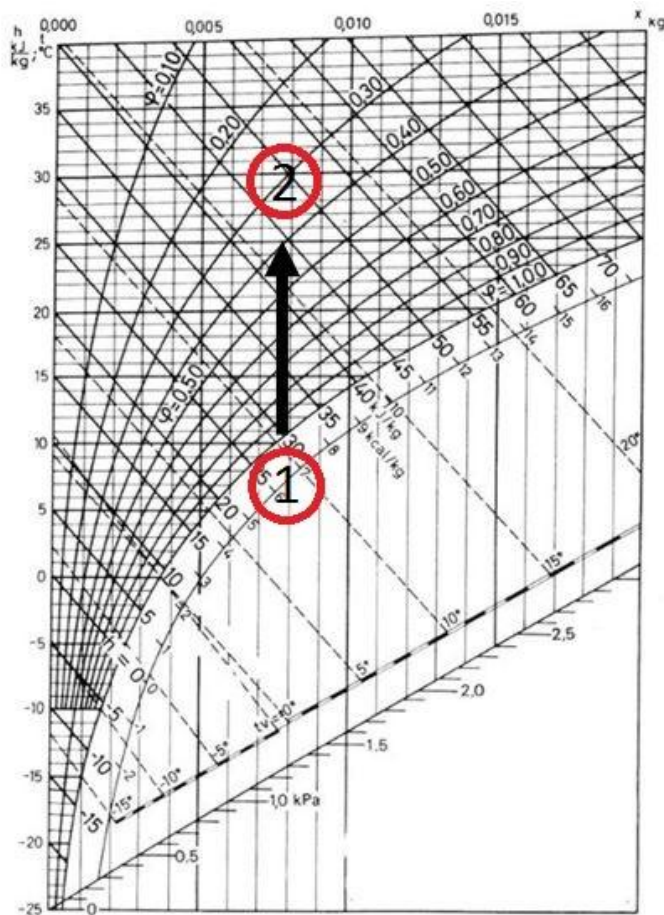
Kuva 9. Märkäjäähdytys esitettyä Mollier-diagrammissa.

3.3 Lämmitys

Lämmitysprosessi on vastakkaissuuntainen kun jäähdytysprosessi, jossa ei tapahdu kuivatusta. Prosessi on esitetty kuvassa 10. Kun esimerkiksi tuloilmavirta lämmitetään ulkoilman lämpötilasta tuloilman lämpötilaan, käytetään seuraavaa kaavaa tehon määrittämiseksi [9]:

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

Φ_{ilma}	lämmityspatterin teho [kW]
ρ_i	ilman tiheys [kg/m^3]
Q_{vi}	ilman tilavuusvirta [m^3/s]
c_{pi}	ilman ominaislämpö [$\text{kJ}/(\text{kgK})$]
T_{tulo}	tuloilman lämpötila [$^{\circ}\text{C}$ tai K]
T_{ulko}	ulkoilman lämpötila [$^{\circ}\text{C}$ tai K]



1 = Alkutilanne

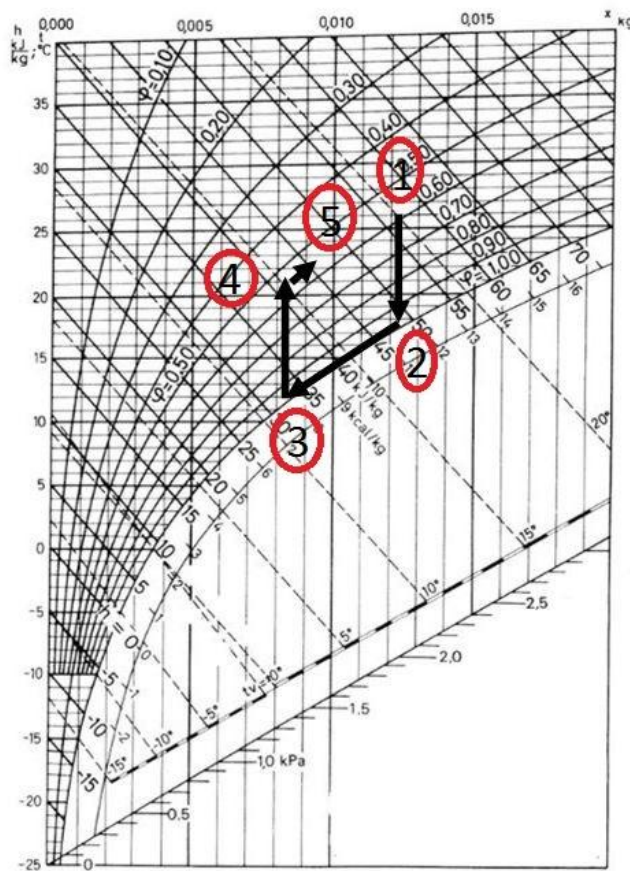
2 = Lopputilanne

Kuva 10. Lämmitysprosessi esitettynä Mollier-diagrammissa.

3.4 Kuivatus

Kuivatusprosessi on yhdistetty märkäähdytysprosessi ja lämmitysprosessi. Jäähdytyksen jälkeen ilma lämmitetään takaisin noin 20–23 °C:seen, riippuen mitä lämmitysrajkaksi on määritetty. Kuivatusprosessiin liittyvät vielä kohteen sisäiset kuormat, jotka

hieman lisäävät kosteuskuormaa prosessin loppuvaiheessa. Kuivatusprosessi on esitetty kuvassa 11. [9]

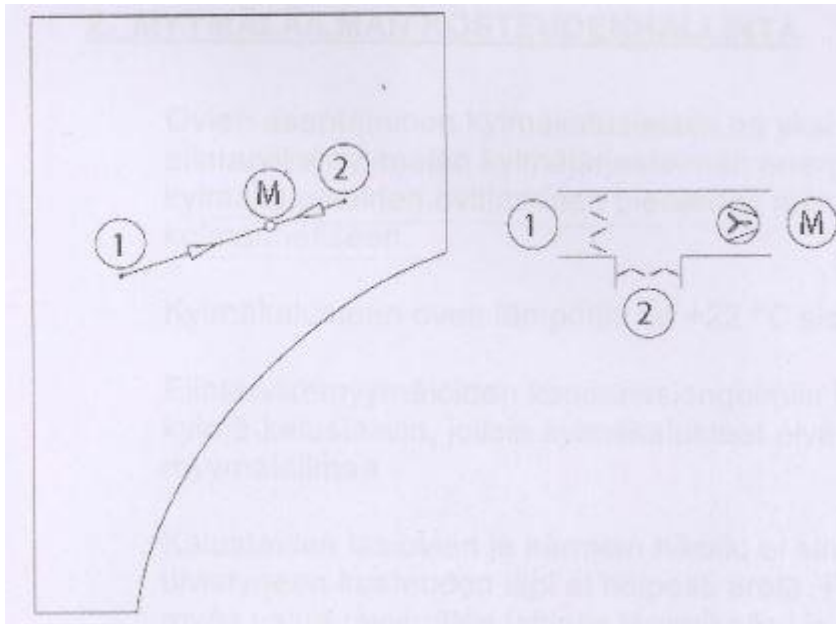


- 1 = Alkutilanne
- 2 = Jähdytys
- 3 = Kuivatus
- 4 = Lämmitys
- 5 = Sisäiset kosteuskuormat

Kuva 11. Kuivatusprosessi.

3.5 Ilmavirtojen sekoitus

Ilmanvaihtokoneissa tai esimerkiksi myymälässä sekoitetaan usein ulkoilmaa ja sisältä palaavaa ilmaa kiertoilmana takaisin myymälätilaan. Itsessään ilmanvaihtokoneessa voi olla kiertoilmatoiminto, tai myymälätilassa voi olla erillinen kiertoilmakone. Ilmavirtojen sekoituspiste voidaan esittää Mollier-diagrammissa. Sekoituspiste tulo- ja kiertoilman välillä saadaan, kun tiedetään molempien ilmavirtojen tiloja kuvaavat pisteet ja massavirrat. Piirtämällä pisteet Mollier-diagrammiin ja muodostamalla pisteiden välille suoran, voidaan selvittää sekoituspiste. Jakamalla suoraan kääntäen sekoittavien ilmavirtojen massavirrat suhteessa siten, että sekoituspiste on lähempänä suuremman massavirran pistettä, saadaan ilmavirtojen sekoituspiste. Kuvassa 12 on esitetty ilmavirtojen sekoitus [11].

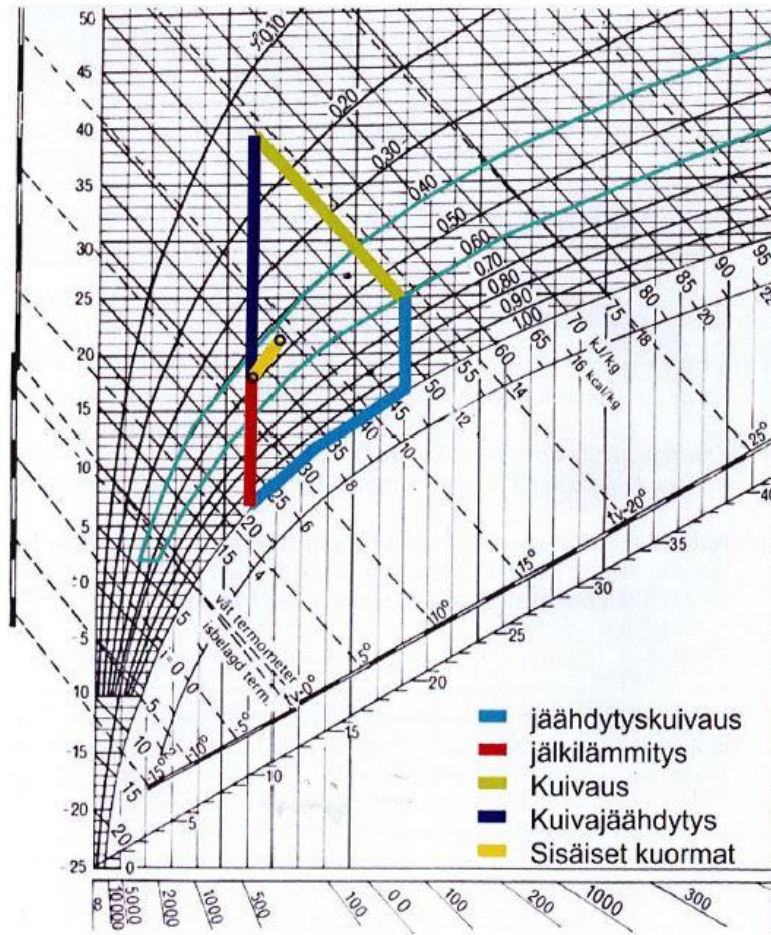


Kuva 12. Ilmavirtojen sekoitus [11].

3.6 Sorptiokuivatus

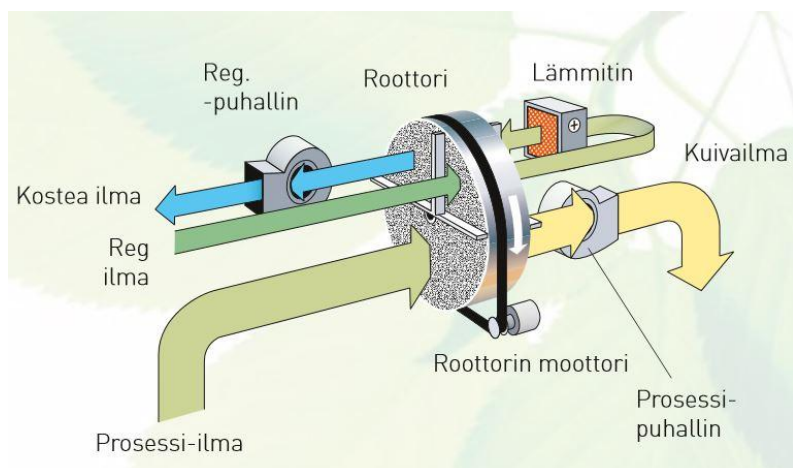
Sorptiokuivatuksella saavutetaan huomattavasti alempi ilman absoluuttinen kosteus kun tavanomaisella jäähdytyskuivauksella. Sorptiokuivatuksessa käytetään yleensä roottorilämmönsiirrintä, joka on pinnoitettu absorboivalla aineella. Roottorissa on kaksi erikokoista sektoria, ja sen tyypillinen pyörintänopeus on noin viideskymmenesosa verrattuna normaaliin poistoilman lämmöntalteenottoroottoriin. [9]

Sorptiokuivatuksen prosessi on esitetty Mollier-diagrammissa kuvassa 13. Kuvassa on esitetty myös normaali kuivatusprosessi. Sorptiokuivatuksessa regenerointi-ilma pitää ensin lämmittää korkeaan lämpötilaan, jolloin se pystyy sitomaan kosteutta kuivattavasta ilmasta. Tällöin myös kuivattavan ilman lämpötila nousee, mikä johtaa tuloilman lämpötilan nousuun. Korkean tuloilman lämpötilan takia sorptiokuivatus tarvitsee myymäläolosuhteissa jälkijäähdytystä. [11]



Kuva 13. Sorptiokuivauksen prosessi Mollier-diagrammissa [11].

Sorptiokuivauksen periaate on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Sorptiokuivauksen periaatekuva [10].

4 Kuivatuksen lähtötiedot

4.1 Halutut olosuhteet ja lähtökohdat kuivatukselle

Halutut olosuhteet määrittelevät pitkälti sen, miten suuret laiteinvestoinnit tehdään kohteeseen. Tehontarve määrittää pitkälti kohteen investointikustannukset. Ulkoilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja myymälän tuloilmavirta ovat lähtötietoja, kun selvitetään myymälän sisäilman kuivatustarve.

Rakennuttajan on yhdessä mietittävä LVI-suunnittelijan kanssa, mitä olosuhteita lähdetään tavoittelemaan. Kuten aikaisemmin todettiin, käytännön tuntuman mukaan kun vesisisältö ylittää 9 g/kg [11], kalusteiden pintaan alkaa tiivistyä kosteutta. Kuivatuksen lähtötilanteen suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon myymälöiden lähtökohdat. Kun myymälää jäähdytetään ja kuivataan, on syytä huomioida, millä tavalla kylmä kuivattu ilma lämmitetään. Jos kaukolämpöä tai lauhdelämpöä on tarjolla, voidaan lämmitellä koneisiin liitetyillä pattereilla ilmaa. Kun kumpaakaan näistä ei ole käytettävissä, voidaan ilmaa lämmittää myös myymälätilaan asennettavilla puhallinkonvektoreilla.

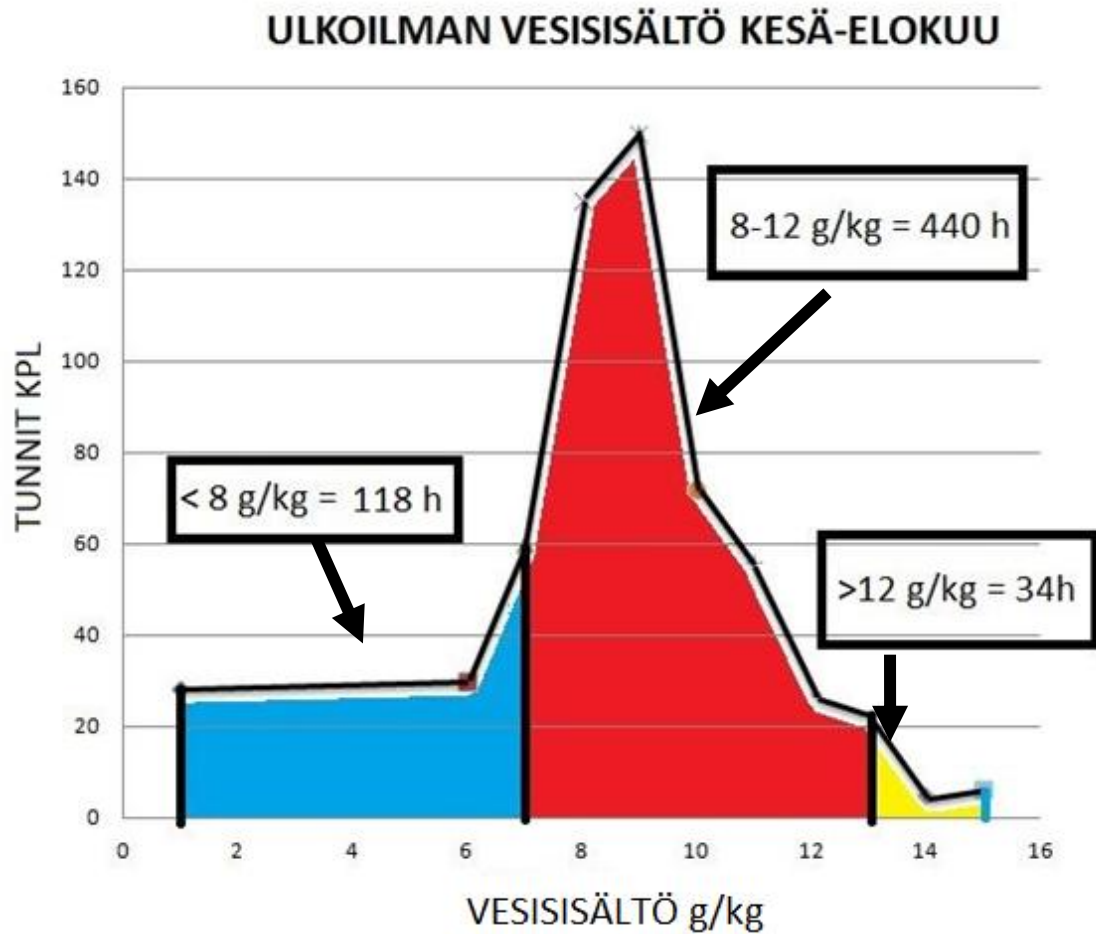
Koska kesäkaudella on ulkoilman korkea absoluuttinen kosteus, kannattaa ottaa ulkoilmaa sisään myymälään mahdollisimman pieni ilmamäärä. Rakentamismääräyskoelman osa D2(2012) mukaan ulkoilmavirtaa tulisi myymälätilaan ajaa $2 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$, joten ilmamäärät ovat usein myymälöissä isoja, koska pinta-ala on suhteellisen suuri, vaikka asiakkaita ei olisikaan sisätiloissa. Tällöin parempi vaihtoehto voisi olla esimerkiksi hiilidioksidipitoisuuden mukaan ohjautuva, tarpeenmukainen ilmanvaihto. Tuloilmakoneen taajuusmuuttajapuhaltimen kierrosnopeudet ja tuloilmavirta säätyvät täysin hiilidioksidipitoisuuden mukaan. Tällöin voidaan tuoda mahdollisimman vähän ulkoilmavirtaa sisään, joka on suurin sisäilman kosteuden aiheuttaja.

Pienen ulkoilmavirran lisäksi myymälärakennus olisi hyvä pitää hieman ylipaineisena. Tällöin raitisilman määrä on suurempi kuin poistoilman määrä, jolloin kosteaa ulkoilmaa ei tule niin helposti myymälän ovista, ikkunoista ja muista aukoista. Myös kesäaikana kannattaa pitää myymälöiden ovet ja ikkunat mahdollisimman hyvin suljettuina ulkoilman kosteuskuorman pienentämiseksi. [11]

4.2 Ulkoilman vaikutus

Kun ilmastointilaitosta ja tässä tapauksessa jäähdytyspatteria ilmanvaihtokoneeseen mitoitetaan, tulee ulkoilman olosuhteet ottaa huomioon, jotta voidaan arvioida jäähdytyspatterin tehontarve. Kuivatustarvetta esiintyy elintarvikemyymälöissä vain kesäkaudella johtuen ulkoilman korkeasta lämpötilasta ja ilmankosteudesta, jolloin kastepiste on korkea. Kesäkauden ulkopuolella ei ole kuivatustarvetta, ja suurin kuivatustarpeen ajankohta sijoittuu kesäkuun lopulta elokuun puoleenväliin tutkitun säädatan mukaan. Ulkoilma on suurin kosteuskuorman aiheuttaja myymälän sisäilmaan, joten ulkoilmaa tarkastellessa on tärkeää selvittää sen sisältämä kosteussisältö.

Kuvassa 15 on esitetty vuoden 2014 kesäkuun lopusta elokuun loppuun (22.6–31.8) ulkoilman vesisisällön jakautuminen tunteihin. Kesäkuun alku ja syyskuun alku olivat kosteussisällöltään alhaisempia kuin myymälän tavoitetaso, joten niitä ei huomioitu tässä työssä. Tutkimuksen säätiedot on saatu Helsinki-Vantaan [EFHK] sääasemalta internetlähteestä [12]. Säädatan tiedon varmistamiseksi ristiintarkastus muista vapaata dataa tarjoavista lähteistä näytti samoja arvoja. Säädataa on seurattu joka toinen päivä, koska se on suuntaa antava ulkoilman olosuhteista. Käyrästä varten tunnit on kuitenkin tuplattu, jotta se osoittaisi yllämainitun aikavälin kaikki tunnit. Ulkoilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden perusteella on tehty tuntikohtaista seurantaa, kellonaikoina 7–23, jolloin myymälät ovat auki. Tulosten perusteella on saatu rakennettua diagrammi. Yläraja oli 15 g/kg, jolloin ilman vesisisältö koko kesänä oli vain muutamia tunteja näin korkealla.



Kuva 15. Diagrammi ulkoilman kosteussisällöstä 22.6.–31.8.2014 välisenä aikana [12]

Kuten kuvasta 15 voidaan todeta, suurimmat tuntimäärät osuvat vesisisällöltään määrään 8–12 g/kg, joka on merkitty punaisella. Tämä on myös tavoitetaso, jossa kaikki 8 g/kg ylittävät tunnit pyritään kuivaamaan. Sinisen alueen tunnit ovat toiseksi suuret, mutta ne ovat alle myymälän tavoitetason ja jätetään täten huomioimatta. Yli 12 g/kg tunnit on merkitty keltaisella alueella. Keltaisen alueen tunnit ovat pahin kuivatustarve, mutta ne jätetään huomioimatta, kun pyritään pysymään järkevissä laitteiden investointikustannuksissa. Kuten aikaisemmin mainittiin, tuntuma kalusteiden hikoilusta alkaa silloin, kun ilman vesisisältö ylittää 9 g/kg. Voidaan todeta kuvaajasta, että noin puolet tunneista ylittää 9 g/kg, joten kuivatustarve todellakin on olemassa. Kuukausi- ja päiväkohtainen taulukko vesisisältöjen tunneista, johon kuvan 15 käyrä perustuu, on liite 1.

4.3 Myymälän kosteuslähteet

Myymälään tuo kosteutta ulkoilmavirta ja myymälässä asioivat ihmiset ja myymälän henkilökunta. Myös myymälän tuoretuotteista haihtuu sisäilmaan kosteutta, joka on voitu havaita painohävikkiä seuraamalla ja vertailemalla. Lisäksi vuotoilmavirta tuo kosteutta myymälään. Tässä työssä ei paneuduta tuoretuotteiden eikä vuotoilman aiheuttamiin kosteuskuormiin, sillä ne ovat marginaalisia verrattuna muihin kosteuslähteisiin. [7]

Kuva 16 on ote taulukosta, josta selviää ihmisen kosteudentuotto. Tässä työssä käytetään keskimääräistä arvoa 90 g/(h*hlö).

Taulukko K.4.1. Asuinrakennuksen sisätilan kosteudentuottoarvoja /RIL 107-2000/.

Kosteuslähde	Kosteustuotto
Ihminen	40... 300 g/h riippuen aktiviteetista (keskimäärin 90 g/h)

Kuva 16. Ote RIL 107–2000-*taulukosta, jossa esitetään ihmisen tuottama kosteuskuorma.* [13]

Alepan kokoisessa, noin 200–300 m²:n myymälässä on henkilökunta ja asiakkaat laskeutena keskimäärin noin 20 ihmistä.

4.4 Kaupan kylmäenergia ja lauhdelämpö

Kun kaupan kylmälaitokset on mitoitettu aikaisemmin avoimille kylmäkalusteille, on kansituksen ja ovituksen myötä kylmätehoa jäänyt koneistolle yli jäähdystarpeen, ja kylmäteho näissä laitoksissa voidaan ohjata suoraan kuivatusta palvelevalle jäähdytyspatterille. Tämän työn lähtötiedot saatavilla olevista kylmätehoista on saatu kyseisten laitosten kylmäsuunnittelijalta. Lisäksi on saatu tietoa siitä, missä myymälöissä on hiilidioksidijärjestelmä. Tämä vaikuttaa olennaisesti kuivatusjärjestelmän valintaan, koska ei ole varma millä tavoin lamellijäähdytyspatteri toimisi korkean paineen vaatiman hiilidioksidin kanssa. Tästä syystä hiilidioksidia käyttävissä kylmälaitoksissa on päädytty kuivatusjärjestelmiin, jossa ei käytetä lamellipattereita.

4.4.1 Kaupan kylmäjärjestelmät

Kompressoreilla toimivat kylmlaitokset ovat nykypäivän kaupan kylmäntuotannon perusta. Pienissä järjestelmissä lauhdutukseen käytetään pääsääntöisesti suora höyrysteistä ratkaisua ja suuremmissa välillistä järjestelmää. Myös pienissä järjestelmissä käytetään välillistä järjestelmää, jos kompressorin ja ulkolauhduttimen välinen korkeusero on liian suuri. Rajana on pidetty 25:ttä metriä. Kaupan järjestelmien kylmäaineina käytetään pääsääntöisesti R404A:ta ja R407A:ta. Lisäksi viime vuosina on myös rakennettu useita hiilidioksidilla (CO₂) toimivia kylmäjärjestelmiä.

4.4.2 Kaupan lauhdelämmön talteenotto

Elintarvikemyymälällä on ympärivuotinen lämmitysenergian tehontarve, koska kylmäjärjestelmät ovat aina käynnissä. Kaupan kylmäkoneiden lauhdutuslämpö on nykyaikaisissa lämmitysjärjestelmissä suunniteltu hyödynnettäväksi alun perin energiansäästön ja sitä kautta pienempien energiakustannusten vuoksi. Lauhdelämmön matalan lämpötilatason takia lauhdelämpöä käytetään pääosin myymälöissä tuloilman lämmitykseen, mutta lauhdelämpöä voidaan myös ohjata kiertoilmakoneeseen, joka lämmitää tilassa olevaa ilmaa. Lisäksi suurempien myymälöiden lauhdelämpöä käytetään parkkihallien luiskanlämmitykseen. Lauhdutuslämpö koostuu kolmesta eri tekijästä, suurin osa (80–90 %) lauhdutustehosta koostuu varsinaisesta lauhdutuksesta, loppuosa tulee tulistuksesta (10–20 %) ja alijäähdytyksestä (0–5 %). [16]

Kuten kylmäjärjestelmissä, myös lauhdutuksen lämmön talteenotto voidaan rakentaa suoralla järjestelmällä sekä välillisellä järjestelmällä. Suorassa järjestelmässä ilmalauhdutin sijoitetaan rakennuksen ulkopuolelle ja rinnakkaislauhdutin, esimerkiksi lamellipatteri, sijoitetaan lämmitettävään tilaan. Lauhdelämpöjärjestelmissä käytetään kylmäjärjestelmien tapaan pääsääntöisesti suoralauhdutteista järjestelmää pienissä kohteissa ja välillistä järjestelmää suurempien tehojen järjestelmissä.

Lauhdelämmön saanti voi olla epätasaista, riippuen kylmäkoneiden kompressoreiden käynnistä, joten usein esimerkiksi tuloilmakoneessa on lauhdelämmön talteenottopatterin jälkeen vielä vesikiertoinen lämmityspatteri tai sähköpatteri, joka mitoitetaan koko lämmitystehon tarpeen mukaan.

5 Kuivatuksen suunnittelu

5.1 Laitevalinta ja vaihtoehdot

Kuivatuksen suunnittelun aloitus alkaa haluttujen kosteuspitoisuuksien määrittämisen jälkeen tarkastelemalla, millä tavoin kuivattavan myymälän talotekniikka on toteutettu. On otettava huomioon, miten ilmanvaihto on toteutettu myymälässä, esimerkiksi lämmitetäänkö myymälää ilmanvaihdon avulla. On myös selvítettävä, onko myymälässä kiertoilmatoimintoa ilmanvaihdossa ja minkälainen on myymälän tuloilmakone ja sen ilmamäärä myymälään. Lisäksi esimerkiksi isojen kiinteistöjen kivijalkamyymälöissä on tarkistettava, millä tavoin myymälän tuloilmaan voidaan vaikuttaa. Usein kaupunkien keskustoissa olevissa kivijalkamyymälöissä on tuloilmakone jopa jaettu muun liikekiinteistön kanssa, jolloin tuloilmakone on kiinteistön vastuulla. Jos tuloilmakone ei ole myymälän oma, siihen on vaikea tehdä mitään muutoksia.

On myös selvítettävä, millä tavoin myymälän ilmanvaihdon ja kylmälaitosten automaatiikka on toteutettu. Kuivatuksen ohjaus perustuu myymälätilassa olevaan kosteus- ja lämpötila-anturin asetusarvoon laskemaan kastepisteeseen. Kun asetusarvo ylittyy, antaa valvonta-alakeskus kylmäkompressorille käyntiluvan, joka tuottaa kylmätehon jäähdytyspatterille ja patteri alkaa kuivata sisäilmaa. Käyntilupa poistuu, kun kosteuspitoisuus laskee myymälätilassa kosteusanturin mittaamaan alarajan asetusarvoon. Lisäksi mikäli joko tuloilmakoneessa tai kiertoilmakoneessa sisäänpuhalluslämpötila laskee alle asetusarvon, poistaa valvonta-alakeskus kompressorilauhduttimen käyntiluvan asetellun viiveen ajaksi.

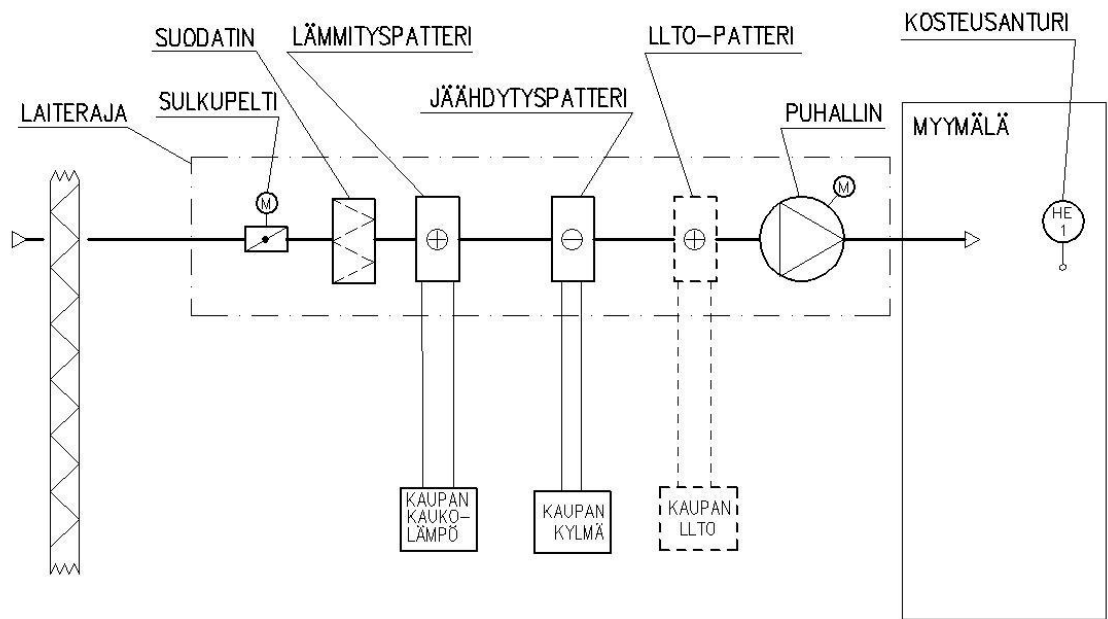
Kun myymälän ilmamäärä tiedetään, voidaan sen avulla laskea kuivatustarve. Tämän jälkeen selvitetään, mitkä ovat myymälän kylmäkalusteiden tehokapasiteetit, eli kuinka paljon kylmäkompressoreista on tehoa hyödynnettävissä ja kuinka paljon kompressoreista on lauhdelämpöä hyödynnettävissä. Myymälän kuivatusta suunnitellessa on myös aina tehtävä kartoituskäynti, josta selviää, kuinka paljon todellisuudessa suunnitelluille laitteille, koneille ja kanavoinnille on tilaa ja mahdollisuuksia. Huomioitavia asioita on myös koneiden haalaukselle vaadittavien tilojen tarkastus ja tulevat koneiden huoltotilat, josta on pystyttävä vaihtamaan osia ilmanvaihtokoneelle jälkikäteen. Lisäksi on selvítettävä, onko mahdollinen ulkoyksikön sijoitus mahdollista esimerkiksi sisäpihal- le, jätekatokseen tai julkisivuun. Kun tiedossa on edellä mainitut asiat, voidaan miettiä

eri vaihtoehtoja kuivatukselle. Kuivatuksen toteutus riippuu myös pitkälti kohteen budjetista sekä ilmanvaihdon saneeraustarpeesta. Kun valittu vaihtoehto on tuloilmakone tai kiertoilmakone, suoritetaan konemitoitukset valmistajan toimittamalla mitoitusohjelmalla. Muutoin esimerkiksi sorptiokuivauksen suunnittelu tai ilmalämpöpumpulla kuivatus on enemmän valmistajan omaa tietoa, ja tällöin laitetoimittajiin tai valmistajiin tulee olla yhteydessä.

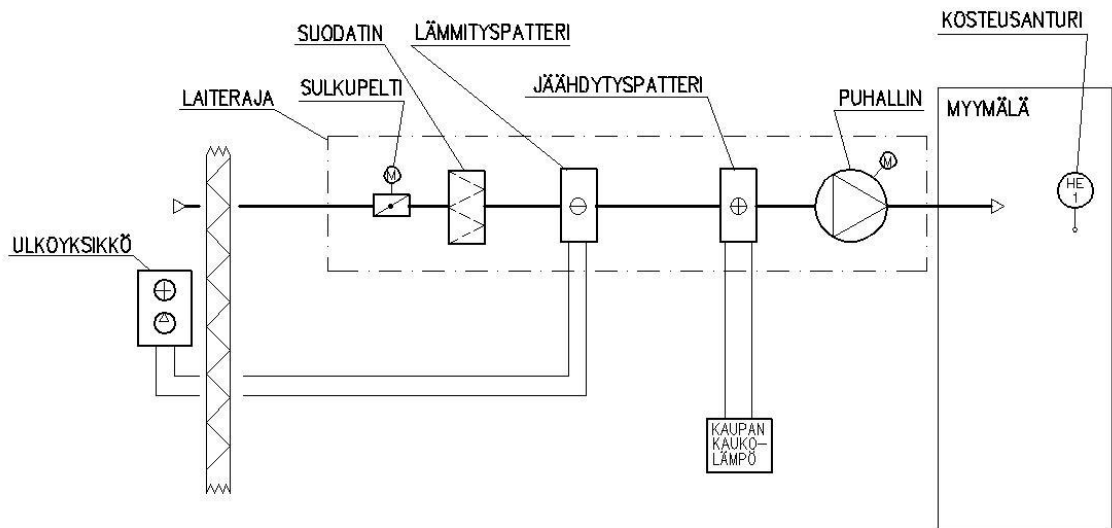
Alla on esitetty erilaisia vaihtoehtoja myymälän sisäilman kuivatuksen toteutukseen. Kuvissa on yksinkertaistetut vaihtoehdot, ja ne toimivat lähinnä havaintokuvina.

Paras vaihtoehto on kuivattaa kostea ulkoilma tuloilmakoneen jäähdytyspatterissa, ja tämän jälkeen lämmittää se lauhdelämmön talteenottopatterilla, joka on myös sijoitettu tuloilmakoneeseen. Tällöin pystytään kuivatustarve toteuttamaan tilankäytön ja huoltojen perusteella tehokkaalla tavalla, kun myymälätilaan ei tarvitse sijoittaa ylimääräisiä kiertoilmakoneita tai jäähdytyskonvektoreita. Tuloilmakoneen jäähdytyspatterin ja lauhdelämmön patterin tehot ja saatavuus riippuvat myymälän kylmäjärjestelmän toiminnasta ja sen tehokapasiteetista. Jos kaupan kylmätehoa ja lauhdelämpöä ei ole tarjolla, pyritään käyttämään ulkolauhdutinta jäähdytyspatterille ja lämmitykseen joko vesikiertoista lämmityspatteria tai sähköpatteria. Tuloilmakoneen uusiminen olemassa olevaan myymälään on kuitenkin todella suuri investointi, joten se ei ole kannattava, jos myymälään ei ole ilmanvaihdon saneeraustarvetta vanhan ilmanvaihtokoneen vuoksi. Jos kuitenkin olemassa olevassa tuloilmakoneessa on patterivaraus, voidaan kuivatuspatteri asentaa. Tällöin voidaan joutua tekemään myös konemuutoksia esimerkiksi puhaltimelle, jos käytettävissä oleva jäähdytysteho on liian pieni nykyiselle ilmamäärälle.

Kuvassa 17 on esitetty uusi tuloilmakone, johon on liitetty kaupan kylmäjärjestelmästä tehoa jäähdytyspatterille sekä lauhdelämpöä lämmityspatterille. Tuloilmakoneessa on myös kaukolämpöpatteri lämmityskautta varten, koska lauhdelämmitys ei pysty lämmittämään talvella tarpeeksi tuloilmaa. Lauhdelämmön talteenottopatteri on esitetty kuvassa katkoviivalla, koska se on mahdollisesti saatavilla. Kuvassa 18 esitetään tuloilmakone, jossa ei ole kaupan kylmätehoa eikä lauhdelämpöä käytettävissä. Tällöin järjestelmä varustetaan ulkolauhduttimella.

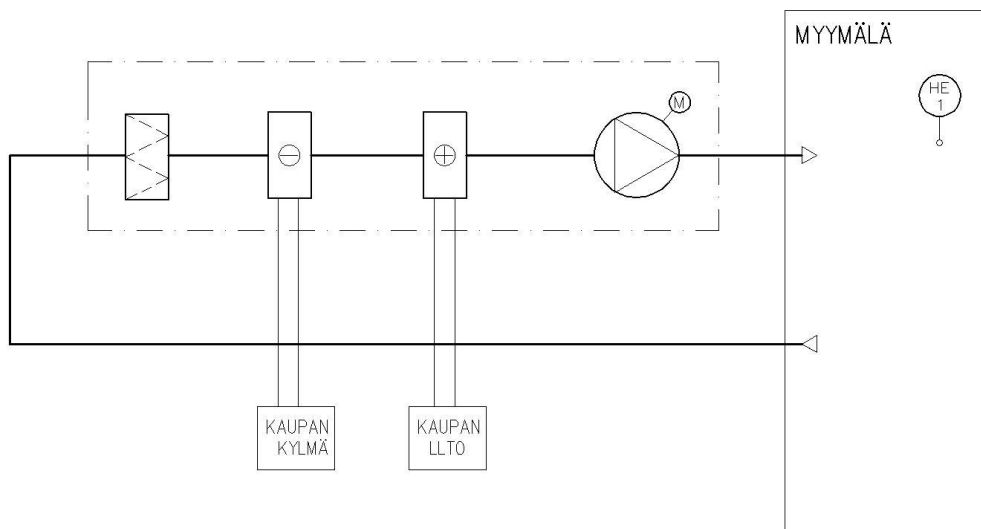


Kuva 17. Uusi tuloilmakone, jossa käytettävissä on kaupan kylmätehoa sekä lauhdelämpöä.

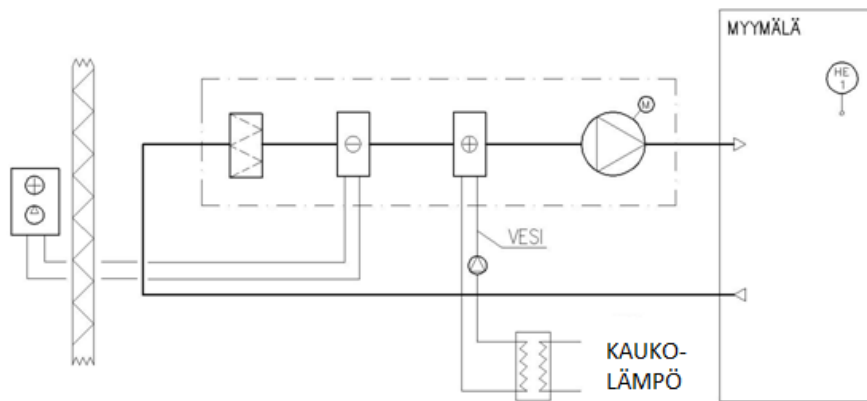


Kuva 18. Uusi tuloilmakone, mutta ei kaupan kylmätehoa eikä lauhdelämpöä käytettävissä.

Seuraava vaihtoehto on asentaa myymälään uusi kiertoilmakone, joka varustetaan sekä jäähdytyspatterilla että lauhdelämmön talteenottopatterilla. Kiertoilmakoneessa on myös kriittistä se, saadaanko kaupan kylmätehoa ja lauhdelämpöä käyttöön. Jos ei saada, ilma jäähdytetään ulkolauhduttimen avulla ja lämmitetään esimerkiksi kaukolämmön avulla vesikiertoisella patterilla. Kiertoilmakonevaihtoehdossa on otettava huomioon itse koneen sekä uuden kanavoinnin vaatima tilavaraus. Lisäksi putkityöt kylmäkompressoreilta tai ulkoyksiköltä on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Kuvassa 19 on esitetty kiertoilmakone, joka on liitetty kaupan kylmäjärjestelmään ja kuvassa 20 on kiertoilmakone, josta jäähdytysteho tulee ulkolauhduttimelta ja lämmitysteho kaukolämmöstä.

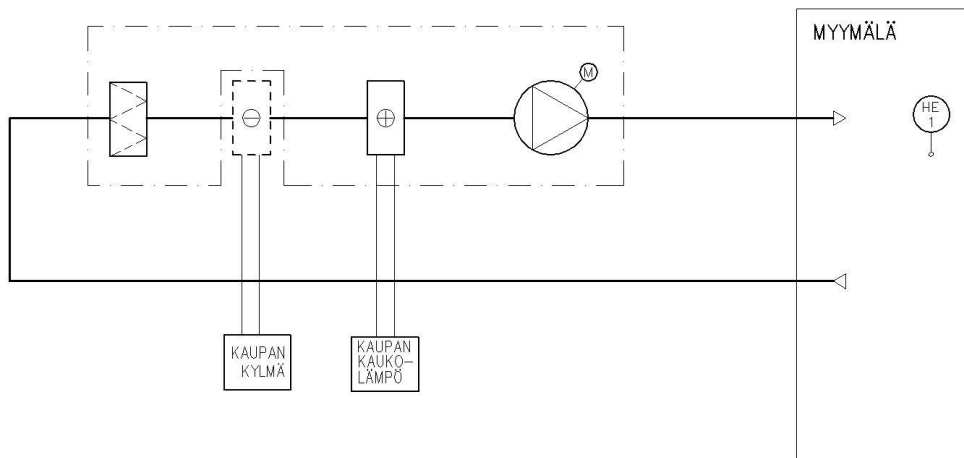


Kuva 19. Uusi kiertoilmakone, jossa käytettävissä on kaupan kylmätehoa ja lauhdelämpöä.

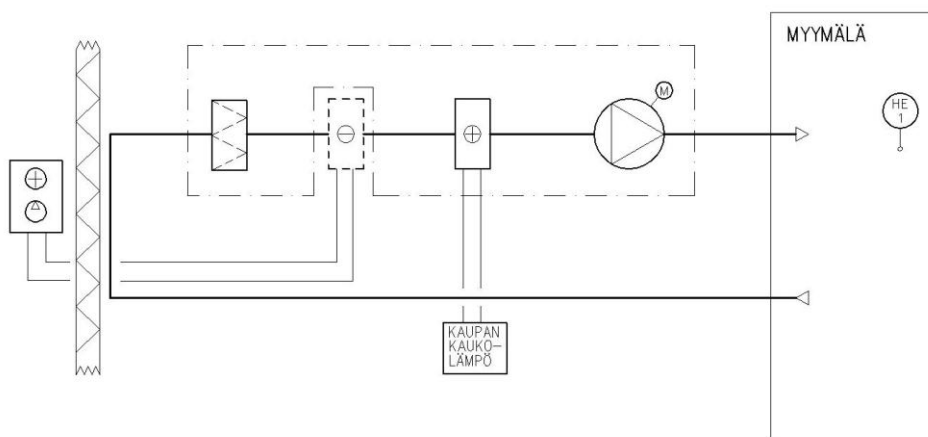


Kuva 20. Uusi kiertoilmakone, mutta ei kaupan kylmätehoa käytettävissä.

Jos kohteessa on jo olemassa oleva kiertoilmakone, voidaan siihen sijoittaa jäähdytyspatteri. Helpompi vaihtoehto on, jos koneessa on jo aikanaan tehty jäähdytyspatterivarausta, mutta myös ilman varausta jäähdytyspatterin lisäys voi olla mahdollinen. Olemassa olevissa kiertoilmakoneissa jäähdytyspatterin teho tulee joko kaupan kylmätehosta tai ulkolauhduttimesta. Tässä on huomioitava, onko ulkolauhduttimen sijoitus mahdollista. Kuvassa 21 ja 22 on esitetty jäähdytyspatterin sijoitus olemassa olevaan kiertoilmakoneeseen.



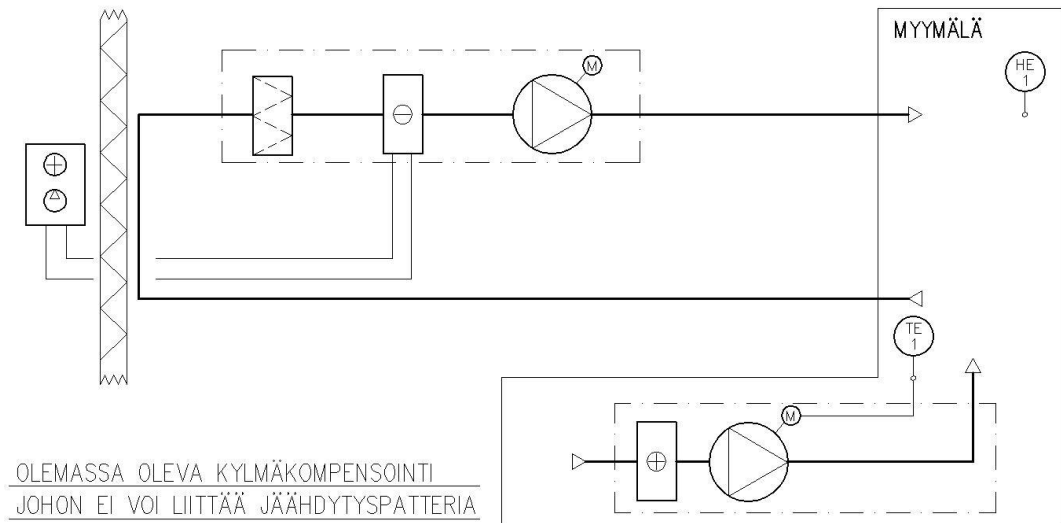
Kuva 21. Olemassa oleva kiertoilmakone, johon asennetaan jäähdytyspatterit. Käytettävissä on kaupan kylmätehoa.



Kuva 22. Olemassa oleva kiertoilme, johon asennetaan jäähdytyspatterit. Ei käytettävissä kaupan kylmätehoa ja lauhdelämpöä.

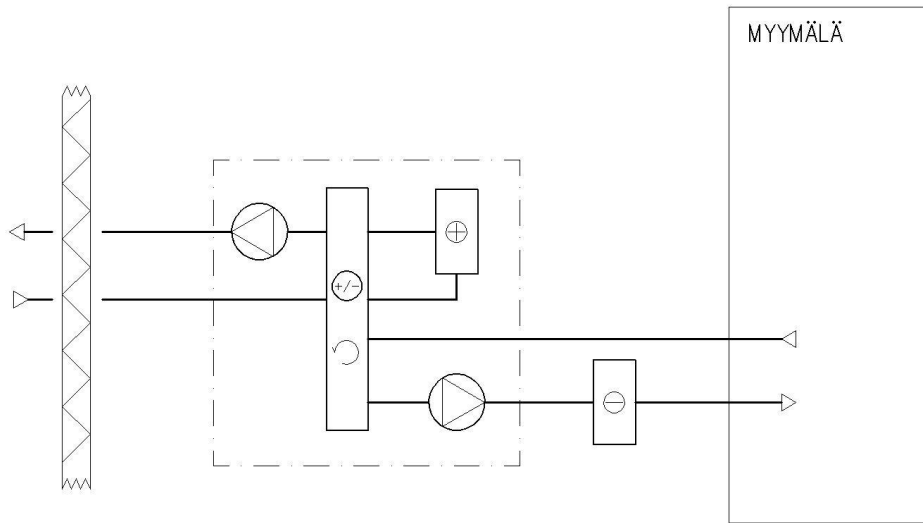
Kun myymälässä on olemassa oleva kiertoilmakone eikä siihen voida lisätä jäähdytyspatteria, vaihtoehtona olisivat myymälätilaan lisättävät jäähdytyspuhallinkonvektorit.

Nykyisen olemassa olevan kiertoilmakoneen tulee olla teholtaan sellainen, että sillä pystytään lämmittämään myymälätilaa jäähdytyspuhallinkonvektoreiden asennuksen jälkeen. Kuvassa 23 on esitetty jäähdytyspuhallinkonvektorin kytkentäperiaate.



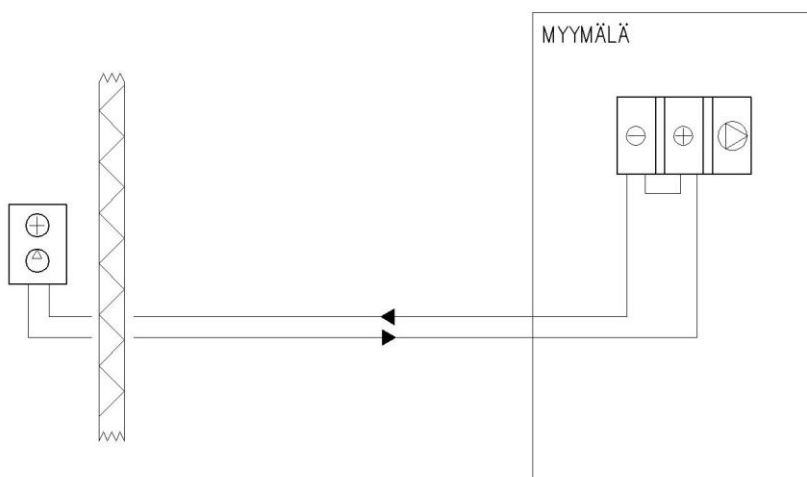
Kuva 23. Jäähdytyspuhallinkonvektori ja olemassa oleva puhallinkonvektori.

Kuivatukseen on myös sellaisia vaihtoehtoja, jotka eivät liity varsinaisesti myymälän ilmanvaihtoon. Tällaisia ovat esimerkiksi sorptiokuivaimen sijoitus myymälään tai johonkin sen takatilaan. Sorptiokuivain tarvitsee myös jonkin verran kanavointia, ulkoa sisään regenerointi-ilmalle, myymälän sisäistä kanavointia, jota kautta kuivattu ilma levitetään myymälään, sekä imuilmakanavoinnin itse laitteelle ja jäteilmakanavoinnin ulkoilmaan. Kuten aikaisemmin tässä työssä sorptiokuivauksen prosessin kuvauksessa todettiin, korkeaksi nousevan tuloilman lämpötilan takia kuivatustapa vaatii jälkijäähdytyspatterin. Sorptiokuivauksen kytkentäperiaate on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Sorptiokuivauksen periaatekuva.

Toinen vaihtoehto yksittäisenä laitteena kuivatukseen on ilmalämpöpumppu. Markkinoilla on tällä hetkellä yksi ilmalämpöpumppu, Daikin Ururu Sarara, jossa on sisäilman kuivatustoiminto. Lämpöpumpun sisäyksikössä on kaksi lamellia, joista toinen jäähdyttää ja kuivaa ja toinen lämmittää. Kuvassa 25 on esitetty ilmalämpöpumpun kytkentäperiaate.



Kuva 25. Ilmalämpöpumppu

Laitevalinnan määrittää päällimmäisenä myymäläkohtainen budjetti. Kun halutaan rakentaa toimivin kokonaisuus, asennetaan uusi tuloilmakone, jossa on kuivatustoiminto. Seuraava vaihtoehto on kiertoilmakone myymälään. Muut vaihtoehdot, kuten sorptiokuivatus ja ilmalämpöpumppu, ovat myymälän ilmanvaihdosta riippumattomia vaihtoehtoja. Myymälän kylmäjärjestelmän teho ja kytkentätapa myös määrittelee, tuleeko jäähdytyspatterin ja lämmityspatterin teho kaupan järjestelmistä vai muista lähteistä.

5.2 Kuivatustarpeen laskenta

Kuivatustarpeen laskenta alkaa siitä, kun määritellään alkutilanne ja tavoitetilanne. Tällöin saadaan selville lämpötilojen ja kosteuspitoisuuksien avulla alkutilanteen ja tavoitetilanteen välisen ilman vesisisältöero ja entalpiaero. Kuivatustarve koostuu pääosin kahdesta seuraavista tekijöistä, tuloilman mukana tulevasta kosteuskuormasta ja myymälässä olevien henkilöiden aiheuttamasta kosteuskuormasta.

Tuloilman sisältämä kosteus voidaan laskea yksinkertaisesti, kun tiedetään tuloilmavirta, ilman tiheys ja haluttu kosteusero tuloilman ja ulkoilman välillä. Tuloilman sisältämä kosteus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$q_{tuloilma} = \rho_i q_{vi} (x_{ulko} - x_{tulo})$$

$q_{tuloilma}$	tuloilman kosteuskuorma [g/s]
ρ_i	ilman tiheys [kg/m^3]
q_{vi}	ilman tilavuusvirta [m^3/s]
x_{ulko}	ulkoilman absoluuttinen kosteus [g/kg]
x_{tulo}	tuloilman absoluuttinen kosteus [g/kg]

Henkilökuorman sisältämä kosteus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$q_{henkilöt} = hlö_{kpl} hlö_{kuorma}$$

$q_{henkilöt}$	ihmisen aiheuttama kosteuskuorma [kg/h]
----------------	---

$hlö_{kpl}$	ihmismäärä [hlö]
$hlö_{kuorma}$	henkilön aiheuttama kosteuskuorma, keskimääräinen arvo 0,090[kg/h]

Myymälän kuivattava kokonaiskosteusmäärä saadaan, kun lasketaan yhteen kaikki kosteuskuormaa aiheuttavat tekijät. Otetaan huomioon vielä ovellisten kylmäkalusteiden arvioitu kuivatusteho. Kuten aikaisemmin mainittu tässä työssä, ovellisten kylmäkalusteiden kuivatusteho on noin 10–15 % kaupan kylmätehosta. Kylmäkalusteiden kylmävaikutus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\emptyset_{kylmäkaluste} = \emptyset_{myymälä} \%_{kylmä}$$

$\emptyset_{kylmäkaluste}$	kylmäkalusteiden kuivatusteho [kW]
$\emptyset_{myymälä}$	myymälän kylmäteho [kW]
$\%_{kylmä}$	10–15 % kylmätehosta, käytetään keskiarvoa 12,5 %

Kuivattavat kosteusmäärät lasketaan yhteen tuloilmasta ja henkilöistä ja täten saadaan kuivattava kokonaiskosteusmäärä. Kun tiedetään myymälän kokonaiskosteusmäärä, voidaan määrittellä yhdessä rakennuttajan tai tilaajan kanssa kosteusmäärällä tavoiteraja ja yläraja, joka jätetään huomioimatta mitoituksessa. Näiden asetettujen rajojen perusteella voidaan selvittää Mollier-diagrammin avulla entalpiaero, josta jäähdytyspatterin tehontarve saadaan kilowatteina. Kylmäkalusteiden kuivausteho voidaan suoraan vähentää kuivatuspatterin mitoitustehosta.

5.3 Muu kuivatukseen liittyvä LVI-suunnittelu

Kun kuivatusta suunnitellaan myymälään, on syytä ottaa erilaisia lvi-tekniisiä asioita huomioon, näitä ovat esimerkiksi:

- Kondensiovesiviemäri ja pisaranerotin

Kun tehdään konemitoitusta joko kiertoilmakoneeseen tai tuloilmakoneeseen ja kuivatuksen takia asennetaan jäähdytyspatteri, olisi otsapintanopeuden oltava selvästi alle 2,5 m/s, jotta vesi ei lähde ilman mukana. Tarvittaessa voidaan asentaa pisaranerotin. Jäähdytyspatteriin on myös syytä asentaa kunnollinen

kondenssivesiallas, jotta siihen voidaan asentaa vesilukko. Vesilukko voidaan asentaa niin puhaltimen imu- kuin painepuolelle, asennustavasta riippuen. [11]

- Kanavamuutokset ja nykyisten ilmanvaihtokanavien hyväksikäyttö uuden koneen kanssa

Jos kohteeseen tuodaan uusi kiertoilmakone, joudutaan kanavointia suunnittelemaan, jotta saadaan kuivatettava ilma takaisin myymälätilaan. Myymälässä voi joutua tekemään ilmanvaihtomuutoksia uuden kiertoilmakoneen takia, ja on aina tarkistettava, voiko nykyisiä kanavia hyödyntää kiertoilman kanavoinnissa. Lisäksi esimerkiksi kaupan muut ilmastointikanavat, katossa kulkevat vesijohdot, valaisimet, sähköjohtojen telineet on otettava huomioon kanavointia suunnitellessa.

- IV-koneiden pattereiden putkityöt ja liitännät kaupan kylmäjärjestelmiin

Ilmanvaihtokoneiden jäähdytys- ja lauhdepattereiden putkitöissä pitää ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa koneiden sijoitus, ja onko patterin putkitöille ja mahdollisesti tuleville huoltotöille tarpeeksi tilaa. Myös putkireittien suunnittelussa myymälän läpi tulee ottaa samat asiat huomioon kuin kanavoinnin suunnittelussa. Pattereiden liitännät kaupan kylmäjärjestelmiin määrittelee ja tekee tarkemmin kylmäainesuunnittelija tai -urakoitsija. Lauhdelämmityspatterin kytkennät ja asennuksen tekee putkiurakoitsija.

5.4 Malliesimerkki olemassa olevaan kohteeseen

Malliesimerkinä kuivatuksen lisäys olemassa olevaan kohteeseen toimii tässä työssä Helsingissä Mannerheimintie 76:n toimiva Alepa. Myymälä toimii liikerakennuksen kivi- ja jalassa. Kiinteistössä on useita ilmanvaihtokoneita, jotka palvelevat eri kiinteistön osia. Myymälällä ei ole omaa tuloilmakonetta. Ulkoilmavirta myymälään on yhteensä $0,75 \text{ m}^3/\text{s}$ ja myymälän pinta-ala noin 320 m^2 . Vapaata kylmätehoa kaupan järjestelmissä on kylmäsuunnittelijan mukaan 11 kilowattia. Lisäksi sovittiin tilaajan kanssa lähtötilanne ja tavoitetilanne kuivatukselle. Tässä projektissa käytettiin arvoja, jossa alkutilanne olisi $+25 \text{ °C}$ ja RH 60 %, jolloin absoluuttinen kosteus on 12 g/kg . Tavoitetilanne myymälään olisi $+22 \text{ °C}$ ja RH 50 %, jolloin absoluuttinen kosteus on 8 g/kg ja kastepiste on tällöin

+11 °C. Todettiin, että alkutilanteen yli korkeammat absoluuttisen kosteuden sisältävät tunnit kuivatuksessa jätetään huomioimatta, koska niitä ei saada katettua järkevin kustannuksin.

Kun alkutilanne ja tavoitetilanne olivat selvillä, voidaan niiden perusteella laskea entalpiaero hyväksikäyttäen Mollier-diagrammia. Entalpiaeron avulla saatiin selville kuivatukseen tarvittava teho. Tehontarve kuivattavalle nykyiselle ilmamäärälle on huomattavasti suurempi kuin kylmäjärjestelmistä käytettävissä oleva teho. Rakennuttajan kanssa päätettiin kuitenkin, että tehdään kuivatusjärjestelmä, joka hyödyntää kaiken saatavilla olevan kylmäenergian. Tässä tapauksessa alkutilannetta tasoitettiin siten, että lämmin ulkoilma jäähtyy kylmätappioiden takia, on myymälän sisäilma tämän jälkeen +23 °C, josta lähdetään kuivattamaan. Myymälän yhteisen tuloilmakoneen takia uusi tuloilmakone ei ollut vaihtoehto. Kun myymälän sijainnin takia ulkoyksikön sijoitus oli mahdotonta ja vapaata kylmätehoa sekä lauhdelämpöä oli tarjolla kylmäkoneistolta, päätettiin ensisijaiseksi vaihtoehdoksi uusi kiertoilmakone. Kiertoilmakoneen käyntiä ohjataan kaupan kylmä-valvonta-alakeskuksen kautta ja kuivatustoiminta toimii kastepisteanturin perusteella. Kone tulisi käyttämään hyväksi kaupan kylmätehoa ja lauhdelämpöä. Lauhdelämpöä suunniteltiin hyödynnettäväksi myös talviaikaan. Myymälä lämmitetään tällä hetkellä ikkunapenkkeihin sijoitetuilla radiaattoreilla. Kiertoilmakone lämmittäisi talviaikaan ilmaa lauhdelämmöllä ja olisi auttava lämmitysmuoto myymälälle. Tätä varten lauhdelämmön siirtoverkostoon rakennetaan kaksi lämmönsiirrintä ja kompressoria, josta toinen laitepari toimii kuivatuslämmityksen aikaan ja toinen vain talvilämmityksen aikaan. Lauhdelämmön talteenotosta tehty toimintakaavio löytyy liitteestä 2.

Luonnossuunnittelun jälkeen oli syytä käydä tekemässä kartoituskäynti paikan päällä, jolloin nähtiin, mihin tuleva kiertoilmakone olisi syytä sijoittaa, miten ja mistä putkivedot pattereille onnistuisi, millä tavoin kanavointi kiertoilmakoneelta myymälään tulisi toteuttaa. Kartoituskäynnillä selvisi kaikki selvittävät asiat hyvin pitkälle. Koska kiertoilmakone jäisi myymälätilaan, olisi syytä ottaa huomioon myös koneen äänitasot. Koneelle oli kuitenkin hyvin tilaa myymälän vastaanottotilassa, joten äänieristys jätettiin tässä tapauksessa ilmanvaihtourakoitsijan ratkaistavaksi. Kanavoinnin suunnittelussa ei ollut vaikeuksia viedä kuivattua ilmaa erityisesti kylmähyllysten luokse, jossa se puhalletaan alueelle säleikköjen kautta.

Kun kartoituskäynti oli tehty ja saatiin varmuus siitä, että kuivatusta lähetään toteuttamaan kiertoilmakoneen avulla, oli syytä tehdä konemitoitus valmistajan mitoitusohjelmalla. Tässä tapauksessa käytettiin Recairin konetta. Konemitoituksen jälkeen pidettiin vielä työmaapalaveri, jossa jaettiin urakoitsijoille tehtäväluettelo. Tämän jälkeen kone on tilattu, ja tätä työtä tehdessä projektissa ei päästä eteenpäin, koska toimitusaika kiertoilmakoneelle on noin seitsemän viikkoa.

5.5 Malliesimerkki uudiskohteeseen

Uudiskohteen malliesimerkkinä voidaan käyttää Espoon Tuomarilaan tulevaa Alepaa, johon alusta asti otetaan huomioon kuivatuksen vaatimat laitevaraukset ja mitoitukset ilmanvaihtosuunnittelussa. Rakennukseen tulee kaksi tuloilmakonetta, joista toinen palvelee myymälätilaa, ja toinen sosiaali- ja takatiloja. Myymäläalueen pinta-ala on noin 440 m^2 , jolloin tuloilmavirta on rakentamismääräyskokoelman osan D2 vähimmäisvaatimusten mukaan $0,88 \text{ m}^3/\text{s}$. Myymälää palvelevaa ilmanvaihtokonetta ohjataan hiilidioksidipitoisuuden perusteella. Myymälän tuloilmakoneeseen lisätään kiertoilma- ja kuivatustoiminto.. Mitoituspoistoilmavirta on $0,68 \text{ m}^3/\text{s}$, joten myymälä jätetään hieman ylipaineiseksi. Kuten edellä on mainittu tässä työssä, ylipaineistus auttaa pitämään kostean ulkoilman ulkopuolella.

Myymälätilan tulokoneeseen tulee pyörivä lämmön talteenottokiekko, kaukolämpöpatteri, jäähdytyspatteri ja lauhdelämmön talteenottopatteri. Jäähdytyspatteri mitoitetaan kuivatustoimintoa varten ja kuivattu kylmä ilma lämmitetään ainoastaan lauhdelämmön talteenottopatterilla. Kuivatustoimintaa varten tuodaan järjestelmään erillinen jäähdytyskompressori. Kohteeseen tehdään kuivatyslaskelmat aikaisemmin esitetyn taulukon mukaan. Kuten olemassa olevassa malliprojektissa, myös tässä kohteessa käytetään samoja kuivatuksen raja-arvoja ja lämpötiloja. Koska kuivatus lisätään jo suunnitteluvaiheessa, voidaan ottaa huomioon ilmanvaihtokoneen lisätilantarve ja julkisivuun liitettävän ulkolauhduttimen sijoitus. Lisäksi rakennusautomaatio voidaan rakentaa alusta saakka siten, että kaikki kaupan järjestelmät ovat DDC-pohjaisen ohjauksen takana.

6 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä käsiteltiin ovellisten kylmäkalusteiden takia aiheutuvia kondenssiongelmia ja ongelman eri ratkaisumalleja. Mahdollisten kiristyvien energiankäytön vaatimusten ja energian hinnan nousun takia ovelliset kylmäkalusteet elintarvikemyymälöissä tulevat todennäköisesti tulevaisuudessa lisääntymään.

Kuivatuksen suunnittelussa olemassa olevaan myymälään on otettava huomioon rakennuksen nykyinen ilmanvaihto, nykyinen kylmäjärjestelmä ja nykyinen rakennusautomaatio. Tärkeää on myös määritellä rakennuttajan kanssa kuivatusrajat, joiden halutaan toteutuvan. Kuivatusrajat ovat suoraan verrannollinen laitteiden investointikustannuksiin, joten erittäin tärkeää on määritellä rakennuttajan kanssa kuivatusrajat, joiden halutaan toteutuvan. Lisäksi olemassa olevan myymälän tilanpuute, tuleva saneeraustarve ja ilmanvaihdon järjestelmien muutokset on otettava huomioon.

Uutta myymälää suunniteltaessa voidaan kuivatus ottaa paljon paremmin huomioon ilmanvaihdon suunnitteluvaiheessa. Kun jo alun perin suunnitellaan kuivatustoiminto ilmanvaihtoon, voidaan kaupan kylmäjärjestelmät ja automaatio yhdistää yhdeksi kokonaisuudeksi. Lisäksi vaihtoehdot erilaisten järjestelmien suunnitteluun ja toteuttamiseen ovat paljon suuremmat kuin olemassa olevaan myymälään.

Kuivatuksen ratkaisuvaihdot ovat täysin myymälän ilmastointijärjestelmistä riippuvaisia. Lisäksi rakennuttajan määrittelemät raja-arvot kuivatukselle ja investointikustannukset vaikuttavat kuivatuksen toteutukseen.

Tätä työtä voidaan hyödyntää, kun suunnitellaan elintarvikekauppoihin kuivatusta. Työtä voisi jatkaa esimerkiksi tekemällä tutkimusta tehtyihin projekteihin ja seuraamalla niistä, millä tavoin kuivatus oikeasti toteutuu. Tällöin saataisiin arvokasta käytännön kokemusta erilaisten vaihtoehtojen toimivuudesta.

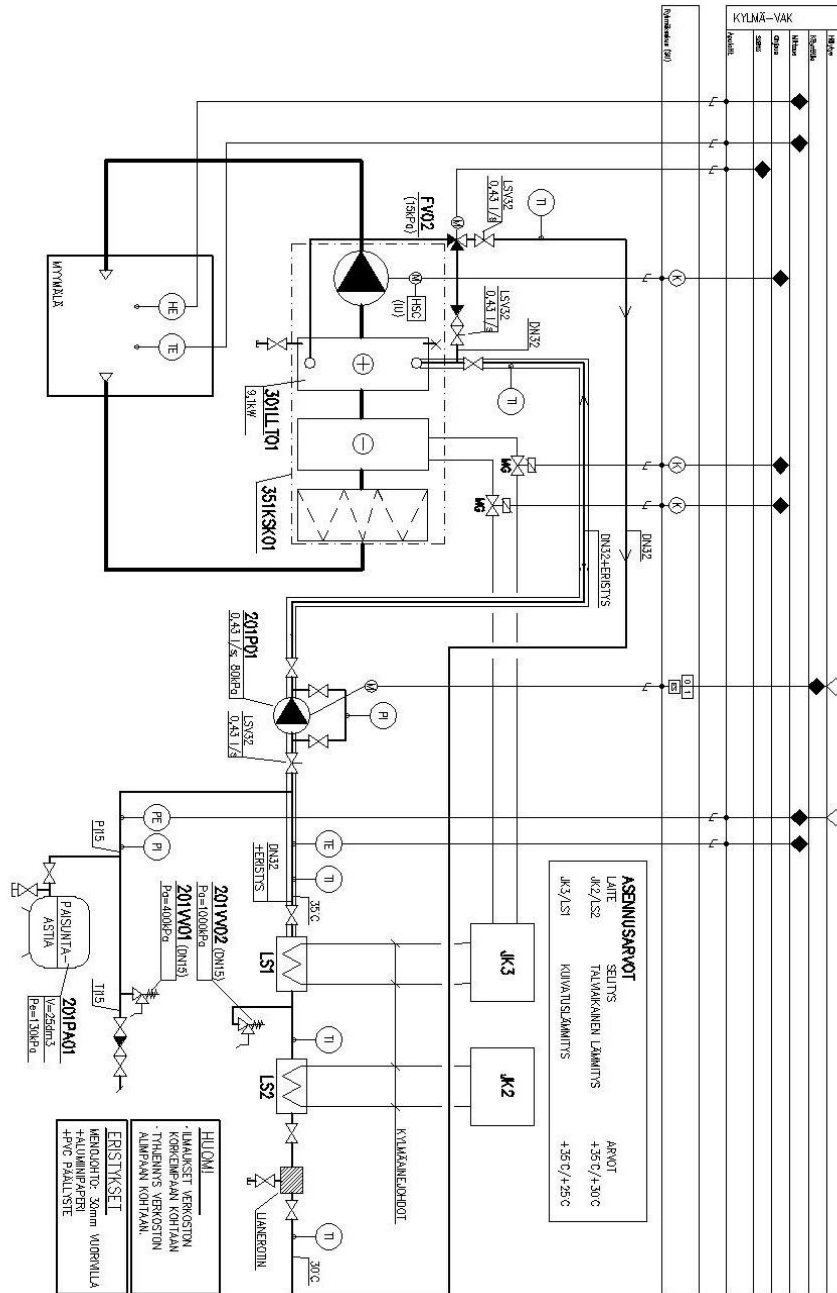
Lähteet

- 1 Energiatehokkuusdirektiivi 2012/27/EU. 2012. Verkkodokumentti. Motiva Oy.<<http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/energiatehokkuusdirektiivi>>, luettu 10.2.2015.
- 2 Kylmää tehokkaasti päivittäistavarakaupalle. 2014. Verkkodokumentti. Motiva Oy.<http://www.motiva.fi/files/2889/Kylmaa_tehokkaasti_paivittaistavarakaupalle.pdf>, luettu 10.2.2015.
- 3 Energiaviisasta kaupankäyntiä. 2014. Verkkodokumentti. Energiatehokkuussopimukset.<http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/fi/toimintaa_ja_tuloksia/esimerkllista_toimintaa/kaupan_ala-hok-elanto/>, luettu 10.2.2015.
- 4 Palvelualan toimenpideohjelmat. 2014. Verkkodokumentti. Energiatehokkuussopimukset.<http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/fi/sopimusalat/palveluala/palvelualan_toimenpideohjelmat/>, luettu 11.2.2015.
- 5 Valtonen, Kimmo. 2015. HOK-Elanto energiakäytön päällikkö. Sähköpostiviestintä 18.3.2015.
- 6 Kaupan kylmälaitteiden ja järjestelmien lauhdelämmön talteenotto, laskentaohje 04/2012. Verkkodokumentti. Motiva Oy.<http://www.motiva.fi/files/7973/Kaupan_kylmalaitteiden_ja_jarjestelmien_lauhdelammon_talteenotto_Laskentaohje.pdf>, luettu 20.2.2015.
- 7 Keitaanranta, Mikko. 2014. HOK-Elannon huoltopäällikkö. Ilmankosteuden hallinta HOK:n myymälöissä. Powerpoint-esitys. Nähty 22.10.2014.
- 8 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 9 Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. 2014. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 10 Kryotherm- esite DST-ilmankuivaajasta.<http://www.kryotherm.fi/DST-pdf/R-51_61R%20FI.pdf>, luettu 22.2.2015.
- 11 Suomen Kylmäyhdistys Ry, Koulutuspäiväjulkaisu 2/2014.
- 12 Weather Underground, Helsinki-Vantaan sääasema EFHK. 2012. <<http://www.wunderground.com/q/locid:HEL>>

- 13 RIL 107–2000, Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.
- 14 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräys-kokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö
- 15 Aittomäki, Antero. 2012. Kylmäteknikka. 3.painos. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys Ry.
- 16 Suuronen, Henry. 2012. Lauhdelämmön hyödyntäminen kaupan kylmäkoneis-tosta. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- 17 Espo, Pasi. 2014. Pienen myymälän hiilidioksidikylmän lämmöntalteenotto. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- 18 Seppänen, Olli. 2012. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy
- 19 Aalto, Esa. 2008. Yleistä kylmäaineista ja niiden rajoituksista. Verkkodokumentti. Suomen Kylmäliikkeiden Liitto r.y.<<http://www.skll.fi/www/att.php?id=45>>, luettu 9.4.2015
- 20 Mollier-diagrammi. 2015. Verkkodokumentti. The Engineered ToolBox <http://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d_27.html>

Toimintakaavio kiertoilmakoneesta ja lauhdelämmön talteenottoverkostosta.

Alla oleva toimintakaavio esittää Alepa Kisahallin lauhdelämmön talteenoton kytkentää uuteen kiertoilmakoneeseen.



Laskentataulukko kuivatukseen

Alla oleva taulukko on tehty helpottamaan kuivatuksen kosteusmäärän laske-
mista. Taulukkoon määritellään alku- ja tavoitetilanteen lämpötilat ja suhteelliset
kosteudet, jolloin saadaan entalpiaero sekä ilman vesisisällön kosteusero. Seu-
raavaksi määritellään henkilökuorma myymälään, jolloin taulukko laskee henki-
löistä poistettavan kosteuskuorman. Viimeiseksi määritellään tuloilman määrä,
jolloin taulukko laskee sen sisältämän kosteuden. Keltaisella pohjalla olevat ar-
vot laitetaan itse taulukkoon, muuten taulukko laskee itse arvot tässä työssä
edellä mainittujen kaavojen avulla. Taulukkoa voisi vielä parannella lisäämällä
esimerkiksi kylmäkalusteiden kuivattavan vaikutuksen kokonaisuuteen.

ALEPA ESIMERKKI	
ALKUTILANNE	
Mitoitus ulkolämpötila (kylmätappioiden jälkeen)	25 °C
Mitoitus ulkokosteuspitoisuus	60 %
Mitoitus ulko vesisisältö	12 g/kg
Mitoitus ulko entalpia	55 kJ/kg
TAVOITE	
Tavoite sisälämpötila	22 °C
Tavoite sisäkosteuspitoisuus	50 %
Tavoite sisä vesisisältö	8 g/kg
Tavoite sisä entalpia	42 kJ/kg
JOLLOIN:	
Δh (vesisisältöero)	4 g/kg
Δ Entalpia (ulko - sisä)	13 kJ/kg
Ilman ominaispaino	1,2 kg/m ³
Henkilökuorma	
Henkilökuorma	30 hlö
Henkilökuorma 0,090 kg/h	0,09 kg/h, hlö
Henkilömäärä	2,7 kg/h
Henkilökuorman poistettava vesisisältö	0,75 g/s
Tuloilma	
Suunniteltu asiakastilan tuloilmamäärä	1 m ³ /s
Suunniteltu asiakastilan tuloilmapaino	1,1963 kg
Asiakastilan tuloilmasta poistettava vesisisältö	4,7852 g/s
Asiakastilan tuloilmasta poistettava vesisisältö	17,2267 kg/h
Kuivattava kokonaiskosteusmäärä	5,54 g/s
Kuivattava kokonaiskosteusmäärä	19,93 kg/h
mikäli $\Delta h=4$ g/s, niin tarvittava massavirta on:	1,384 kg/s
tarvittava massavirta muunneltu ilmamääräksi on:	1,157 m ³ /s