



Katariina Mertanen

Kuivausjäähdytysjärjestelmän mitoitus ja kustannustehokkuus elintarvikemyymäläkohteessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Rakennustekniikka ja yhdyskuntatekniikka

Insinöörityö

5.3.2025

Tiivistelmä

Tekijä:	Katariina Mertanen
Otsikko:	Kuivausjäähdytysjärjestelmän mitoitus ja kustannustehokkuus elintarvikemyymälöissä
Sivumäärä:	58 sivua + 3 liitettä
Aika:	5.3.2025
Tutkinto:	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-suunnittelu
Ohjaajat:	Aluejohtaja Anssi Pesonen Yliopettaja Rauno Holopainen

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää taloudellisesti kannattavin elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmän kokonaisuus. Tutkimuksessa huomioitiin järjestelmäteknisen ratkaisun lisäksi investointi- ja elinkaarikustannukset. Elintarvikemyymälän laskentatapaukset simuloitiin IDA-ICE -ohjelmistolla eri verkostolämpötiloilla (5/10 °C, 2/12 °C ja 7/17 °C). Simuloinneissa käytettiin Ilmatieteen laitoksen tuottamaa tulevaisuuden ilmaston testivuotta 2030 säävyöhykkeelle 1. Tapaus- ja talousanalyysin lisäksi opinnäytetyössä toteutettiin myös asiantuntijahaastattelu, jossa pyrittiin saamaan vastauksia neljän pääteeman kysymyksiin.

Tapausanalyysin tarkoituksena oli tutkia kuivausjäähdytysjärjestelmien toimivuutta elintarvikemyymälässä. Taloudellisessa analyysissä investointikustannusten osalta hyödynnettiin yksikköhintaluetteloita, laitetoimittajalta saatuja teknisiä tietoja ja elintarvikemyymälän tietomallista saatua mitoitusdataa. Elinkaarikustannuksia laskettaessa käytettiin Granlund Managerin PTS-tyyppitoimenpiteiden tietoja. Näiden laskelmien perusteella analysoitiin, mikä kuivausjäähdytysjärjestelmäkokonaisuus on taloudellisesti kannattavin valinta. Haastattelu tehtiin kahden eri organisaation tilaajan edustajille, jotka haastateltiin erikseen. Haastatteluissa esitettiin samat kysymykset.

Taloudellisen analyysin perusteella suuria kustannuseroja laskentatapauksen väliltä ei löytynyt. Kustannuksiltaan edullisin vaihtoehto oli verkostolämpötiloilla 2/12 °C mitoitettu järjestelmäkokonaisuus, kun taas kallein vaihtoehto oli verkostolämpötiloilla 5/10°C mitoitettu järjestelmäkokonaisuus.

Haastattelun perusteella todettiin, että tulevaisuudessa etenkin suurien elintarvikemyymälöiden kuivausjäähdytysjärjestelmien merkitys korostuu. Tämä johtuu ulkoilman kosteuspuiteisuuden kasvamisesta. Asiantuntijat korostivat järjestelmäkokonaisuuden, huolellisen suunnittelun ja rakennusautomaation merkitystä elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmän tarkoituksenmukaisessa toiminnassa.

Avainsanat: kuivausjäähdytys, sisäilman olosuhteet, elintarvikemyymälä, ilman kosteus

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Katariina Mertanen
Title: Design Optimization and Cost Efficiency of Dehumidification Cooling Systems in Grocery Stores

Number of Pages: 58 pages + 3 appendices
Date: 5 March 2025

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Supervisors: Anssi Pesonen, Area Manager
Rauno Holopainen, Principal Lecturer

The aim of the thesis was to study dehumidification cooling systems in a grocery store and identify the most cost-effective option among three simulation cases, considering both investment and life cycle costs. Additionally, expert interviews were conducted to address key thematic questions.

The cases simulated three scenarios using the Finnish Meteorological Institute's test resilience year 2030 and network temperatures of 5/10 °C, 2/12 °C, and 7/17 °C. Investment costs were calculated based on a unit price list, supplier data, and information from the grocery store model. Life cycle costs were analysed using data from LTP-type maintenance framework of Granlund Manager. Expert interviews with predefined questions were conducted separately with representatives from two client organizations.

The analysis established that network temperatures of 2/12 °C were the most cost-effective, while 5/10 °C was the most expensive, although cost differences between the cases were minimal. Experts highlighted the importance of dehumidification cooling systems, particularly in large grocery stores, emphasizing the role of proper design and building automation for system efficiency.

The results suggest that using 2/12 °C network temperatures in system design should be prioritized when possible. Experts also stressed the need for greater knowledge about the systems and meticulous designing by engineers.

Keywords: dehumidification cooling system, indoor air conditions, food store, air humidity.

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset	2
1.3	Tutkimuksen rajaus	3
1.4	Tutkimusmenetelmät	3
2	Sisäilmastovaatimukset elintarvikemyymälöissä	4
2.1	Sisäilmasto elintarvikemyymälöissä	4
2.2	Kosteuden merkitys sisäilmassa	6
2.3	Säätiedot	7
3	Kuivausjäähdytysjärjestelmäratkaisut elintarvikemyymälöissä	8
3.1	Vedenjäähdytyskone	9
3.1.1	Ilmalauhdutteinen vedenjäähdytyskone	11
3.1.2	Liuoslauhdutteinen vedenjäähdytyskone	12
3.1.3	Nestejäähdytin	13
3.1.4	Höyrystin	14
3.1.5	Kompressori	14
3.1.6	Lauhdutin	15
3.1.7	Paisuntalaite	15
3.1.8	Kylmäaine	16
3.2	Regeneratiivisella lämmöntalteenottosiirtimellä varustettu ilmanvaihtokone	18
3.3	Kosteudenpoisto regeneratiivisella lämmöntalteenottosiirtimellä varustetulla ilmanvaihtokoneella	18
3.4	Sorptiokuivaus	20
3.5	Tuloilmakoneen jäähdytyspatteri	21
3.6	Tuloilmakoneen lämmityspatteri	25
3.7	Ilmanvaihtokoneen puhallin	26
3.8	Ilmanvaihtokanavisto	26
3.9	IV-lämmitys ja -jäähdytysverkoston putkisto	28
3.10	RAU-ohjausjärjestelmä	29
4	Investointi- ja elinkaarikustannukset	32

5	Tutkimuskohde	33
5.1	Suuri elintarvikemyymälä	35
5.1.1	Tapaus 1: Suunnitteluohjeenmukainen ratkaisu	35
5.1.2	Tapaus 2: Toteutettu ratkaisu	39
5.1.3	Tapaus 3: Käyttötarkoitukseen soveltuva ratkaisu	42
6	Taloudellinen analyysi: mitoitusratkaisujen vaikutukset investointi- ja elinkaarikustannuksiin	45
6.1	Investointikustannukset	45
6.2	Elinkaarikustannukset	47
7	Asiantuntijoiden haastattelu	49
7.1	Projektit ja kohteet, joiden parissa asiantuntijat ovat työskennelleet	49
7.2	Kuivausjäähdytysjärjestelmien tärkeimmät komponentit	51
7.3	Kuivausjäähdytysjärjestelmien haasteet	52
7.4	Kuivausjäähdytysjärjestelmään liittyvät uudet teknologiat ja ohjeistukset	53
7.5	Kylmäkalusteet	54
7.6	Haastattelun yhteenveto	55
8	Yhteenveto	55
	Lähteet	57
	Liitteet	
	Liite 1: Haastattelukysymykset	
	Liite 2: Yksikköhintaluettelo	
	Liite 3: Suuren elintarvikemyymälän elinkaarikustannuslaskelma	

1 Johdanto

1.1 Tausta

Tämän opinnäytetyön tilaaja on Granlund Oy, joka on talotekniikan suunnittelu-
toimisto. Talotekniikan suunnittelun lisäksi Granlundilta löytyy osaamista myös
muiden tekniikan alojen suunnittelusta, rakennuttamisesta ja konsultoinnin teh-
tävistä. Suunnitteluprojekteja toteutetaan niin uudis- kuin korjausrakentamisen
puolella eri koko luokan asiakkaille.

Granlundilla ja muissa suunnittelutoimistoissa on huomattu, että suurissa elin-
tarvikemyymälöissä on entistä enemmän tarvetta rajoittaa sisäilman kosteuden
määrää. Kosteuden määrää rajoitetaan asentamalla elintarvikemyymälöihin laa-
joja kuivausjäähdytysjärjestelmiä ilmanvaihdon kuivatusta varten. Tämä johtuu
ulkoilman lisääntyneestä suhteellisesta kosteudesta aiempiin vuosiin verrattuna.
Sisäilman kuivauksen tarvetta on lisännyt myös elintarvikemyymälöiden siirtymi-
nen avonaisista kylmäkalusteista ovellisiin kylmäkalusteisiin. Ovellisten kylmä-
kalusteiden myötä kuivaamattoman sisäilman ollessa kosketuksissa kalusteen
kylmään pintaan tiivistyy kalusteen pinnalle vettä. Kuivausjäähdytysjärjestelmän
merkitys näkyy jokaiselle elintarvikemyymälän asiakkaalle ennen kaikkea siinä,
ettei kylmäkaappien ovi- ja seinäpintoihin muodostu kosteutta.

Peruskorjaushankkeissa on havaittu vanhojen kuivausjäähdytysjärjestelmäko-
konaisuuksien kuluttavan paljon energiaa, ja niiden toiminnassa on esiintynyt
ongelmia. Nykyisin kuivausjäähdytysjärjestelmien suunnittelussa keskitytään
energiatehokkuuteen, huollettavuuteen ja järjestelmän tarkoituksenmukaiseen
toimintaan. Näiden tekijöiden huomiointi mahdollistaa investointi- ja elinkaari-
kustannuksiltaan järkevän järjestelmäratkaisun.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää edullisin elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmäkokonaisuus, kun laskelmissa otetaan huomioon järjestelmätekniikan ratkaisun lisäksi investointi- ja elinkaarikustannukset. Opinnäytetyössä tapausanalyysi toteutetaan simuloimalla elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmää IDA-ICE -ohjelmistolla eri verkostolämpötiloilla. Eri verkostolämpötilapareina käytetään 5/10 °C, 2/12 °C ja 7/17 °C. Kuivausjäähdytysjärjestelmän mitoituksessa tarkastellaan ainoastaan regeneratiivisella lämmöntalteenottosiirtimellä varustettuja ilmanvaihtokoneita. Tässä opinnäytetyössä ilmanvaihtokoneella tarkoitetaan elintarvikemyymälän tuloilman kuivaukseen käytettävää ilmanvaihtokonetta. Vaihtoehtoisesti opinnäytetyössä olisi voitu käyttää myös termiä ilmastointikone, mutta suunnittelutoimistossa ilmanvaihdon kuivauksesta keskusteltaessa on totuttu käyttämään vakiintunutta termiä ilmanvaihtokone. Sääolosuhteina käytetään Ilmatieteen laitoksen tuottamaa tulevaisuuden ilmastoa vastaavaa Helsingin testivuotta TRY 2030 ja tämän alueen mittaavaa ulkolämpötilaa.

Investointikustannusten talousanalyysi toteutetaan hyödyntämällä käytössä olevia yksikköhintaluetteloita, laitetoimittajan tekemiä laitemitoituksia ja hinta-arvioita sekä elintarvikemyymälän energiankulutusta. Elinkaarikustannuksien laskennassa hyödynnetään Granlund Managerista saatuja PTS-tyyppitoimenpiteiden kunnossapitajaksoja ja niiden kustannusarvioita. Näiden edellä mainittujen asioiden ja laskelmien perusteella analysoidaan, mikä kuivausjäähdytysjärjestelmäkokonaisuus tulee taloudellisesti kannattavammaksi hankinnaksi.

Opinnäytetyön osana tehdään myös asiantuntijahaastattelu. Haastattelulla pyritään selvittämään neljään pääteemaan liittyviä asioita. Pääteemoina olivat projektit ja kohteet, tärkeimmät kuivausjäähdytysjärjestelmän tekijät, kuivausjäähdytysjärjestelmien parissa kohdatut haasteet, ja asiantuntijoiden mielipide nykyisestä kuivausjäähdytysjärjestelmiin liittyvästä ohjeistuksesta. Asiantuntijahaastattelun kysymykset löytyvät liitteestä 1 ja haastattelun tulokset on esitetty omassa luvussaan.

1.3 Tutkimuksen rajaus

Tutkimus on rajattu koskemaan ainoastaan elintarvikemyymälöitä. Tässä opin- näytetyössä on keskitytty siihen, miten LVI-suunnittelija voi vaikuttaa elintarvike- myymälöiden kuivausjäähdytysjärjestelmän mitoitukseen sekä investointi- ja elinkaarikustannuksiin. Edellä mainittujen asioiden avulla suunnittelijan on mah- dollista vaikuttaa elintarvikemyymälän nykyhetkeen sekä tulevaisuuteen. Suun- nittelun ja toteutuksen onnistumisen mittarina voidaan käyttää rahallisia kustan- nuksia sekä teknisen toteutuksen onnistuneisuutta.

Kuivausjäähdytysjärjestelmät ovat oma kokonaisuutensa, joten suunnittelijoilla ei välttämättä ole niin paljon tietotaitoa kyseisen järjestelmän suunnittelusta. Opinnäytetyön tavoitteena onkin kartoittaa toteutuskelpoisia ratkaisuja järjestel- mien suhteen ja samalla lisätä tietoutta järjestelmä- sekä kustannusvaikutuk- sista.

1.4 Tutkimusmenetelmät

Elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmän mitoitus tutkimus tehdään IDA ICE -ohjelmistolla simuloimalla erilaisia kuivausjäähdytyksen järjestelmäko- konaisuuksia. IDA ICE -ohjelmistossa on saatavilla erilaisia Ilmatieteen laitok- sen tuottamia tulevaisuuden ilmastoa vastaavia testivuosia, joista käytettäväksi valitaan säävyöhykkeen I tulevaisuuden testivuosi (TRY 2030). [1.]

Simuloitavia laskentatapauksia ovat erään kaupanalan organisaation suunnitte- luohjeen mukainen, toteutettu ja käyttötarkoitukseen soveltuva kuivausjäähdy- tysjärjestelmän ratkaisu. Käyttötarkoitukseen soveltuvalla tapauksella tarkoite- taan sitä, että järjestelmäkokonaisuus on mahdollinen toteuttaa kohteeseen, ja sitä voi harkita yhtenä vaihtoehtona suunnitteluvaihtoehtoja kartoitettaessa. Edellä mainituista simuloinneista saadaan mitoitus tietoja, kuten energiankulu- tus-, lämmitys- ja jäähdytystehontarve. Investointikustannuksia varten laiteto- mittajalta saadaan jäähdytys- ja lämmityspattereiden mitoitusajot ja mitoitetujen pattereiden kustannukset. Simuloitavan elintarvikemyymälän

kuivausjäähdytysjärjestelmän putkiston ja myymäläalueen ilmanvaihtokanaviston osuus kustannuksista lasketaan Revit 2023 -suunnitteluohjelmalla suunniteltujen putki- ja kanavakokojen perusteella. Elinkaarikustannuksiin liittyvät tiedot saadaan Granlund Managerin PTS-tyyppitoimenpiteistä. [2.]

Investointi- ja elinkaarikustannuslaskennassa hyödynnetään Excel -ohjelmistoa. Laskentatapausten ja kustannuslaskennan jälkeen tuloksia analysoidaan jokaisesta simulointitapauksesta, ja niiden avulla voidaan päätellä mikä mitoitus- ja vaihtotapa on taloudellisesti edullisin vaihtoehto. Elinkaarikustannuslaskelma on esitetty liitteessä 3.

Simulointien ja kustannuslaskennan lisäksi osana opinnäytetyötä toteutetaan haastattelututkimus eri julkisen sektorin toimijoiden asiantuntijoille liittyen heidän kokemuksiinsa kuivausjäähdytysjärjestelmistä. Haastattelu on toteutettu kahdessa eri osassa, koska haastatteluihin on osallistunut eri organisaatioiden edustajia. Molemmissa haastatteluissa esitettiin samat kysymykset, ja haastattelukysymykset ovat liitteessä 1.

2 Sisäilmastovaatimukset elintarvikemyymälöissä

2.1 Sisäilmasto elintarvikemyymälöissä

Mitoittaessa elintarvikemyymälän ilmanvaihtoa tulee suunnittelijan huomioida myymälän koko, asiakasmäärä ja myynnissä olevien tuotteiden mahdolliset epäpuhtaus- ja hajukuormat. Ulkoilmavirtaa voidaan mitoittaa henkilö- tai neliöperusteisesti ja mitoituksen apuna voi käyttää alla olevia kuvien 1 ja 2 taulukoita. Ilmavirran riittävyyden lisäksi mitoituksessa tulee myös ottaa huomioon tuloilman sisäänpuhalluslämpötila ja ilman liikenopeus. Liian suuri ilman nopeus kanavistossa aiheuttaa äänihaittaa, ja alilämpöisen suuri heittoisuus taas saa aikaan vedon tunnetta. [3, s. 15.]

Elintarvikemyymälän ulkoilmavirta on sisäilmastoluokasta ja käyttötarkoituksesta riippuen 6–10 l/s henkilöä kohden tai 1–3 l/s neliötä kohden, eli myymälän

kokonaisulkoilmavirta on suuri (kuvat 1 ja 2). Myymälätilan lisäksi elintarvike-myymälöissä sijaitsee myös muita tiloja kuten toimistoja ja varastoja (kuva 2). [4, s. 16.]

Tila	Lattia-ala m ² /hlö	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka	
		dm ³ /s, hlö	dm ³ /s, m ²	dm ³ /s, hlö	dm ³ /s, m ²	dm ³ /s, hlö	dm ³ /s, m ²
Toimitila, normaali tilatehokkuus	10-12	16	1,5	11	1,0	6	1,0
Toimitila, suuri tilatehokkuus	6-8	14	2,0	9	1,5	6	1,5
Neuvotteluhuone	3	12	4,0	8	3,5	6	3,0
Taukotila, kahvio	1,5	11	5,0	8	4,0	6	2,0
Hotellihuone		10		8		6	
Opetustila tai muu oleskelutila	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Luentosali		10		8		6	
Päiväkodin ryhmätilat	3	12	4,0	8	3,0	6	3,0
Käytävä ja porrashuone			1,0		0,5		0,5
Käytävä, aula			1,5		1,0		1,0
Ruokala ja kahvila	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Kuumennus- ja jakelukeittiö ¹⁾			10		10		5-10
Valmistuskeittiö ¹⁾			15-40		15-40		15-25
Astianpesuhuone ¹⁾			12-20		10-15		10
Liiketila, myymälä ¹⁾		10	1-3	8	1-3	6	1-3
Näyttelytila			3		3		2
Kirjasto			3		2		2
Salit (konsertti-, teatteri-, elokuva-, koulun sali)		10		8		6	
Lämpö			5		5		5
Kuntosali			6		6		6
Liikuntahalli, urheilijat			2,5		2		2
Liikuntahalli, katsojat		10		8		6	
Potilashuone ²⁾		15	3,5	12	3	10	2,5
Varasto, arkisto (poisto)			0,5		0,5		0,35

¹⁾ Prosessin aiheuttama ilmanvaihdon tarve tai yllämmön poistaminen tulee suunnitella tapauskohtaisesti.

²⁾ Sairaalatiolajien sisäilmaston suunnittelusta ja ilmavirroista on tietoja raportissa Sairaalailmanvaihdon suunnitteluohjeita (Ryynänen 2007).

Kuva 1. Ulkoilmavirtojen normaalin käyttötilanteen mitoitusarvot sisäilmasto-luokissa S1, S2 ja S3 [4, s. 16].

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta dm ³ /s,hlö	Ulkoilma- virta dm ³ /s,m ²	Poistoilma- virta dm ³ /s,m ²	Muita ohjeita
Myymälä, jossa erittäin alhainen epäpuhtauskuorma		0,35-1,0		Esim. yhdistetty koneteknisten laitteiden varastomyymälä
Pieni myymälä, alhainen epäpuhtauskuorma		1,5		Esim. vaatemyymälä
Pieni myymälä, kohtalainen epäpuhtauskuorma		2		Esim. elintarvikemyymälä, kirjakauppa
Pieni myymälä, suuri epäpuhtauskuorma		3		Esim. kosmetikkamyymälä, lemmikkieläinkauppa, kukkakauppa
Suuri myymälä (>400 m ²), market tms.	6	1		Mitoitus 6 dm ³ /s,hlö tai 1 dm ³ /s,m ² , kuitenkin vähintään 0,5 dm ³ /s,m ²
Aulat ja myymäläkäytävät kauppakeskuksissa		1-3		Suunniteltava arvioidun käyttäjämäärän perusteella
Varasto		0,35-1,0		Varastoitavan tavarun mukaan

Kuva 2. Ulkoilmavirtojen mitoitusarvot myymäläpinta-alojen ja epäpuhtauskuorman mukaan [3, s. 15].

Elintarvikemyymälän huonelämpötilat suunnitellaan olevan sama ympäri vuoden. Kuvan 3 taulukosta voidaan nähdä, että kiinteillä työpisteillä, kuten kassalla tai myyntitiskeillä, sekä toimistoissa huonelämpötilan suunnitellussa

käytettävä ohjearvo on 21 °C. Myymälän huonelämpötilan ohjearvo on 18 °C. Eri käyttötarkoituksen tiloja palvelee yleensä eri ilmanvaihtokoneet, koska huoneiden sisäänpuhalluslämpötilat eroavat toisistaan usealla asteella. [5, s. 5.]

Tila	huonelämpötila [°C]
Porrashuone	17
Kylpyhuone, pesuhuone	22
Kuivaushuone	24
Myymälä	18
- myymälän kiinteä työpiste	21
Liikuntahalli	18
Kirkkosali	18
Tehdashalli, keskiraskas työ	17
Autokorjaamo, katsastustilat	17
Hissikuilu	17
Potilas-/hoituhuone	22

Kuva 3. Lämmityskauden huonelämpötilojen tilakohtaisia ohjearvoja [5, s. 9.].

2.2 Kosteuden merkitys sisäilmassa

Ulkoilma sisältää etenkin kesäaikaan paljon vesihöyryä eli kosteutta. Kostea ilmaa tulee kuivata ennen elintarvikemyymälään sisäänpuhallusta, koska muuten ilman sisältämää vesihöyryä tiivistyy sisätilojen viilleille pinnoille. Ilman kuivauksessa käytännössä poistetaan ilmasta veden höyrystymislämmön verran energiaa.

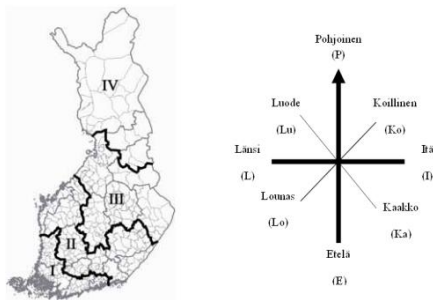
Ilman kosteudesta käytetään eri termejä: ilman suhteellinen kosteus (Relative Humidity) ja absoluuttinen kosteus (Absolute Humidity). Suhteellista kosteutta käytetään yleisesti ilmaisemaan ulko- tai sisäilman kosteutta (yksikössä %), kun taas absoluuttista kosteutta käytetään ilmaisemaan ilmassa olevan vesihöyryn määrää (yksikössä g/kg_{k.i.} tai g/m³). Absoluuttinen kosteus on olennainen osa ilmastointitekniikan prosessien laskennassa. Yleisesti käytössä oleva Mollier-diagrammi on kehitetty ilmastointiprosessien laskentaa varten, jossa kostean ilman olosuhteiden muutokset ovat helposti havaittavissa. [6, s. 81.]

2.3 Säätiiedot

Elintarvikemyymälän ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmiä mitoittaessa suunnittelijan tulee tarkastella ulkoilman olosuhteita tehon- ja energiankulutuksen näkökulmasta. Usein tehon- ja energiantarpeita tarkastellaankin simulointiohjelmilla käyttämällä paikkakunnan säätiietoja. Säädata voi olla nykyhetken sääolosuhteita vastaava, tai simuloinneissa on mahdollista käyttää myös tulevaisuuden säädataa.

Sääolosuhteet vaihtelevat Suomen sisäisesti, joten suunnittelussa ja mitoituksissa tulee ottaa huomioon kohteen sijainti, koska esimerkiksi talvella sääolosuhteet ovat Pohjois-Suomessa kylmemmät kuin Etelä-Suomessa. Tämän vuoksi Suomi on jaettu maantieteellisiin vyöhykkeisiin, ja energialaskennassa käytetään sen vyöhykkeen mitoituslämpötilaa, jonne rakennus sijoittuu. [7, s. 45.]

Kuvassa 4 on esitetty Suomen maantieteelliset alueet ja kuvassa 5 niiden mitoittavat lämpötilat. Kuvassa 4 näkyy neljä maantieteellistä aluetta, joista kaikilla on oma mitoittava ulkoilman lämpötila. Aluejako on tehty koska ympäri vuotiset sääolot Helsingissä ja esimerkiksi Sodankylässä ovat hyvin erilaiset.



Kuva 4. Lämmitystehon tarpeen ja energianlaskennan vyöhykkeet I–IV [8, s. 17].

Kuvissa 4 ja 5 nähdään, että alueen 1 ja 4 mitoittavien ulkoilman lämpötilojen ero on -12 °C . Tämä lämpötilaero on niin merkittävä, että sillä on vaikutus

lämmitystehontarpeeseen. Lämmitystehontarve taas vaikuttaa olennaisesti elintarvikeliikkeeseen valittaviin järjestelmäkokonaisuuksiin ja energian kulutukseen.

<i>Taulukko LI.1.</i>	<i>Mitoittavat ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.</i>
Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C
I	-26
II	-29
III	-32
IV	-38

Kuva 5. Suomen maantieteellisten alueiden mitoittavat lämpötilat [8, s. 17].

3 Kuivausjäähdytysjärjestelmäratkaisut elintarvikemyymälöissä

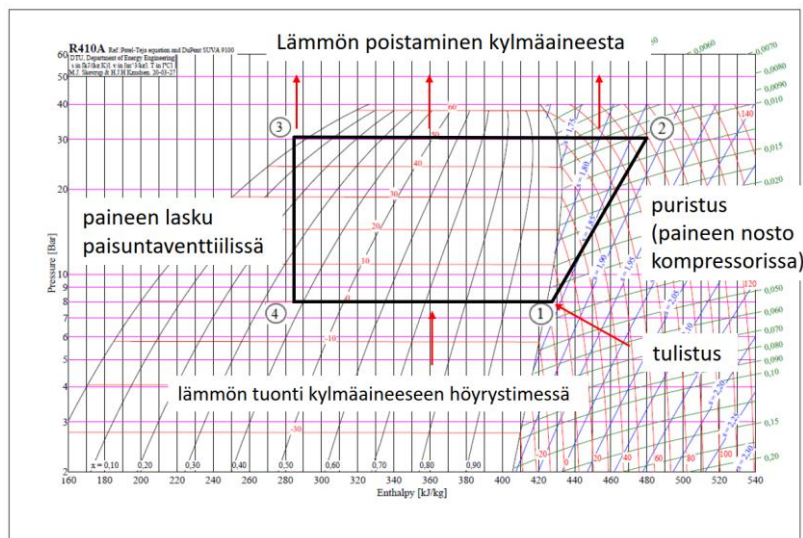
Opinnäytetyön asiantuntijahaastattelussa kävi ilmi, että elintarvikemyymälöihin suunnitellaan kuivausjäähdytysjärjestelmä, koska myymälän sisäilman olosuhteita halutaan hallita ilmankosteuden vuoksi. Kuivaamattoman sisäilman ollessa kosketuksissa ovellisten kylmäkalusteiden pintoihin muodostuu kastepiste esimerkiksi kylmäkaapin oveen, jolloin ovenpintaan tiivistyy vettä. Tässä opinnäytetyössä sisäilman kosteuden hallinnalla eli kuivauksella tarkoitetaan kosteuden poistamista myymälään puhallettavasta tuloilmasta.

Käytännössä tuloilman kuivaaminen tapahtuu niin että elintarvikemyymälän myymälätilaa palvelevan ilmanvaihtokoneen kosteutta siirtävä pyörivä lämmöntalteenottosiirrin ohjataan rakennusautomaatiolla pyörimään täydellä nopeudella. Tuloilman virratessa siirtimen läpi lämpimästä ja kosteammasta tuloilmasta tiivistyy kosteutta lämmönsiirtimen pinnalle. Kosteutta tiivistyy sen vuoksi, että siirtimen läpi toisesta suunnasta virrannut poistoilma on samalla jäähdyttynyt ja kuivannut pinnan. Lämmöntalteenoton jälkeen tuloilma sisältää vähemmän kosteutta kuin ennen lämmöntalteenoton lämmönsiirrintä. Lämmöntalteenoton jälkeen tuloilma siirtyy jäähdytyspatteriin, jossa tapahtuu lopullinen kosteudenpoisto eli kuivaus tuloilmasta. Kuivauksen jälkeen ilmanvaihtokoneessa on lämmityspatteri, jonka tehtävä on lämmittää tuloilman haluttuun lämpötilaan.

Tämän jälkeen tuloilma puhalletaan myymälään ilmanvaihtokoneen tuloilmapuhaltimella. Elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmän tärkeimmät komponentit ovat vedenjäähdytyskone, ilmanvaihtokone ja automaatiojärjestelmä. [7, s. 191–192.]

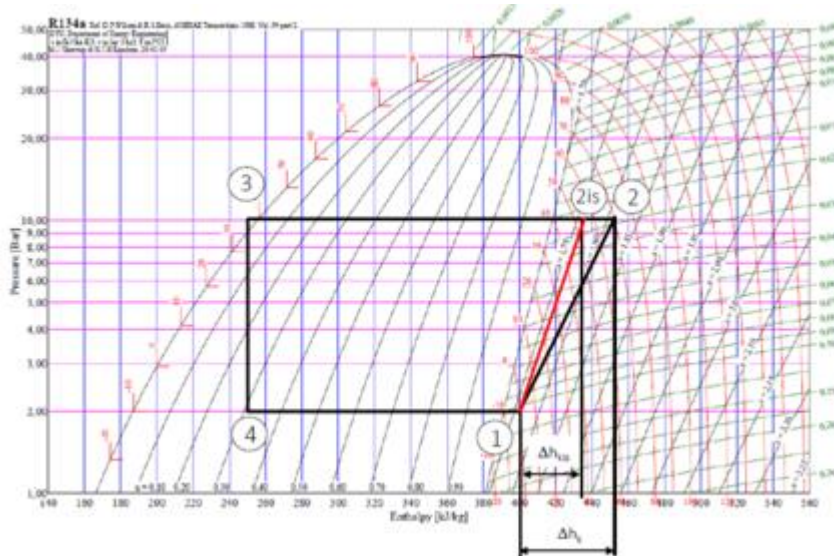
3.1 Vedenjäähdytyskone

Jäähdytysprosessi perustuu pääosin suljettuun kiertoprosessiin, jossa vedenjäähdytyskoneessa oleva kylmäaine höyrystyy ja lauhtuu. Vedenjäähdytyskoneiden pääkomponentteja ovat kompressori, höyrystin, lauhdutin ja paisunta-laite. Näiden lisäksi koneessa on myös muita apulaitteita ja ohjauskomponentteja. Kuvassa 6 on esitetty häviötön kiertoprosessi, jossa numero 1 on kylmäaineen tila höyrystimen jälkeen, numero 2 on kompressorin jälkeen, numero 3 lauhduttimen jälkeen ja numero 4 paisuntalaitteen jälkeen [6, s. 245].



Kuva 6. Vedenjäähdytyskoneen häviötön kylmäprosessi kylmäaineella R410A [9, s. 11].

Kuvassa 7 on esitetty häviöllinen kylmäaineprosessi, jossa erona häviöttömään prosessiin on lämmönsiirto ja painehäviöt. Kuvassa oleva punainen viiva kuvaa häviötöntä prosessia, ja tämän viivan oikeanpuoleinen musta viiva taas esittää häviöt, joita prosessissa syntyy. Häviöitä on höyrystimessä, kompressorissa, lauhduttimessa ja putkistoissa [6, s. 245].



Kuva 7. Vedenjäähdytyskoneen häviöllinen kylmäprosessi kylmäaineella R134A [9, s. 22].

Kylmäkerroin kuvaa kylmä- tai jäähdytysprosessin hyötysuhdetta. Kylmäkerroin ε lasketaan kaavalla 1 [6, s. 247]:

$$\varepsilon = \frac{\Phi_H}{P} \quad (1)$$

Φ_H on jäähdytysteho (höyrytimen sitoma lämpöteho) (W)

P on kompressorin sähköverkosto ottama teho (W).

Vedenjäähdytyskoneen hyötysuhde φ eli COP-arvo voidaan laskea seuraavalla kaavalla 2 [6, s. 247]:

$$\varphi = \frac{\Phi_L}{P} \quad (2)$$

Φ_L on lauhduttimen luovuttama lämpöteho (W)

P on kompressorin sähköverkosto ottama teho (W).

Mitoittaessa vedenjäähdytyskonetta on kiinnitettävä huomiota suunnittelun ja rakennuksen sisäilmaston tavoitteisiin. Elintarvikeliikkeissä tulee olla aina tietyt sisäilman lämpötilat ja kosteustasot. Huomiota tulee kiinnittää nestejäähdyttimelle tulevan ilman lämpötilaan. Mikäli lämpötila on matala, voi riskinä olla vedenjäähdytyskoneen kompressoreiden pysähtyminen kuumana kesäpäivänä. Nestejäähdyttimen tavallinen mitoituslämpötila on +42/+36 °C. Hetkellisiin kuumempiin lämpötiloihin kannattaa konemitoituksen lisäksi valmistautua valitsemalla koneelle sopiva sijoituspaikka ja korotusjalat. Laitteen sijoittelulla on suurempi merkitys laitteissa, joissa on pienimpi ilmavirta. Korotusjaloilla saadaan korotettua laite pois vesikatteen tasosta, jolloin vesikatteen lämpeneminen kuumina päivinä ei suoraan vaikuta laitteeseen. [6, s. 244–259.]

Vedenjäähdytyskoneita on saatavilla liuos-, ilma- ja vesilauhdutteisina. Elintarvikemyymälöissä käytetään näistä liuos ja ilmalauhdutteisia koneita, joten ne on esitelty tarkemmin alapuolella omina lukuina.

3.1.1 Ilmalauhdutteinen vedenjäähdytyskone

Ilmalauhdutteinen vedenjäähdytyskone on suunniteltu etenkin kesäaikaiseen jäähdytyskäyttöön, mutta kone soveltuu myös ympärivuotiseen käyttöön. Ympärivuotinen käyttö on otettava huomioon jo hankintaa tehdessä, eli suunnittelijan tulee olla tietoinen tilaajan toiveista hyvissä ajoin. Ilmalauhdutteiset koneet (kuva 8) voidaan asentaa kokonaisuudessaan ulos, jolloin höyrystimen jäätyminen esto toteutetaan käyttämällä jäähdytysnesteinä etyleeni- tai propyleeniglykolia. Ennen koneen ulos asennusta tulee olla varmistettu, että koneen automaatio kestää kyseisen paikkakunnan sääolot ympärivuoden. [6, s. 255.]



Kuva 8. Ruuvikompressorilla varustettu ilmalauhdutteenen vedenjäähdytyskone [10].

3.1.2 Liuoslauhdutteinen vedenjäähdytyskone

Liuoslauhdutteinen vedenjäähdytyskone (kuva 9) on osa suurempaa elintarvikemyymälän jäähdytysverkostoa. Jäähdytysverkostoon voi olla kytketty esimerkiksi puhallinkonvektoreita, jäähdytyspalkkeja tai tuloilmakoneen jäähdytyspatteri. Liuoslauhdutteinen vedenjäähdytyskone on hyvä valinta elintarvikemyymälässä, jossa kompressorin ja lauhduttimen välinen etäisyys on pitkä. Sisälle asennettava vedenjäähdytyskoneen kompressorikoneikko tarvitsee siis toimiakseen myös ulos vesikatolle asennettavan vedenjäähdyttimen. Vedenjäähdytyskoneen nesteen pakkasen kesto tulee tarkistaa, mikäli konetta halutaan käyttää ympäri vuoden. Muuten kovalla pakkasella nestejäähdyttimen neste jähmettyy ja laitteen toiminta häiriintyy. [6, s. 258.]



Kuva 9. Ruuvikompressorilla varustettu liuoslauhdutteinen vedenjäähdytyskone [11].

3.1.3 Nestejäähdytin

Nestejäähdyttimet toimivat liuoslauhdutteisten vedenjäähdytyskoneiden kanssa yhtenä kokonaisuutena. Niiden tarkoitus on jäähdyttää vedenjäähdytyskoneelle menevää vettä tai vesi-glykoliseosta. Nestejäähdyttimen mitoitus tehdään vedenjäähdytyskoneen täydelle lauhdutustehon tarpeelle, ja yleensä nestejäähdytin asennetaan ulos, rakennuksen vesikatolle. Suunnittelu ja asennusperiaatteena on sijoittaa edellä mainitut laitteet suhteellisen lähekkäin, jotta pitkiltä putkivedoilta säästyään. Vedenjäähdytyskoneet yleensä sijoitetaankin vesikatolla tai rakennuksen ylimmässä kerroksessa sijaitseviin ilmanvaihtokonehuoneisiin tai niille rakennetaan oma erillinen huonetila vastaamaan käyttötarkoitusta. [7, s. 346–348.]

Nestejäähdyttimissä mitoitus tehdään samoilla liuoslämpötiloilla kuin vedenjäähdytyskoneessa sijaitsevan lauhduttimen. Tavallinen mitoituslämpötila onkin +42/36 °C, kun nestejäähdyttimelle tuleva ulkolämpötila on +30 °C. Mikäli nestejäähdytin sijoitetaan aurinkoiseen tai muuten lämpimään paikkaan, mitoituslämpötila voi olla edellä mainittuakin korkeampi. Nestejäähdyttimen koosta voidaan sanoa se, että mitä pienempi laiteelle tulevan ulkoilman ja liuoksen keskilämpötilan ero on, sitä suurempi laite itsessään on. Kesäpäivänä ulkoilman lämpötila voi kohota korkeammaksi kuin nestejäähdyttimen mitoituslämpötila, jolloin liuoksen lämpötila nousee samassa suhteessa. Tällöin koneen jäähdytysteho ja hyötysuhde heikkenee, mutta Suomen kesässä ei montaa tällaista päivää tai tuntia ole. Laitemitoituksessa onkin otettava huomioon ja varmistettava tilaajalta onko tällainen ylitys sallittu, vai mitoitetaanko nestejäähdytin todellisten paikkakunnalla toteutuneiden ulkolämpötilojen mukaan. [7, s. 346–348.]

Tehon lisäksi yksi tärkeä mitoitustekijä on laitteen äänitaso, jonka laitevalmistajat yleensä ilmoittavat laitteen äänitasona mitattuna 10 metrin etäisyydellä laitteen päädyistä. Nestejäähdyttimen puhaltimia on aikaisemmin ohjattu ryhmissä niin sanotulla on/off-kytkennällä tai yksitellen. Nykyisin yleisen tapa säätää pyörimisnopeutta on suunnitella laitteeseen joko EC-puhaltimet tai

taajuusmuuttajat. Kuvassa 10 on esitetty erään laitevalmistajan nestejäähdytin ja sen kymmenen lauhdutuspuhallinta. [7, s. 346–348.]



Kuva 10. Modulaarinen nestejäähdytin [12].

3.1.4 Höyrystin

Höyrystin on lämmönsiirrin, jossa paisuntaventtiilin jälkeen malassa paineessa oleva kylmäaine höyrystyy ympäristön lämpötilassa ja kylmäaineen sitoessa lämpöä ympäristöstä. Höyrystimeltä kaasumuodossa oleva kylmäaine johdetaan kompressorille. [13, s. 58–59.]

3.1.5 Kompressorit

Kompressorit puristaa matalassa lämpötilassa olevan kylmäainehöyryn korkeampaan paineeseen, jolloin höyryn lämpötila nousee. Kompressorit ovat rakenteeltaan puolihhermeettisiä, hermeettisiä ja avokompressoreita. Vedenjäähdytyskoneissa käytetään esimerkiksi hermeettisiä scroll- ja mäntäkompressoreita, mutta muitakin vaihtoehtoja on tarjolla. Scroll- ja mäntäkompressorien tehon säätö tapahtuu kompressoreiden käynnistyksillä ja pysäytyksillä tai kompressorin pyörimisnopeutta ohjataan taajuusmuuttajan avulla. [6, s. 244–250.]

Kompressorin mitoitus tehdään laitevalmistajan valintaohjelmalla tai vaihtoehtoisesti tehokäyrästä ja -taulukoiden mukaan. Mitoitukseen vaikuttavia asioita

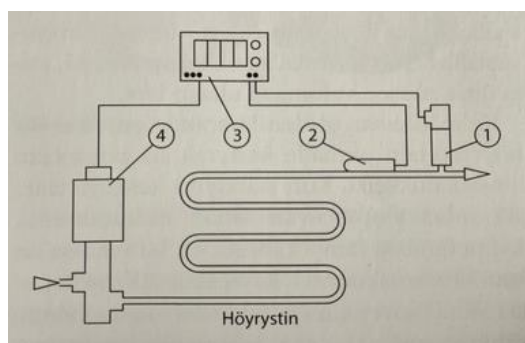
ovat kompressoreiden lukumäärä ja tehontarve, kompressorityypin valinta ja kylmäaine, lauhtumislämpötila kompressorilla, höyrystymistehokompressorilla ja paisuntaventtiilille tulevan kylmäainemenesteen lämpötila. [14, s. 67.]

3.1.6 Lauhdutin

Lauhduttimessa ympäristöä lämpimämpi kylmäainehöyry nesteytyy ja höyry luovuttaa lämmön ympäristöön. Lauhduttimen mitoituksessa on otettava huomioon samoja asioita kuin kompressorimitoitusta tehdessä. Lisäksi huomioon tulee ottaa myös lauhduttavan väliaineen lämpötilan ja painehäviön muutos sekä lauhdutustehontarve. [13, s. 58–59.]

3.1.7 Paisuntalaite

Lauhduttimelta höyrystimelle palaavan kylmäaineen paine laskee paisuntalaitteella ja kylmäaine muuttuu samalla neste-höyryseokseksi. Vedenjäähdytyskoneissa paisuntalaitteena käytetään usein elektronisia paisuntaventtiileitä. Venttiilien toiminta perustuu siihen, että säädin ohjaa venttiilin toimintaa lämpötilanturilta saadun tiedon mukaan. Säätimelle menee tieto myös painelähtimeltä. Venttiili voi avautua ja sulkeutua jaksoittain, eli se voi olla pulssittava, säätyä jatkuvasti tai se voi avautua ja sulkeutua portaittain. Jokaiseen vedenjäähdytyskonekokonaisuuteen valitaan sopiva paisuntaventtiilityyppi kohteen mukaan. [13, s. 57.]



Kuva 11. Elektroninen paisuntaventtiili ja sen toimintaan vaikuttavat komponentit [13, s. 57].

Kuvassa 11 on havainnollistettu paisuntaventtiili ja sen toimintaan vaikuttavat komponentit. 1 on painelähetin, 2 on lämpötila-anturi, 3 on säädin ja 4 on paisuntaventtiili.

3.1.8 Kylmäaine

Kylmäaineet ovat kylmäkoneissa ja lämpöpumpuissa käytettyjä työaineita. Ne ovat nesteytettyjä kaasuja, ja niiden tehtävä on siirtää lämpöä alhaisemmasta lämpötilasta korkeampaan. Esimerkiksi lämpöpumpuissa kylmäaineiden käyttö perustuu siihen, että kylmäaine pystyy muuttamaan muotoaan nestemäisestä kaasuksi. Kylmäaineet ovat joko niin sanotusti luonnollisia kylmäaineita tai halogeenivetyjä. [15, s. 1.]

Kylmäaineita koskeva lainsäädäntö muuttuu jatkuvasti, koska aiemmin käytetyt kylmäaineet ovat olleet haitallisia ilmakehän otsonikerrokselle. Näiden otsonikerrokselle haitallisten fluorattujen, eli HCFC- ja CFC-kylmäaineiden käyttöä on rajoitettu ilmakehän suojelemiseksi. Nykyisissä kylmlaitteissa, jotka sisältävät kiellettyjä kylmäaineita, saadaan edelleen täyttää kylmäainetta laitteeseen, mutta koneiden uusinoissa siirrytään uusiin tai muihin edelleen sallittuihin kylmäaineisiin. Uusissa kylmäainetta hyödyntävissä laitteissa onkin pääasiallisesti siirrytty HFC-kylmäaineisiin, jotka eivät vahingoita otsonikerrosta, mutta ne luokitellaan kasvihuonekaasuiksi. Vanhoille ja uusi laitteille, jotka sisältävät kylmäainetta, on määritetty tarkastukset sekä kylmäaineen talteenottoon liittyvät asetukset, joita käyttäjän tulee noudattaa. [6, s. 247–249.]

11.3.2024 astui voimaan EU:n uusi asetus F-kaasujen, eli fluorattujen kasvihuonekaasujen vähentämisestä. Uudella asetuksella rajoitetaan fluorattuja kaasuja sisältävien laitteiden markkinoille tuloa. Uusia laitteita koskevia kieltoja ja rajoituksia otetaan käyttöön asteittain jo lähivuosina. Vuosina 2025 ja 2026 tulevat voimaan kylmlaitteiden huoltoon liittyvät tiukennukset. Neitseellisten kylmäaineiden käyttöä laitteiden huollossa vähennetään. Regeneroituja ja kierrätettyjä kylmäaineita ja niiden käyttöä ei kielletä, ettei näitä kylmäaineita sisältäviä

laitteita tarvitse uusia teknisen käyttöiän loppumista. Fluoratut kylmäaineet poistuvat markkinoilta kokonaan vuoteen 2050 mennessä. [16.]

Käytännössä uudessa asetuksessa asetetaan käytölle uusia kieltoja ja rajoituksia, pätevyysvaatimuksia laajennetaan, huoltokielto laajenee ja vuototarkastusvelvollisuus laajenee.

Esimerkiksi kylmäaineita koskevien rajoitusten lisäksi myös kylmäaineiden käsitelijöiden pätevyysvaatimuksia laajennetaan niin, että vaatimus koskee kaikkia fluorattuja kylmäaineita ja lisäksi myös vaihtoehtoisia luonnollisia aineita.

F-kaasuasetuksen keskeisimmät asiat ovat seuraavat:

1. Asetus ei kiellä kylmäaineiden maahantuontia tai myyntiä, oli kyseessä mikä tahansa kylmäaine.
2. HFC-yhdisteiden saantia kiintiötetään niin että niiden käyttö vähenee asteittain ja loppujen lopuksi vuoteen 2025 mennessä niiden käyttö loppuu.
3. Asetuksessa on määritetty GWP-rajat uusille laitteille
4. Asetus asettaa joitain laitteita huoltokieltoon, koska tiettyjen aineiden käyttöä huollossa rajoitetaan.
5. Asetus asettaa pätevyysvaatimukset, eli toisin sanottuna vain pätevät yritykset ja henkilöt voivat jatkossa käsitellä kylmäaineita. [17.]

Uudet palavat kylmäaineet herättävät paljon keskustelua ja huolta siitä, voiko esimerkiksi koko elintarvikemyymälän syttyä palamaan palavan kylmäaineen vuodon tai räjähdysten vuoksi. Palavat kylmäaineet yleistyvät kuitenkin koko ajan ja EU:n lainsäädäntö ohjaa kehittämään vanhojen fluorattujen aineiden sijaan uusia kylmäaineita. Uusissa vedenjäähdytyskoneissa on siirrytty ilmakehän otsonikerrokselle haitattomiin HFC-kylmäaineisiin, joita ovat esimerkiksi R-134a, R407C ja R-410a. Esimerkiksi R-134a kylmäainetta käytetään

ruuvikompressoreissa ja turbovedenjäähdytyskoneissa, koska sillä saavutetaan hyvä hyötysuhde hyödyntäen pientä puristussuhdetta. Tseotrooppinen kylmäaine R-407C taas on yleinen levylämmönsiirrin tyyppisissä lauhduttimissa ja höyrystimissä, mutta ei sovellu ns. märkähöyrytimiin. [6, s. 247–249.]

3.2 Regeneratiivisella lämmöntalteenottosiirtimellä varustettu ilmanvaihtokone

Regeneratiivisella lämmöntalteenottosiirtimellä varustettu ilmanvaihtokone on melko yleinen vaihtoehto valittaessa ilmanvaihtokonetta rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmään. Sen etuja ovat pieni tilantarve suurilla ilmavirroilla ja korkea lämpötilasuhde pienillä painehäviöillä. Se myös pysyy yleensä puhtaana eikä huuru helposti. Negatiivisena ominaisuutena on vuotoilma tulo- ja poistoilman välillä, josta aiheutuu pienimuotoinen hajujen siirtyminen poistoilmasta tuloilmaan. [7, s. 191–192.]

Regeneratiivista lämmöntalteenottosiirrintä hyödynnetään myös jäähdytetyn poistoilman talteenotossa. Tässä tapauksessa rakennuksen viileää poistoilmaa hyödynnetään lämpimän tuloilman jäähdytykseen. Lämmöntalteenottosiirrin ohjataan pyörimään täydellä pyörimisnopeudella, jolloin saadaan tuloilman jäähdytykseen jäähdytystehoa. Jäähdytetyn poistoilman talteenotto vähentää vedenjäähdytyskoneelta vaadittua tehontarvetta. [7, s. 191–192.]

3.3 Kosteudenpoisto regeneratiivisella lämmöntalteenottosiirtimellä varustetulla ilmanvaihtokoneella

Pyörivän lämmönsiirtimen ominaisuutena on myös mahdollisuus siirtää lämmön ja jäähdytyksen lisäksi myös kosteutta. Tällöin siirtimen pinta on käsitelty kosteutta siirtäväksi eli hygroskooppiseksi. Tämä ominaisuus voi tuottaa suuret hyödyt energiansäästössä, kun on kyse rakennuksesta ja sen tiloista, joissa tulee olla talvellaakin minimi kosteus tuloilmassa. Lämmöntalteenotossa tapahtuvan kosteuden siirron jälkeen jäähdytyspatterille menevä ulkoilma on siis viileämpää ja vähemmän kosteaa kuin ilmanvaihtokoneeseen tullessaan. Tällöin

jäähdytyspatterin tehontarve ja energian käyttö pienenee, koska sen ei tarvitse poistaa niin paljon kosteutta. Jäähdytyksen talteenotto siis vähentää muun laitteiston jäähdytystehontarvetta. Jäähdytysteho kasvaa sitä suuremmaksi, mitä korkeampi ulkoilman lämpötila ja suhteellinen kosteus on. [7, s. 191–192.]

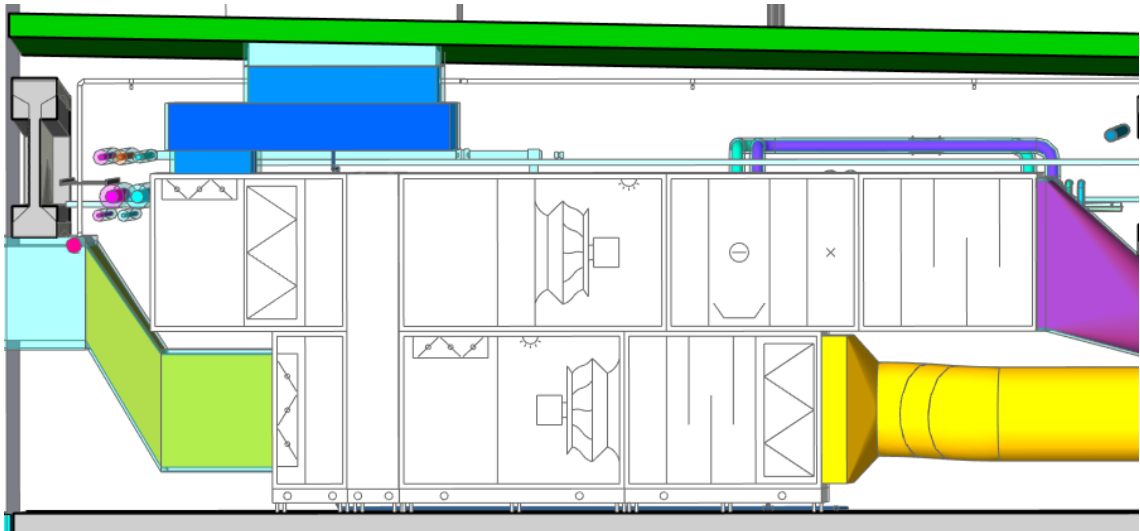
Mitoittaessa regeneratiivista lämmöntalteenottosiirrintä tulee kiinnittää huomiota lämmöntalteenottosiirtimen virtauskanavan pituuteen ja poimutuksen tiheyteen. Kun valitaan tiheä poimutus, saadaan paljon lämmönsiirtopintaa mutta pienet virtauskanavat. Painehäviö on tässä tapauksessa suuri, mutta lämpötilasuhde korkea. Valitsemalla taas harvemman poimutuksen saadaan kasvatettua virtauskanavan pituutta, eli painehäviö laskee, mutta lämpötilasuhde pienenee. Sopiva poimutus voidaan valita tarkastelemalla SFP-lukua ja lämpötilasuhdetta. Kuvassa 12 on esitetty esimerkki mitoitettun ilmanvaihtokoneen pyörivän lämmöntalteenoton teknisistä tiedoista. [7, s. 191.]

Pyörivä lämmönsiirrin

Konekoko: 068		
Roottorin rakenne: Regoterm (ei-hygroskooppinen)		
Reunavahvistettu: ei		
Poimutus: Tehovaihtoehto 6 (2.1 mm, syvyys 270 mm)		
Toimitusmuoto: Sektoroitu roottori, vaippa jaettu korkeussuunnassa		
Rakennepituus: Vakio (jaettu roottori)		
Kehyosien materiaali: Sinkitty teräs/AlZn		
Huoltopuoli: Vasen		
Lämpötilahyötysuhde		
Hyötysuhde standardin EN 308 mukaan		72.0 %
Lämpötilahyötysuhde 0°C ulkolämpötilassa		72.0 %
Jäähdytyksen talteenotto		0.0 %
Kosteushyötysuhde, Kesä		0.0 %
Kosteushyötysuhde, Talvi		44.6 %
Tuloilma	Kesä	Talvi
Painehäviö	185	147 Pa
Ilman lämpötila	27	-32 / 6 °C
Suhteellinen kosteus	50	89.8 / 35.2 %
Teho mitoituspisteessä	0	463 kW
Otsapintanopeus	3.5	3.3 m/s
Ilmavirran kulkeutuminen		0.44 m ³ /s
Poistoilma	Kesä	Talvi
Painehäviö	180	162 Pa
Ilman lämpötila	22.9	20.8 / -13.7 °C
Suhteellinen kosteus	28.5	28.5 / 100 %
Otsapintanopeus	3.5	3.5 m/s
Tarvittava poiston lisäkuriistus		0 Pa

Kuva 12. Ilmanvaihtokoneen pyörivän lämmöntalteenoton tekniset tiedot [18].

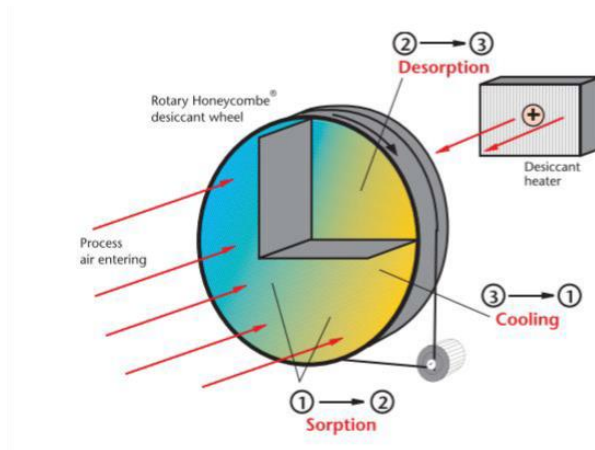
Kuvassa 13 on esitetty ilmanvaihtokone sivulta niin, että kuvassa näkyvät koneen pääkomponentit. Elintarvikemyymälää palvelevassa ilmanvaihtokoneessa on pyörivä lämmöntalteenotto, puhaltimet tulo- ja poistopuolella. Tuloilmapuolella on myös jäähdytys- ja lämmityspatterit.



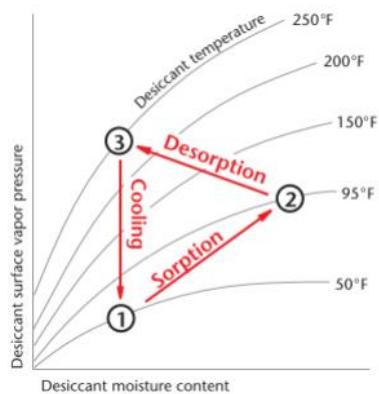
Kuva 13. Pyörivällä lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtokone ja sen komponentit [19].

3.4 Sorptiokuivaus

Kuvassa 14 ja 15 on esitetty tuloilman (prosessi-ilman) kuivausroottori lämmöntalteenottosiirtimessä. Roottori on jaettu kahteen eri kokoiseen sektoriin. Lämmin tuloilma kulkee suuremman sektorin läpi ja kuivaava ilma (regenerointi-ilma) kulkee pienemmän sektorin läpi. Tuloilmassa oleva kosteus siirtyy ilmasta lämmönsiirtimen pinnalla olevaan materiaaliin suuremmissa sektorissa (sorptio). Kosteuden siirtyminen on esitetty kuvassa 14 muutoksena pisteiden 1 ja 2 välillä, ja se tapahtuu höyrynpaineen vaikutuksesta. Pienemmässä sektorissa roottoriin pinnalla olevassa materiaalissa olevaa vesihöyryä siirtyy kuumaan ja kuivaan ilmavirtaan (desorptio). Desorptio, eli muutos pisteiden 2 ja 3 välillä, on esitetty kuvassa 14. Kosteuden poistoilmaan siirtämisen jälkeen tapahtuu roottorin pinnalla olevan materiaalin jäähdytys kierrättämällä kuivaukseen käytettävää ilmaa. Tämä jäähdytys vastaa muutosta pisteiden 3 ja 1 välillä kuvassa 15.



Kuva 14. Sorptiokuivaimen toimintaperiaate tuloilman kuivauksessa [20, s. 39].

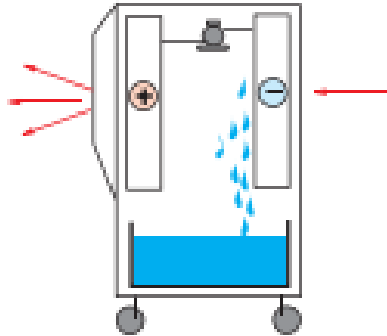


Kuva 15. Sorptiokuivauksen vaiheet: kosteuden siirtyminen tuloilmasta hygroskooppiseen materiaaliin (1–2), kosteuden siirtyminen hygroskooppisesta materiaalista regenerointi-ilmaan (2–3) ja hygroskooppisen materiaalin jäähtyminen (3–1) [20, s. 39].

3.5 Tuloilmakoneen jäähdytyspatteri

Elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmän jäähdytyspatterin tehtävä on tuloilman jäädyttäminen ja kuivaaminen. Jäädytettäessä tuloilmaa alle kastepistelämpötilan, patterissa ilmasta tiivistyy kosteutta vesipisaroiiksi. Veden tiivistymisen yhteydessä ilma kuivuu. Ilman sisäänpuhalluslämpötila vaihtelee yleensä 15–20 °C välillä, mutta lämpötila mitoitetaan tapauskohtaisesti. [7, s. 191.]

Alapuolella esitetystä kuvasta 16 on tuloilman kuivaus jäähdytyspatterissa ja sen jälkeinen lämmitys haluttuun sisänpuhalluslämpötilaan.



Kuva 16. Tuloilman kuivaus jäähdytyspatterissa ja sen jälkeinen lämmitys lämmityspatterissa. [20, s. 27].

Ilmastoinnin suora höyrysteisessä prosessissa jäähdytyspatterin pintalämpötila pysyy suurimman osan ajasta vakiona. Pintalämpötila muuttuu koko jäähdytysprosessin ajan, mikäli kyse on välillisestä pintalämpötilasta. Kuivausta tehdessä jäähdytyspatterin pintalämpötila on matalampi kuin kastepistelämpötila. [6, s. 131.]

Kaavalla 3 laskettu jäähdytysteho on kokonaisjäähdytysteho. Kokonaisteho sisältää ilman kuivaamisen tarvittavan tehon ja tuntuvan jäähdytystehon. Tuntuvalle jäähdytysteholla tarkoitetaan sitä osaa tehosta, mikä tarvitaan kompensoimaan lämpökuormia. Toisin sanottuna, tuntuvalle jäähdytysteholla lämmitetään ilmaa niin, että päästään haluttuun lämpötilaan. Se voidaan laskea entalpiaerolla $h_3 - h_2$. Ilmankuivaukseen käytetty teho lasketaan entalpiaerolla $h_1 - h_3$. [6, s.131.]

Kokonaisjäähdytysteho lasketaan kaavalla 3:

$$\Phi_{\text{jäähdytys}} = \rho \cdot q_v \cdot (h_1 - h_2) \quad (3)$$

$\Phi_{\text{jäähdytys}}$ on jäähdytysteho (kW)

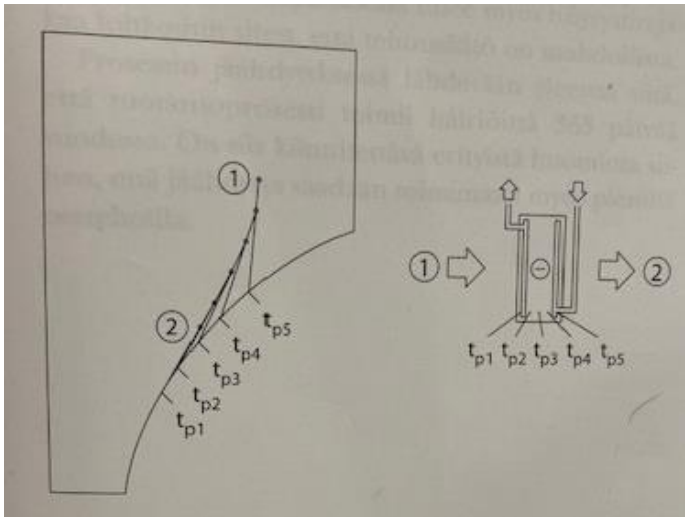
ρ_i on ilman tiheys (kg/m³)

q_{vi} on ilmavirta (m³/s)

h_1 on alkuentalpia (kJ/kg)

h_2 on loppuentalpia (kJ/kg).

Käytännössä, kun ilman jäähdytystä tehdään vesijäähdytyspatterilla, patterin pintalämpötila muuttuu koko ajan ja prosessi kaartaa kohti jokaista pintalämpötilaa. Pintalämpötilojen kaartaminen ja eri pintalämpötilat esitetty kuvassa 17. [14, s. 255–257].



Kuva 17. Jäähdytyksen käyttäytyminen, kun jäähdytyspatterin pintalämpötila muuttuu [14, s. 257].

Nestejäähdyttimellä ja vedenjäähdytyskoneella tuotetaan elintarvikemyymälän jäähdytysverkoston vettä. Jäähdytysputkistoa pitkin jäähdytetty vesi kuljetetaan ilmanvaihtokoneen jäähdytyspattereille, jossa tapahtuu tuloilman kuivausprosessi. Yleensä vesijäähdytyspatterille tuleva menovesi on lämpötilaltaan 7 °C ja vesi lämpenee patterissa niin, että veden paluulämpötila on 12 °C. Jäähdytyspatterin ja jäähdytysvesiputkiston mitoituksessa on otettava huomioon veden virtausnopeus ja virtauksen aiheuttama painehäviö. [4, s. 191.]

Veden virtauksen kannalta nopeusrajoina voisi pitää seuraavia:

- lämmönsiirron kannalta miniminopeus 0,4 m/s
- eroosion kannalta maksiminopeus 2,0 m/s
- veden painehäviönä lämmönsiirron ja tasaisen jakautuvuuden kannalta pienissä pattereissa minimissään 5 kPa ja isoissa pattereissa minimissään 10 kPa. [4, s. 191.]

Jäähdytyspatteri mitoitetaan lähes samalla tapaa kuin lämmityspatteri. Patterin mitoituksessa tarkastellaan lamellijakoja, sillä vaihtoehtoja on monia. Tyypillisesti lamellivälit ovat 2 mm, 2,5 mm, 3 mm ja 4 mm, mutta niissä tapauksissa, joissa kondenssivettä syntyy paljon, voidaan käyttää suurempia lamellivälejä. Valitsemalla hieman harvempi tai tiheämpi lamellijako tehontarpeen mukaan voidaan vaikuttaa ominaissähkötehoon eli SFP-lukuun. [7, s. 188.]

Kuvassa 18 on esitetty ilmanvaihtokoneen mitoituksessa saadut jäähdytyspatterin tekniset tiedot, eli esimerkiksi patterin teho, lamellijako ja tilavuus.

Ilmanjäähdytin, vesi

Konekoko: 068	
Liitäntäpuoli: Vasen	
Kehyosien materiaali: Sinkitty teräs	
Pisaranerotin: Mukana, muovilamelli	
Rakennaversio: Ver 3	
Patterin tiedot	
Käyttötapa: Jäähdytyspatteri	
Laskentatapa: Haluttuun lämpötilaan sekä tehoreservi	
Tehovaihtoehto: 10	
Vesireitit: 06	
Lamellijako: 2,5 mm	
Rakenne: Vakio otsapinta	
Putket ja lamellit: Cu/Al, kokoojaputket terästä	
Pumppuryhmän tiedot	
Pumppuryhmä: Ilman	
Vesitilavuus	109.8 l
Mitoittava painehäviö	450 Pa
Etanoli	27 %
Painehäviö	450 Pa
Painehäviö, kuiva patteri	286 Pa
Teho	273 kW
Ilman lämpötila	24 / 9 °C
Suhteellinen kosteus	59 / 99.1 %
Otsapintanopeus	3.5 m/s
Veden lämpötila	5 / 10 °C
Vesivirta	13.47 l/s
Veden nopeus	1.6 m/s
Vesipuolen painehäviö	37.4 kPa
Kondenssiveden määrä	0.04 l/s

Kuva 18. Jäähdytyspatterin tekniset tiedot [18].

3.6 Tuloilmakoneen lämmityspatteri

Elintarvikemyymälän myymälää palvelevassa ilmanvaihtokoneessa jäähdytyspatterilta tuleva kuivattu tuloilma lämmitetään lämmityspatterilla haluttuun lämpötilaan. Lämmityspatterille virtaa ilmanvaihdon lämmitysverkoston putkistoa pitkin vettä, jolla ilman lämmitysprosessi mahdollistetaan. Yleensä lämmityspatterin menoveden lämpötilaksi mitoitetaan 60 °C ja paluuveden lämpötilaksi 30 °C. [6, s. 87.]

Lämmityspatteri mitoitetaan normaalin käyttötilanteelle ja tehostetulle ilmavirralle sekä kesä- että talviolosuhteisiin. Lämmityspatterin teho määritetään ensisijaisesti mitoitusohjelmalla, mutta ulkoilman lämmitys tuloilman lämpötilaan voidaan laskua myös käsin kaavalla 4, kun ilmaa myös kuivataan:

$$\Phi_{\text{lämmitys}} = \rho_i \cdot q_{vi} \cdot (h_2 - h_1) \quad (4)$$

$\Phi_{\text{lämmitys}}$ on lämmitysteho (kW)

q_{vi} on ilman tilavuusvirta (m³/s)

ρ_i on ilman tiheys (kg/m³)

h_1 on alkuelämpötila (kJ/kg)

h_2 on loppuelämpötila (kJ/kg).

Yllä olevaa kaavaa voidaan käyttää myös jäähdytyspatterin mitoitukseen, kun patterilla halutaan kuivata [6, s. 87].

Mikäli lämmityspatteri lämmittää ulkoilmaa, siinä täytyy aina olla pumpputoiminen vesikierto, jonka tehtävä on estää jäätyminen. Kierto toteutetaan pumppuryhmällä ja se toimii myös samalla sekoittajana. Kuvassa 19 on esitetty mitoitusohjelmalla saadut lämmityspatterin teho, lämpötila, materiaali- ja mittatiedot. [7, s. 187.]

Patterit Modine Söderköping		
	Pos	302TK01_LP_talvi_9,0_m3/s_a
Ilma	Teho	272 kW
	Virta	9,0 m ³ /s
	Lämpötila sisään	5,0 °C
	Lämpötila ulos	30,0 °C
	Painehäviö	150 Pa
	Nopeus	3,4 m/s
Vesi	Virta	3,27 l/s
	Lämpötila sisään	50,0 °C
	Lämpötila ulos	30,0 °C
	Painehäviö	26 kPa
	Nopeus	1,1 m/s
	Maks. käyttöpaine	1,6 MPa
	Maks. käyttölämpöt.	110 °C
	PED (2014/68/EU)	Art 4.3
Mittatiedot	Lamellin leveys / kokonaisleveys	1720 / 1896 mm
	Lamellin korkeus / kokonaiskorkeus	1533 / 1537 mm
	Rakennesyvyys	183 mm
	Putkirivien lkm.	4
	Lamellijako	2,5 mm
	Vesireittien lkm.	8
	Liitântätkoko DN	DN 1x50
	Otsapinta / Lämpöpinta	2,64 / 222 m ²
	Paino / Tilavuus	134 / 50 kg / l
Materiaalit	Mtrl. lamelliputki	Kupari
	Mtrl. lamellit	Alumiini
	Mtrl. kokoojaputket	Teräs
	Mtrl. kehys	Sinkitty teräs
Tuotetunnus	BQRF-068-01-04-25-08-1-11	

Kuva 19. Lämmityspatterin tekniset tiedot [18].

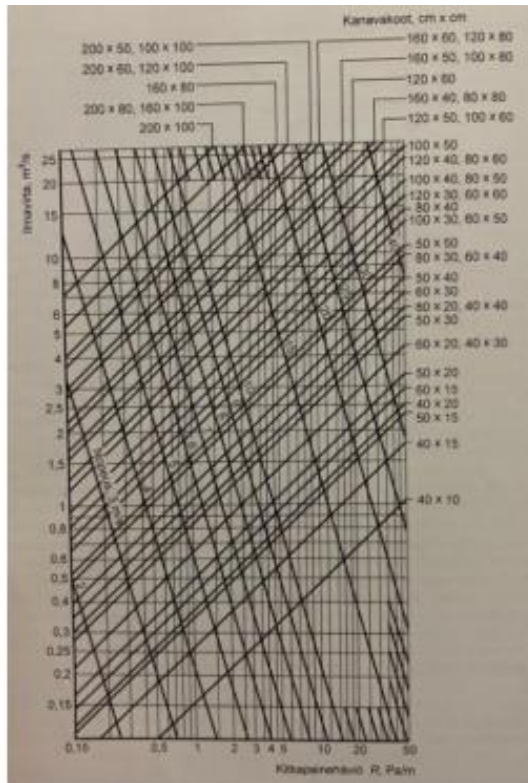
3.7 Ilmanvaihtokoneen puhallin

Ilmanvaihtokoneen puhallin siirtää jäähdytetyn tuloilman huonetiloihin. Puhaltimen toiminnassa oleellista on se, että puhaltimen puhallusnopeus ei ole liian suuri. Suurella puhallusnopeudella on riskinä, että jäähdytyspatterissa kondensoituneet vesipisarat lähtevät ilman mukaan. Yleensä ilmannoisuus vaihtelee 2,5–3,0 m/s, jolloin edellä mainittua ongelmaa ei synny. [7, s. 187.]

3.8 Ilmanvaihtokanavisto

Ilmanvaihtokanavisto on oma osa elintarvikeliikkeen kuivausjäähdytysjärjestelmässä. Kanaviston tulee olla tiivis, virtaus- ja ääniteknisesti hallittu sekä muuntojoustava. Suunnittelijan tulee ottaa ilmanvaihtokanaviston suunnittelussa huomioon monia asioita, kuten riittävät kanavakoot ja ilmavirrat, ilmanvaihdon päätelaitteiden soveltuvuus esimerkiksi myymälätilan ilmanvaihtoon ja kanaviston painetaso.

Kanavistomitoituksella luodaan toimintaedellytykset virtaus- ja päätelaitteille. Mitoitus voidaan toteuttaa staattisen, dynaamisen ja kokemusperäisen



Kuva 21. Suorakaidekanavan mitoitustaulukko [21, s. 118].

Edellä mainittujen kuvien 20 ja 21 lisäksi ilmanvaihtokanaviston painehäviöitä on mahdollista tarkastella suunnitteluohjelmiston tasapainotusta hyödyntäen. Ohjelmiston antamasta raportista nähdään jokaisen kanavaosuuden painehäviöt ja kanavakoot.

3.9 IV-lämmitys ja -jäähdytysverkoston putkisto

Verkostosuunnittelussa tulee lisäksi ottaa huomioon eristys, asennettavuus ja muuntojoustavuus. Ilmanvaihto- ja jäähdytysverkostojen putket tulee eristää asianmukaisesti asennusvaiheessa, jottei esimerkiksi jäähdytysputkiston pintaan kondensoidu vettä. Asennettavuuden kannalta runkoputkisto kannattaa sijoittaa mahdollisuuksien mukaan tilavaan paikkaan ja välttää putkien asennuksia sähkötekniisten järjestelmien yläpuolelle, koska mahdolliset putkivuodot voivat

aiheuttaa ongelmia. Sijoittelulla on myös suuri merkitys kannakoinnin ja muun talotekniikan kanssa tapahtuvien risteämien kannalta. [7, s. 340.]

Ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytysverkostojen mitoittamiseen vaikuttaa tehon ja virtaaman lisäksi myös korkeuserot. Suurissa elintarvikeliikkeissä putkistot ovat pitkiä, ja niissä on pystysuuntaisia korkeuseroja. Tällöin kiertovesipumpun tuottaman paineen ja virtaaman tulee olla riittävä siihen, että putkistossa olevien lämmitys- ja jäähdytyspattereiden teho on riittävä. Mitoitusta ja verkoston tasapainotusta tehdessä jäähdytysverkoston keskimääräisenä painehäviönä voidaan käyttää 50–200 Pa/m ja vedenvirtausnopeutena 1,5–3,0 m/s. [7, s. 332.]

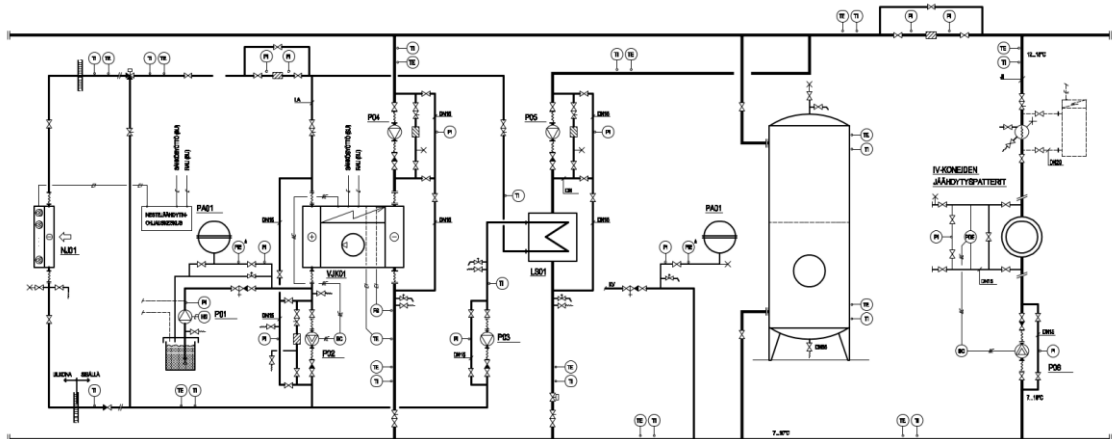
3.10 RAU-ohjausjärjestelmä

Rakennusautomaation rooli nykyajan talotekniikan järjestelmissä on merkittävä. Tässä tapauksessa ilmanvaihdon kuivausjäähdytyksen kannalta rakennusautomaatio ohjaa järjestelmien toimintaa ja mahdollisissa häiriötilanteissa pysäyttää laitteet.

Vedenjäähdytyskoneen ohjaukset suunnitellaan usein niin, että rakennusautomaation alakeskukselta tulee vedenjäähdytyskoneelle lupa käynnistyä silloin, kun ulkolämpötila ylittää asetetun käynnistymisrajan. Vedenjäähdytyskoneen pumput käynnistyvät, ja samalla kone saa käyntiluvan. Koneen lauhduttimen mitoitusvirtaaman arvo määrittää pumppujen taajuusmuuttujien pyörimisnopeuden. Automaation avulla ohjataan myös vedenjäähdytyskoneen kompressoreiden tehoportaita. Tällöin siis höyrytimen meno- ja paluuveden lämpötila ei ylity vaan pysyy asetusarvossa. Lämpötilasäädön lisäksi automaatioon on kytketty laitteiden paine-eromittaukset, taajuussäädöt ja energiamittaukset. Rakennusautomaatiota voidaan siis hyödyntää myös moneen muuhun toimintoon, mikäli niin halutaan. [7, s. 317–318.]

Kuvassa 22 on esitetty elintarvikemyymälän vedenjäähdytysjärjestelmän kytkentäkaavio. Kytkentäkaaviossa on vasemmalla oleva nestejäähdytin jäähdyttää vedenjäähdyttimeltä tulevaa vettä tai vesiseosta kylmäaineen avulla.

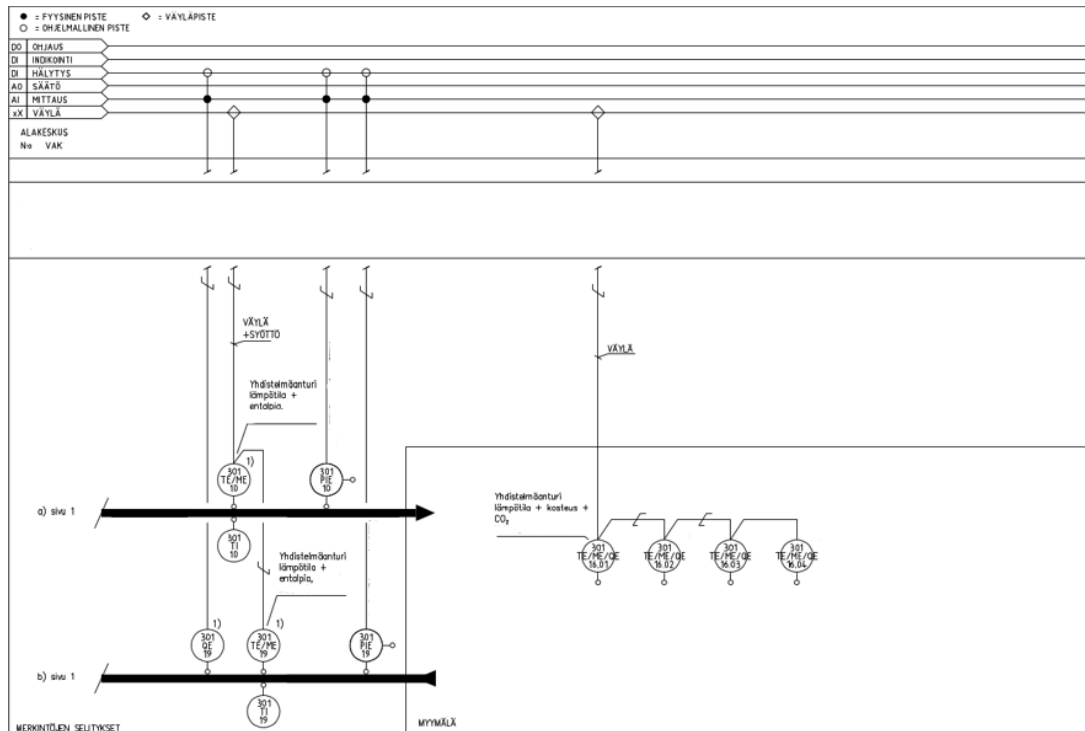
Nestejäähdyttimeltä jäähdytetty vesi menee vedenjäähdytyskoneelle. Vedenjäähdytyskoneelta kylmävesi menee putkia pitkin esimerkiksi ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterille.



Kuva 22. Vedenjäähdytysjärjestelmän kytkentä- ja säätökaavio.

Rakennusautomaatio ohjaa myös elintarvikemyymälän ilmanvaihtokoneita. Kesäaikaan ilmanvaihtokoneen kuivatus käynnistyy automaattisesti, jos huoneilman absoluuttinen kosteus nousee asetetun rajan yli, esimerkiksi 9 g/kg*i*. Kuivaaminen jatkuu sen aikaa, kunnes kosteus laskee takaisin asetetun ylärajan alapuolelle. Tämän jälkeen automaatio pysäyttää kuivatuksen. [23, s. 5.]

Kuvissa 23 ja 24 on esitetty elintarvikemyymälän myymäläosuutta palvelevan ilmanvaihtokoneen automaatiokytkennät ja ohjaukset.



Kuva 24. Elintarvikemyymälän ilmanvaihtokoneen kytkentäkaavio osa 2 [24].

Kuvassa 24 on esitetty ilmanvaihtokoneen kanaviston loppupään ja myymälän automaation anturit. Ilmanvaihtokanavissa on lämpötilan ja entalpiamittausanturit, jotka mittaavat ja ohjaavat myymälään menevän ja myymälästä poistettavan ilmavirran lämpötilaa, kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta. [23, s. 5]

4 Investointi- ja elinkaarikustannukset

Elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmän hankintaa suunniteltaessa tehdään tilaajalle investointi- ja elinkaarikustannuslaskelmat, joiden perusteella tilaajan on helpompi käsittää järjestelmävaihtoehtojen erot ja yhteneväisyydet. Käytännössä nämä laskelmat ohjaavat tilaajaa päätöksen teossa. Suunniteltaessa elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmää suunnittelijan on perehdyttävä sisäolosuhde-, kulutus- ja kustannusvaikutuksiltaan olennaisiin taloteknisiin järjestelmiin, kuten lämmöntalteenottoon, tilakohtaiseen jäähdytykseen ja sisälämpötilojen tarkoituksenmukaisuuteen. Näin suunnittelija saa käsityksen siitä, mitkä asiat vaikuttavat olennaisesti järjestelmän suunnitteluun ja toteutukseen.

Elinkaarikustannuslaskentaa tehdessä olennaista on laitteiden ja järjestelmien käyttöikä, joihin vaikuttavat elintarvikemyymälän olosuhteet, laitteiden käyttö ja kunnossapitotoimenpiteet. Käyttöiän määrittely on olennaisen tärkeää huolto- ja kunnossapitokustannustoimenpiteiden ja järjestelmän jäännösarvon ohella. Käyttöikää arvioitaessa tulee olla hyvä tuntemus laitteiden ja järjestelmien ominaisuuksista sekä materiaalien ja tuotteiden ikääntymiseen vaikuttavista tekijöistä. Kuvan 25 taulukossa on esitetty investointi- ja elinkaarikustannusten laatijan tarvitsemat tiedot. [25, s. 14; 25.]

	Käyttäjä	Osapuolet				
		Laitevalmistaja	Suunnittelija	Urakoitsija	Huolto-yhtiö	Tilaja
Laitevalinta	määrittää	määrittää	määrittää/tarvitsee	määrittää/tarvitsee	tarvitsee	tarvitsee
	tilavaatimus	laitteen hinta	laitevalinta	urakkahinta	huollontarve	investointikustannus
Laitteen käyttöikä		määrittää	tarvitsee	tarvitsee	tarvitsee	tarvitsee
		laitteen käyttöikä	laitevalinta	urakka- ja käyttökustannus	huollontarve	investointi- ja käyttökustannukset
Laitteen käyttöaika	määrittää		tarvitsee	tarvitsee	tarvitsee	tarvitsee
	tilavaatimus		laitevalinta	käyttökustannus	huollontarve	käyttökustannus
Energiankulutus	määrittää	määrittää		tarvitsee		tarvitsee
	käyttöikä	laitteen kulutus		käyttökustannus		käyttökustannus
Hoitokustannus	määrittää	määrittää		tarvitsee	määrittää	tarvitsee
		huoltoväli		käyttökustannus	huoltokustannus	käyttökustannus
Kunnossapitoaika	määrittää	määrittää		tarvitsee	määrittää	tarvitsee
	laatuvaatimus	laitteen laatu		käyttökustannus	kunnossapitokustannus	käyttökustannus

Kuva 25. Investointi- ja elinkaarikustannuksiin vaikuttavat asiat [25, s. 33].

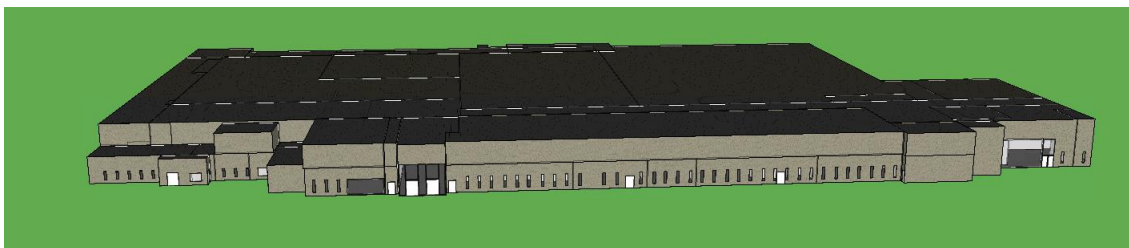
Laitteisiin ja järjestelmiin liittyvien investointi- ja elinkaarikustannusten ohella tarvitaan tietoja rakennuksen energiankulutuksesta sekä hoito- ja kunnossapitokustannuksista. Taulukossa olevien tietojen lisäksi laskennan olennaisia lähtötietoja ovat myös laskentakorko, laskentajakson pituus ja jäännösarvo.

Tässä opinnäytetyössä investointi- ja elinkaarikustannusten korkona käytettiin 3 %, pitoaikana 50 vuotta ja jäännösarvona 50 000 €. Lisäksi elinkaarilaskennassa oletettiin kertaluonteisten korjauskustannusten olevan samat kaikilla eri järjestelmäkokonaisuuksilla.

5 Tutkimuskohde

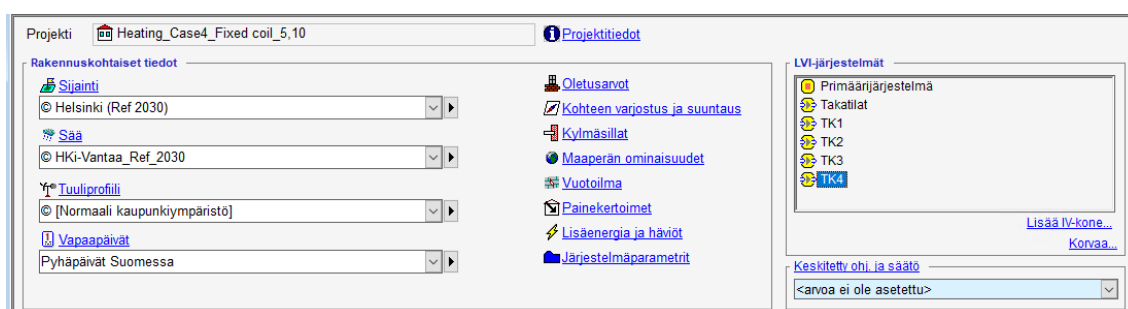
Elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmän mitoitustutkimus tehtiin IDA ICE -ohjelmistolla simuloimalla erilaisia kuivausjäähdytyksen järjestelmäkokonaisuuksia. Kuvassa 26 on esitetty simuloitava elintarvikemyymälärakennuksen

IDA ICE -malli. Opinnäytetyössä ei ole simuloitu muita kuin myymälän alueita, joita palvelevat ilmanvaihtokoneet TK1, TK2 ja TK3 ja TK4.



Kuva 26. Elintarvikemyymälän IDA ICE -malli.

IDA ICE -simulointimallin luomisen jälkeen tehtiin normaalit energiasimulointeihin liittyvät aloitustoimenpiteet, joita ei tässä opinnäytetyössä erikseen käsitellä. IDA ICE -ohjelmistossa paikkakunnaksi valittiin Helsinki ja mitoitus säädätkäsi Helsingin tulevaisuuden ilmastoa vastaava testivuosi (TRY 2030). Edellä mainitut valinnat on esitetty kuvassa 27. Opinnäytetyössä hyödynnettiin tulevaisuuden ilmaston testivuoden dataa, koska nykypäivänä ulkoilman suhteellinen kosteus on suurempaa kuin aiempina vuosikymmeninä. Tuuliprofiilina käytettiin normaalia kaupunkiympäristöä ja vapaapäivien dataksi valittiin Suomen pyhäpäivät, jolloin datassa näkyy pyhäpäivien vaikutus lämpökuormiin. Lähtöarvoiksi ohjelmistoon asetettiin seuraavat ilmanvaihtokoneiden ilmavirrat: TK1 = 6,4 m³/s, TK2 = 3 m³/s, TK3 = 2,6 m³/s ja TK4 = 0,57 m³/s. Simulointien lämpötilapareina käytettiin 5/10 °C, 2/12 °C ja 7/17 °C.



Kuva 27. IDA ICE -mallin yleislomakkeen valinnat.

Kun kaikki aloitustoimenpiteet on tehty, voidaan ilmanvaihtokoneet ja primääri-järjestelmä käydä läpi niin että asetukset ovat kohdallaan. Oletus ilmanvaihtokoneet korvataan yksityiskohtaisemmilla ilmanvaihtokoneilla, joissa on erillinen

säädin suhteellisen kosteuden arvon nousun rajoittamiseksi 9 g/kg_{k.i.} Primäärijärjestelmässä vedenjäähdytyskoneelle ja sen pumppaukselle luodaan oma energiamittari, jotta simuloinneista voidaan seurata vedenjäähdytyskoneen ja apulaitteiden pumppauksen energiankulutusta.

5.1 Suuri elintarvikemyymälä

5.1.1 Tapaus 1: Suunnitteluohjeenmukainen ratkaisu

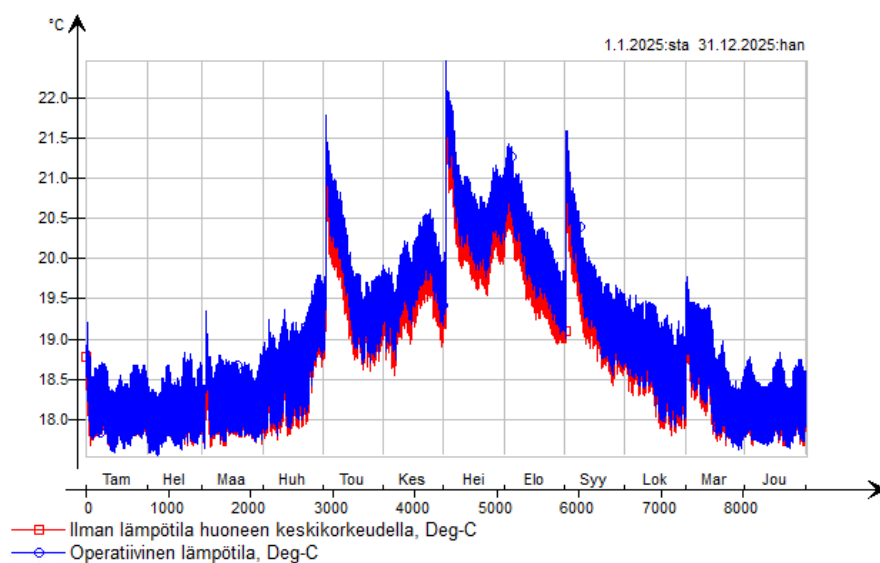
Ensimmäisenä laskentatapauksena käsitellään erään kaupan alan organisaation suunnitteluohjeenmukainen, eli 5/10 °C:een verkostolämpötiloilla mitoitettu elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmän ratkaisu. Tässä tapauksessa IDA ICE-ohjelmistoon asetettiin IV-koneen menolämpötilan asetusarvoksi 5 °C ja paluuveden asetusarvoksi 10 °C.

Kuvan 28 taulukosta voidaan nähdä, että tässä laskentatapauksessa vedenjäähdytyskone ja sen apulaitteet kuluttivat vuoden aikana sähköenergiaa yhteensä 141 172 kWh. Vedenjäähdytyskoneen osuus sähköenergian kulutuksesta oli 139 754 kWh ja apulaitteiden osuus 1 418 kWh. Rakennuksen kaukolämpönlö kulutus oli 530 981 kWh/a ja sähkönkulutus 1 318 340 kWh/a.

Kuukausi	Kiinteistö sähkö							Kiinteistö kaukolämpö			
	Valaistus, kiinteistö		Jäähdytys		LVI sähkö		pumppaus	Lämmitys, kaukolämpö		LKV, kaukolämpö	
	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)		(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)
1	67359.0	80830.8	0.0	0.0	44161.0	52993.2	25.3	96081.0	48040.5	0.0	0.0
2	60830.0	72996.0	0.0	0.0	39929.0	47914.8	29.3	97711.0	48855.5	0.0	0.0
3	67346.0	80815.2	2.4	2.8	43617.0	52340.4	16.7	74567.0	37283.5	0.0	0.0
4	65190.0	78228.0	1375.0	1650.0	39251.0	47101.2	13.7	22649.0	11324.5	0.0	0.0
5	67352.0	80822.4	10813.5	12976.2	39099.0	46918.8	94.9	2149.8	1074.9	0.0	0.0
6	65160.0	78192.0	24023.0	28827.6	37837.0	45404.4	225.2	15091.0	7545.5	0.0	0.0
7	67324.0	80788.8	42132.0	50558.4	39099.0	46918.8	398.5	24729.0	12364.5	0.0	0.0
8	67314.0	80776.8	41714.0	50056.8	39099.0	46918.8	396.6	28372.0	14186.0	0.0	0.0
9	65204.2	78245.0	13810.1	16572.1	37837.2	45404.6	129.1	10309.2	5154.6	0.0	0.0
10	67347.0	80816.4	5043.0	6051.6	39975.0	47490.0	47.5	18747.0	9373.5	0.0	0.0
11	65183.0	78219.6	841.0	1009.2	39979.9	47975.8	20.2	55394.6	27697.3	0.0	0.0
12	67366.0	80839.2	0.0	0.0	43870.0	52644.0	21.1	85180.0	42590.0	0.0	0.0
Yhteensä	792975.2	951570.2	139753.9	167704.7	483354.1	580024.9	1418.0	530980.7	265490.3	0.0	0.0

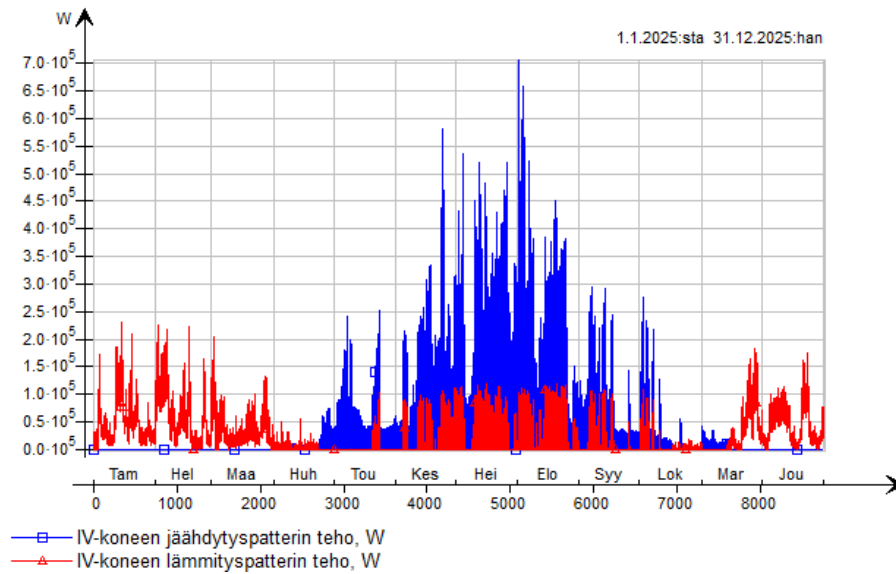
Kuva 28. Suunnitteluohjeenmukaisen ratkaisun kuukausittaiset ostoenergiankulutukset.

Laskentatapauksen tuloksia tarkastellessa huomataan, että elintarvikemyymälän sisäilman lämpötila pysyy suurimman osan vuodesta 18–18,5 °C:een välillä. Kuvassa 29 on kuitenkin havaittavissa, että kesäaikaan myymälän lämpötila nousee muutaman asteen ja kesän lämpimimpinä päivinä tulee lämpötilahuiput, jolloin lämpötila kohoaa hetkellisesti yli 21 °C. Näiden lämpötilahuippujen aikaan rakennusautomaatio ja talotekniikka ovat erityisen tärkeässä asemassa elintarvikemyymälän sisäolosuhteiden palauttamiseksi takaisin halutulla tasolla.



Kuva 29. Elintarvikemyymälän tunnin aika-askeleella lasketut sisäilman lämpötila eri kuukausina.

Kuvasta 30 voidaan huomata ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspattereiden tehontarpeen olevan korkeimmillaan huhti-syyskuussa. Tuohon aikaan vuodesta myös ulkolämpötilat ovat korkeimmillaan. Tähän samaan aikaan myös ulkoilman kosteus on suurimmillaan ja ilmanvaihtokoneet tekevät enemmän tuloilman kuivausta pitääkseen elintarvikemyymälä sisäolosuhteet halutulla tasolla.



Kuva 30. Ilmanvaihtokoneiden tunnin aika-askeleella lasketut jäähdytys- ja lämmityspattereiden tehontarpeet.

Lasketatapausten investointikustannukset koostuvat taulukossa 12 esitetyistä komponenteista. Eri komponenttien kustannukset ja niiden lasketatapa on esitelty seuraavissa kappaleissa.

Lämmitys- ja jäähdytyspattereiden investointikustannuksia varten laitetoimittajalta pyydettiin laitemitoitukset ja kustannustiedot. Laitemitoituksia varten laitetoimittajalle ilmoitettiin ilmanvaihtokoneiden ilmavirrat, patterin maksimitat, tavoiteolosuhteet ja verkostolämpötila. Huomioitavaa laskennassa on se, että TK4 on niin sanottu pakettikone, eli siihen ei tule pattereita erillisinä komponentteina. Laitetoimittajan toimittamien dokumenttien perusteella ilmanvaihtokoneen pattereiden investointikustannuksiksi saatiin 36 476 €, kun verkostolämpötilat olivat 5/10 °C. Ilmanvaihtokoneiden pattereiden investointikustannukset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Lämmitys ja jäähdytyspattereiden investointikustannukset.

Ilmanvaihtokoneen tunnus	TK1	TK2	TK3
Ilmavirta (m ³ /s)	6,4	3	2,6
Jäähdytyspatterin kustannus, €/kpl	10 376	7 950	7 950
Lämmityspatterin kustannus, €/kpl	3400	3400	3400

Jäähdytysputkiston investointikustannukset saatiin elintarvikemyymälän Revit-suunnitteluohjelman tietomallia hyödyntäen. Tietomallista saatiin listaus putkiston eri komponenteista, kokotiedot, putkipituudet ja eristeiden määrä. Edellä mainittujen ja yksikköhintaluettelon avulla laskettiin kustannukset jäähdytysputkiston kustannukset. Jäähdytysputkiston investointikustannuksiksi saatiin 167 245 €. Laskennassa käytetty yksikköhintaluettelo on liitteessä 2.

Ilmanvaihdon lämmitysputkiston investointikustannuksen osuus laskettiin lähes samaan tapaan kuin jäähdytysputkiston investointikustannus. Erona jäähdytysputkiston laskentaan oli se, että laskennasta jätettiin pois oviverhokojoiden, kierätysilmakojoiden ja rakennuksen myymäläosaan kuulumattomien ilmanvaihtokojoiden ja niiden kytkentäputkistojen osuus. Myymäläalueen rungon ja ilmanvaihtokoneiden ilmanvaihdon lämmitysputkiston investointikustannuksiksi saatiin 59 000 €.

Nestejäähdyttimen ja vedenjäähdytyskoneen investointikustannuksiksi arvioitiin yhteensä 160 000 €. Ilmanvaihtokoneita myymäläosuuden palvelualueella oli yhteensä neljä kappaletta, joiden yksikköhinta oli 60 000 €, eli kokonaisinvestointi koneiden osalta oli 240 000 €.

Myymäläalueen ilmanvaihtokanavien, kanavavarusteiden ja päätelaitteiden investointikustannus saatiin Revit-ohjelman tietomallia hyödyntäen. Tietomallista saatiin listaus kanaviston eri komponenteista, kokotiedot, kanavapituudet ja eristeiden määrä. Edellä mainittujen ja liitteen 2 yksikköhintaluettelon avulla laskettiin kustannukset kanavistolla. Ilmanvaihtokanaviston investointikustannuksiksi saatiin 235 530 €. Tämän järjestelmäratkaisun kokonaisinvestointikustannuksiksi saatiin 898 251 €. Investointikustannukset on esitetty kuvan 31 taulukossa.

Investoinnit, Suunnitteluohjeenmukainen mitoitusratkaisu, 5/10 °C	Yksikköhinta, €	Kappalemäärä, kpl	Kustannus, €
Nestejäähdytin	80000	1	80000
Vedenjäähdytyskone	80000	1	80000
Putkistot, IV-lämmitys (sisältyy venttiilit, eristeet jne.)			59000
Putkistot, jäähdytys (sisältää venttiilit, eristeet jne.)			167245
IV-koneet (TK1, TK2, TK3, TK4)	60000	4	240000
Ilmanvaihtokoneen lämmityspatterit (TK1,TK2,TK3)	3400	3	10200
Ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterit (TK1,TK2,TK3)	8759	3	26276
IV-kanavat (sisältää päätelaitteet, pellit, eristeet jne.)			235530
Yhteensä			898251

Kuva 31. Suunnitteluohjeenmukaisen ratkaisun kokonaisinvestointikustannukset.

5.1.2 Tapaus 2: Toteutettu ratkaisu

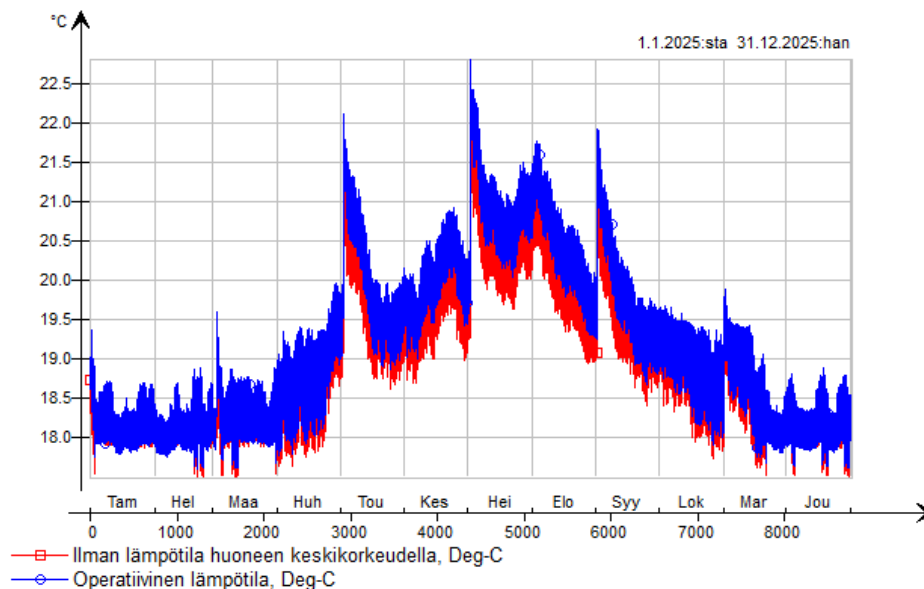
Toisena laskentatapauksena käsitellään toteutettu, eli 2/12 °C:een verkostolämpötiloilla mitoitettu, elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmän ratkaisu. Tässä tapauksessa IDA ICE-ohjelmistoon asetettiin IV-koneen menolämpötilan asetusarvoksi 2 °C ja paluuveden asetusarvoksi 12 °C.

Kuvan 32 taulukosta voidaan nähdä, että tässä laskentatapauksessa vedenjäähdytyskone ja sen apulaitteet kuluttivat vuoden aikana sähköenergiaa yhteensä 130 309 kWh. Vedenjäähdytyskoneen osuus sähköenergian kulutuksesta oli 129 443 kWh ja apulaitteiden osuus 866 kWh. Rakennuksen kaukolämmönkulutus oli 521 870 kWh/a ja sähkönkulutus 1 307 429 kWh/a.

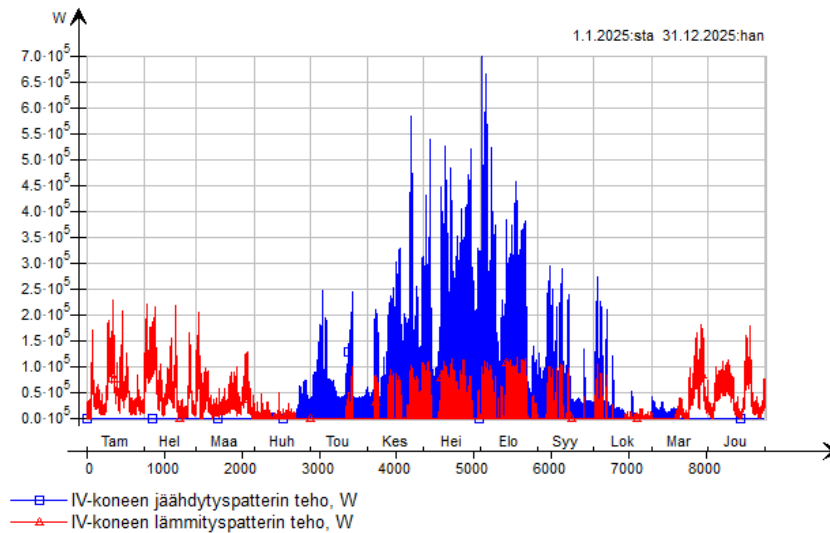
Kuukausi	Kiinteistö sähkö							Kiinteistö kaukolämpö			
	Valaistus, kiinteistö		Jäähdytys		LVI sähkö		pumppaus	Lämmitys, kaukolämpö		LKV, kaukolämpö	
	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	Kokonaisenergia (kWh)
1	67351.0	80821.2	0.0	0.0	44161.0	52993.2	25.3	96088.0	48044.0	0.0	0.0
2	60818.0	72981.6	0.0	0.0	39928.0	47913.6	29.2	97688.0	48844.0	0.0	0.0
3	67339.0	80806.8	2.3	2.7	43617.0	52340.4	16.7	74625.0	37312.5	0.0	0.0
4	65181.0	78217.2	1292.0	1550.4	39252.0	47102.4	7.8	22693.0	11346.5	0.0	0.0
5	67355.0	80826.0	10078.5	12094.2	39098.0	46917.6	50.0	1838.6	919.3	0.0	0.0
6	65164.0	78196.8	22200.0	26640.0	37837.0	45404.4	126.2	13263.0	6631.5	0.0	0.0
7	67331.0	80797.2	39210.0	47052.0	39099.0	46918.8	242.2	21861.0	10930.5	0.0	0.0
8	67339.0	80806.8	38643.0	46371.6	39099.0	46918.8	239.1	25803.0	12901.5	0.0	0.0
9	65199.6	78239.5	12658.4	15190.1	37837.3	45404.8	67.3	9179.3	4589.6	0.0	0.0
10	67355.0	80826.0	4566.0	5479.2	39527.0	47432.4	24.7	18285.0	9142.5	0.0	0.0
11	65186.0	78223.2	792.6	951.1	39979.9	47975.8	16.5	55390.0	27695.0	0.0	0.0
12	67362.0	80834.4	0.0	0.0	43871.0	52645.2	21.1	85156.0	42578.0	0.0	0.0
Yhteensä	792980.6	951576.7	129442.8	155331.3	483306.2	579967.4	866.2	521869.9	260934.9	0.0	0.0

Kuva 32. Toteutetun ratkaisun kuukausittaiset ostoenergiankulutukset.

Laskentatapauksen tuloksia tarkastellessa huomattiin, että elintarvikemyymälän sisälämpötila ja ilmanvaihtokoneiden patterien tehontarve käyttäytyy samalla tapaa kuin edellisessä laskentatapauksessa. Elintarvikemyymälän sisälämpötila esitetty kuvassa 33 ja ilmanvaihtokoneiden pattereiden tehontarpeet kuvassa 34.



Kuva 33. Elintarvikemyymälän tunnin aika-askeleella lasketut sisäilman lämpötilat eri kuukausina.



Kuva 34. Ilmanvaihtokoneiden tunnin aika-askeleella lasketut jäähdytys- ja lämmityspattereiden tehontarpeet.

Eri komponenttien kustannukset on laskettu samalla laskentatavalla kuin edellisessä laskentatapauksessa. Laitetoimittajan toimittamien dokumenttien perusteella ilmanvaihtokoneen lämmitys- ja jäähdytyspattereiden investointikustannuksiksi saatiin 32 232 €, kun verkostolämpötilat olivat 2/12 °C. Ilmanvaihtokoneiden pattereiden investointikustannukset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Lämmitys ja jäähdytyspattereiden investointikustannukset.

Ilmanvaihtokoneen tunnus	TK1	TK2	TK3
Ilmavirta (m ³ /s)	6,4	3	2,6
Jäähdytyspatterin kustannus, €/kpl	10 376	5 828	5 828
Lämmityspatterin kustannus, €/kpl	3400	3400	3400

Jäähdytysputkiston investointikustannuksiksi saatiin 125 637 €. Ilmanvaihdon lämmitysputkiston, nestejäähdyttimen, vedenjäähdytyskoneen, ilmanvaihtokoneiden ja ilmanvaihtokanaviston investointikustannukset olivat samat kuin edellisessä laskentatapauksessa. Näiden komponenttien yhteinen investointikustannus oli 704 730 €. Kuvan 35 taulukossa on esitetty laskentatapauksen kokonaisinvestointikustannukset, jotka olivat 852 399 €.

Investoinnit, Toteutettu ratkaisu 2/12 °C	Yksikköhinta, €	Kappalemäärä, kpl	Kustannus, €
Nestejäähdytin	80000	1	80000
Vedenjäähdytyskone	80000	1	80000
Putkistot, IV-lämmitys (sisältyy venttiilit, eristeet jne.)			59000
Putkistot, jäähdytys (sisältää venttiilit, eristeet jne.)			125637
IV-koneet (TK1, TK2, TK3, TK4)	60000	4	240000
Ilmanvaihtokoneen lämmityspatterit (TK1,TK2,TK3)	3400	3	10200
Ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterit (TK1,TK2,TK3)	7344	3	22032
IV-kanavat (sisältää päätelaitteet, pellit, eristeet jne.)			235530
Yhteensä			852399

Kuva 35. Toteutetun ratkaisun kokonaisinvestointikustannukset.

5.1.3 Tapaus 3: Käyttötarkoitukseen soveltuva ratkaisu

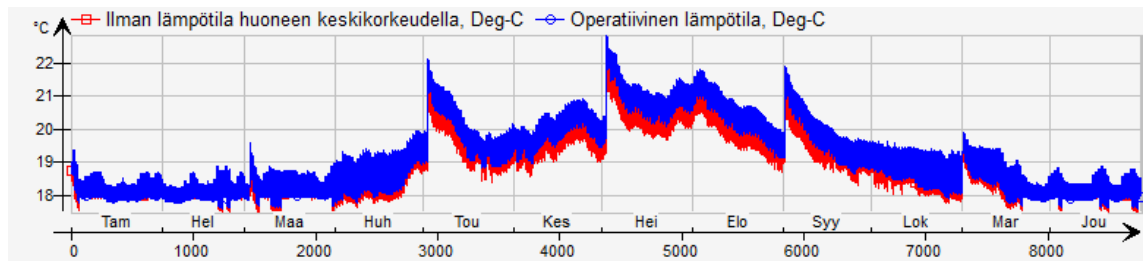
Viimeisessä laskentatapauksena käsitellään käyttötarkoitukseen soveltuva, eli 7/17 °C:een verkostolämpötiloilla mitoitettu, elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmän ratkaisu. Tässä tapauksessa IDA ICE -ohjelmistoon asetettiin IV-koneen menolämpötilan asetusarvoksi 7 °C ja paluuveden asetusarvoksi 17 °C.

Kuvan 36 taulukosta voidaan nähdä, että tässä laskentatapauksessa vedenjäähdytyskone ja sen apulaitteet kuluttivat vuoden aikana sähköenergiaa yhteensä 117 207 kWh. Vedenjäähdytyskoneen osuus sähköenergian kulutuksesta oli 116 380 kWh ja apulaitteiden osuus 827 kWh. Rakennuksen kaukolämmönkulutus oli 540 224 kWh/a ja sähkönkulutus 1 294 426 kWh/a.

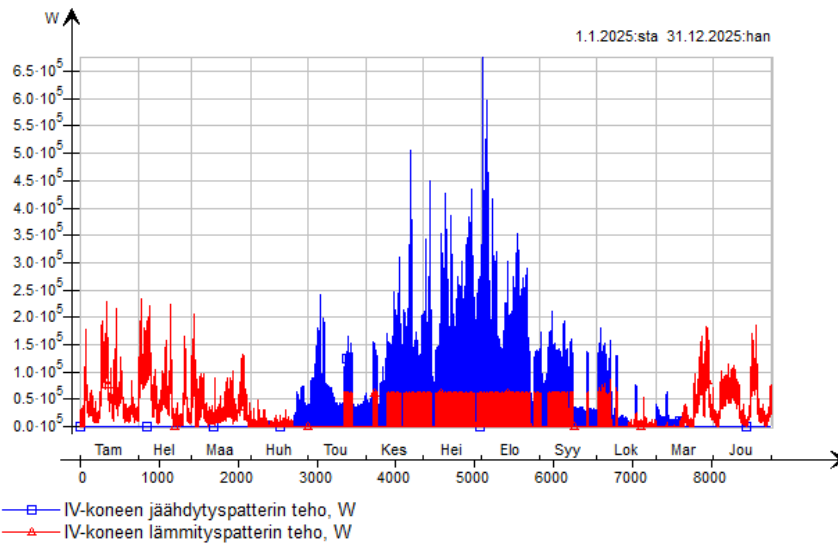
Kuukausi	Kiinteistö sähkö						Kiinteistö kaukolämpö				
	Valaistus, kiinteistö		Jäähdytys		LVI sähkö		pumppaus	Lämmitys, kaukolämpö		LKV, kaukolämpö	
	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)		(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)	(kWh)	Kokonaisenergia (kWh)
1	67337.0	80804.4	0.0	0.0	44161.0	52993.2	25.3	96048.0	48024.0	0.0	0.0
2	60837.0	73004.4	0.0	0.0	39925.0	47910.0	29.2	97625.0	48812.5	0.0	0.0
3	67365.0	80838.0	2.2	2.6	43615.0	52338.0	16.7	74538.0	37269.0	0.0	0.0
4	65185.0	78222.0	1294.0	1552.8	39249.0	47098.8	7.8	22596.0	11298.0	0.0	0.0
5	67344.0	80812.8	10312.6	12375.1	39098.0	46917.6	53.0	3699.8	1849.9	0.0	0.0
6	65175.0	78210.0	20197.0	24236.4	37837.0	45404.4	124.5	18905.0	9452.5	0.0	0.0
7	67344.0	80812.8	33888.0	40665.6	39098.0	46917.6	221.7	25471.0	12735.5	0.0	0.0
8	67327.0	80792.4	33243.0	39891.6	39098.0	46917.6	215.7	27010.0	13505.0	0.0	0.0
9	65199.4	78239.3	11634.3	13961.2	37837.2	45404.6	66.2	12559.1	6279.6	0.0	0.0
10	67367.0	80840.4	5002.0	6002.4	39576.0	47491.2	29.3	21292.0	10646.0	0.0	0.0
11	65189.0	78226.8	807.0	968.4	39977.9	47973.4	16.7	55400.4	27700.2	0.0	0.0
12	67373.0	80847.6	0.0	0.0	43869.0	52642.8	21.1	85080.0	42540.0	0.0	0.0
Yhteensä	793042.4	951650.9	116380.1	139656.1	483341.1	580009.3	827.2	540224.4	270112.2	0.0	0.0

Kuva 36. Käyttötarkoitukseen soveltuvan ratkaisun kuukausittaiset ostoenergi-ankulutukset.

Lasketatapausten tuloksia tarkastellessa huomattiin, että elintarvikemyymälän sisälämpötila käyttäytyy samalla tapaa kuin kahdessa edellisessä lasketatapauksessa. Elintarvikemyymälän sisälämpötila esitetty kuvassa 37. Ilmanvaihtokoneiden tehontarpeita tarkasteltaessa huomattiin että jäähdytyspatterien tehontarve pysyi samanlaisena suhteessa kahteen edelliseen lasketatapaukseen, mutta lämmityspattereiden tehontarve oli tasaisempaa kesäaikana muihin lasketatapauksiin verrattuna. Ilmanvaihtokoneiden pattereiden tehontarpeet kuvassa 38.



Kuva 37. Elintarvikemyymälän tunnin aika-askeleella lasketut sisäilman lämpötilat eri kuukausina.



Kuva 38. Ilmanvaihtokoneiden tunnin aika-askeleella lasketut jäähdytys- ja lämmityspattereiden tehontarpeet.

Eri komponenttien kustannukset on laskettu samalla laskentatavalla kuin edellisissä laskentatapauksissa. Laitetoimittajan toimittamien dokumenttien perusteella ilmanvaihtokoneen lämmitys- ja jäähdytyspattereiden investointikustannuksiksi saatiin 58 330 €, kun verkostolämpötilat olivat 7/17 °C. Ilmanvaihtokoneiden pattereiden investointikustannukset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Lämmitys ja jäähdytyspattereiden investointikustannukset.

Ilmanvaihtokoneen tunnus	TK1	TK2	TK3
Ilmavirta (m ³ /s)	6,4	3	2,6
Jäähdytyspatterin kustannus, €/kpl	16 050	16 050	16 040
Lämmityspatterin kustannus, €/kpl	3400	3400	3400

Jäähdytysputkiston investointikustannuksiksi saatiin 125 637 €. Ilmanvaihdon lämmitysputkiston, nestejäähdyttimen, vedenjäähdytyskoneen, ilmanvaihtokoneiden ja ilmanvaihtokanaviston investointikustannukset olivat samat kuin edellisessä laskentatapauksessa. Näiden komponenttien yhteinen investointikustannus oli 704 730 €. Kuvan 39 taulukossa on esitetty laskentatapauksen kokonaisinvestointikustannukset, jotka ovat 878 497 €.

Investoinnit, Käyttötarkoitukseen soveltuva ratkaisu 7/17 °C	Yksikköhinta, €	Kappalemäärä, kpl	Kustannus, €
Nestejäähdytin	80000	1	80000
Vedenjäähdytyskone	80000	1	80000
Putkistot, IV-lämmitys (sisältyy venttiilit, eristeet jne.)			59000
Putkistot, jäähdytys (sisältyy venttiilit, eristeet jne.)			125637
IV-koneet (TK1, TK2, TK3, TK4)	60000	4	240000
Ilmanvaihtokoneen lämmityspatterit (TK1,TK2,TK3)	3400	3	10200
Ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterit (TK1,TK2,TK3)	16043	3	48130
IV-kanavat (sisältää päätelaitteet, pellit, eristeet jne.)			235530
Yhteensä			878497

Kuva 39. Käyttötarkoitukseen soveltuvan ratkaisun kokonaisinvestointikustannukset.

6 Taloudellinen analyysi: mitoitusratkaisujen vaikutukset investointi- ja elinkaarikustannuksiin

6.1 Investointikustannukset

Investointikustannuksissa selvitettiin kolme erilaista laskentatapausta, joissa muutettiin jäähdytysverkoston lämpötilaa. Eri vaihtoehtoina olivat 5/10 °C:een, 2/12 °C:een ja 7/17 °C:een verkostolämpötilat. Investointikustannusten perusteella voidaan todeta, että valtavia kustannuseroja ei näiden laskentatapauksen väliltä löydy. Kuitenkin kustannuksiltaan edullisin vaihtoehto oli toinen laskentatapausta, eli verkostolämpötiloilla 2/12 °C mitoitettu järjestelmäkokonaisuus. Tämän järjestelmäkokonaisuuden investointikustannukseksi saatiin 852 399 €. Halvimman ja kalleimman järjestelmäkokonaisuuden välillä oli eroa 45 852 €. Kaikkien laskentatapauksen investointikustannukset esitetty kuvan 40 taulukossa.

Laskentatapaus:	Kustannus, €
Suunnitteluohjeenmukainen mitoitus, 5/10 °C	898251
Toteutettu ratkaisu, 2/12 °C	852399
Käyttötarkoitukseen soveltuvaratkaisu, 7/17 °C	878497

Kuva 40. Eri laskentatapausten kokonaisinvestointikustannukset.

Investointikustannuksien suurimmat erot olivat jäähdytysputkiston ja ilmanvaihtokoneiden pattereiden kustannuksissa. Jäähdytysputkiston putkikoot vaikuttivat melko paljon investointikustannuksiin, koska putkimetrejä suuressa elintarvikemyymälässä kertyy paljon. Kyseisessä simuloitavassa elintarvikemyymälässä ilmanvaihtokonehuoneet sijaitsivat kahdessa eri kerroksessa. Kaksi ilmanvaihtokoneista on 2. kerroksen ilmanvaihtokonehuoneissa ja kaksi vesikatolla sijaitsevissa ilmanvaihtokonehuoneissa. Jäähdytysputkiston investointikustannuksen osuus oli kallein laskentatapauksella 5/10 °C. Tässä laskentatapauksessa putkikoot olivat putkiston paineiden vuoksi paikoittain huomattavasti suurempia kuin kahdessa muussa laskentatapauksessa. Kuvan 41 taulukossa on esitetty jäähdytysputkiston investointikustannukset eri laskentatapauksissa.

Laskentatapaus:	
Suunnitteluohjeenmukainen mitoitus, 5/10 °C	167245
Toteutettu ratkaisu, 2/12 °C	125637
Käyttötarkoitukseen soveltuvaratkaisu, 7/17 °C	125637

Kuva 41. Eri laskentatapausten jäähdytysputkiston investointikustannukset.

Eri laskentatapausten ilmanvaihtopattereiden investointikustannuksia vertailtaessa huomattiin, että laskentatapauksen 7/17 °C patterit olivat selkeästi kalliimpi investointi kuin kahden muun laskentatapauksen. Syynä kalliimmalle kustannukselle voidaan pitää sitä että, pattereiden putkirivien määrä tuplaantuu laskentatapauksessa 7/17 °C. Tällöin patterin tilavuus kasvaa ja hinta nousee. Kahdessa muussa laskentatapauksessa patterit ovat samankokoisia ja pattereiden putkirivien määrä on sama. Kuvan 42 taulukossa on esitetty eri laskentatapausten ilmanvaihtokoneiden pattereiden investointikustannukset.

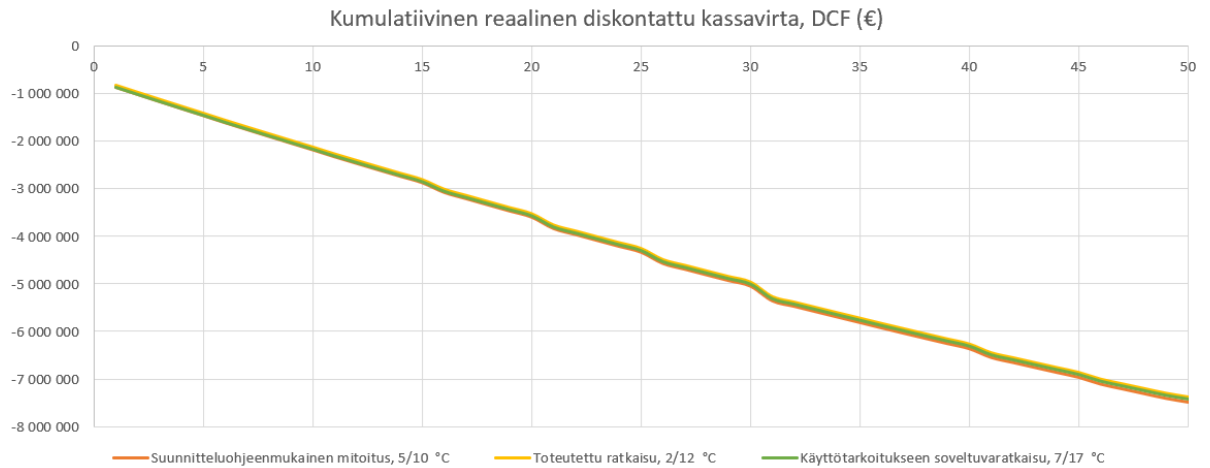
Laskentatapaus:	Kustannus, €
Suunnitteluohjeenmukainen mitoitus, 5/10 °C	36476
Toteutettu ratkaisu, 2/12 °C	32232
Käyttötarkoitukseen soveltuvaratkaisu, 7/17 °C	58330

Kuva 42. Eri laskentatapausten ilmanvaihtokoneiden pattereiden investointikustannukset.

6.2 Elinkaarikustannukset

Elinkaarikustannuslaskentaan hyödynnettiin Granlund Managerin PTS-tyyppitoimenpideaikataulua ja kustannusarvioita. Suuren elintarvikemyymälän elinkaareksi arvioitiin 50 vuotta ja oletuksena pidettiin, että kaikki tekniikka on asennettu vuonna 2024. Rakennuksen elinkaareksi saadaan siis vuodet 2024–2073. Elinkaarilaskennassa ei otettu huomioon viimeisen elinkaaren vuoden aikaisia tai jälkeisiä uusintoja. Elinkaaren loppupäässä on jo aloitettu rakennuksen omistajan puolesta keskustelut mahdollisesta rakennuksen purkamisesta, tai muusta suuremmasta saneerauksesta. Tällöin omistaja ei halua käyttää rahaa uusintoihin. Elintarvikemyymälän elinkaarikustannuksien laskenta on esitetty liitteessä 3. Eri tapauksissa hyödynnettiin samoja uusintoja ja huoltotoimenpiteitä eli elinkaarikustannuksia.

Vertailtaessa eri laskentatapauksia investointi- ja elinkaarikustannuksien nykyarvon ja kumulatiivisen diskontatun kassavirran perusteella pitkällä aikavälillä kannattavin mitoitus tapausta on toteutettu ratkaisu. Tässä laskentatapauksessa hyödynnettiin verkostolämpötilaparia 2/12 °C. Tämän ratkaisun nykyarvo elinkaaren päässä on -6 245 680 €. Toiseksi paras vaihtoehto oli käyttötarkoitukseen soveltuvaratkaisu, jossa hyödynnettiin verkostolämpötilaparia 7/17 °C. Tuloksia tarkastellessa voi kuitenkin huomata, että kaikki vaihtoehdot ovat nykyarvoltaan lähellä toisiaan, eli merkittäviä eroja ratkaisujen välillä ei ole. Kuvan 43 taulukossa on esitetty eri ratkaisujen kumulatiiviset reaaliset diskontatut kassavirrat ja kuvan 44 taulukossa on esitetty eri laskentatapausten nykyarvot.



Kuva 43. Eri laskentatapausten kumulatiiviset reaaliset diskontatut kassavirrat.

Kuvan 44 taulukon avulla voidaan myös huomata eri ratkaisujen olevan lähellä toisiaan, eli suuria eroja ratkaisujen välillä ei löydy. Eroavaisuudet eri ratkaisujen välillä johtuvat investointi-, lämmitys- ja sähkönkulutuksen kustannuseroista.

Investointi- ja elinkaarikustannukset, Suuri elintarvimyymälä				
	Suunnitteluohjeen mukainen mitoitus, 5/10 °C	Toteutettu ratkaisu, 2/12 °C	Käyttötarkoitukseen soveltuvaratkaisu, 7/17 °C	
I	898 251	852 399	878 497	€
U	-1 055 540	-1 055 540	-1 055 540	€
Q _{lämpö}	530 981	521 870	540 224	kWh/a
W _{sähkö}	1 318 340	1 307 429	1 294 426	kWh/a
H _{lämpö}	8	8	8	snt/kWh
H _{sähkö}	8	8	8	snt/kWh
K _{lämpö}	42 478	41 750	43 218	€/a
K _{sähkö}	105 467	104 594	103 554	€/a
ΣK _{energia}	147 946	146 344	146 772	€/a
K _{huolto}	5 000	5 000	5 000	€/a
J	50 000	50 000	50 000	€
i	4,9 %	4,9 %	4,9 %	
f	3 %	3 %	3 %	
f _e	4 %	4 %	4 %	
n	50	50	50	a
n _U	25	25	25	a
r=(i-f)/(1+f)	2 %	2 %	2 %	
r _e =(i-f _e)/(1+f _e)	1 %	1 %	1 %	
e _r =(f _e -f)/(1+f)	1 %	1 %	1 %	
a _{yI}	0,401	0,401	0,401	
a _{yU}	0,633	0,633	0,633	
a _{n,r}	32,475	32,475	32,475	
a _{n,re}	40,448	40,448	40,448	
NA	-6 356 320	-6 245 680	-6 289 093	€

Kuva 44. Eri laskentatapausten nykyarvot.

7 Asiantuntijoiden haastattelu

Asiantuntijoiden haastattelulla pyrittiin selvittämään neljään pääteemaan liittyviä asioita. Haastattelun teemoina olivat projektit ja kohteet, joiden parissa asiantuntijat olivat työskennelleet liittyen kuivausjäähdytysjärjestelmiin, tärkeimmät kuivausjäähdytysjärjestelmän tekijät, kuivausjäähdytysjärjestelmien parissa kohdatut haasteet, ja onko asiantuntijoiden mielestä nykyinen yleinen ohjeistus sekä heidän organisaationsa suunnitteluohjeistus tarpeeksi kattava. Asiantuntijahaastattelun kysymykset löytyvät liitteestä 1. Ensimmäiseen haastatteluun osallistuivat haastateltavat A ja B, ja toiseen haastatteluun osallistuvat haastateltavat C, D ja E. Haastateltavat henkilöt edustivat eri organisaatioita, ja he ovat toimineet hankkeissa tilaajan edustajina.

7.1 Projektit ja kohteet, joiden parissa asiantuntijat ovat työskennelleet

Haastattelun ensimmäisenä teemana oli haastateltavien kohteet, joiden parissa he ovat työskennelleet. Lisäksi selvitettiin esimerkkikohdetta, jonka kuivausjäähdytysjärjestelmän toteutus on onnistunut erityisen hyvin. Järjestelmän toiminnan lisäksi huomioon otettiin myös investointi- ja elinkaarikustannukset.

Ensimmäisessä haastattelussa haastateltava A ja haastateltava B kertovat heidän organisaationsa kohteista, joiden parissa he tekevät töitä. Kohteisiin kuuluu erikokoisia elintarvikemyymälöitä, mutta pääosa kohteista on pieniä. Osassa elintarvikemyymälöistä on kuivausjäähdytysjärjestelmä ja osassa ei. He mainitsivat, että aiemmin rakennetuissa kohteista on kuivausjäähdytysjärjestelmät, mutta uudempiin kohteisiin järjestelmää ei ole suunniteltu. Kuivausjäähdytysjärjestelmän pois jättämisen syynä on se, että elintarvikemyymälöiden maantieteellisellä korkeudella ei ole vuoden aikana kuin muutama päivä, jolloin kuivausjäähdytysjärjestelmä käynnistää ilman kuivauksen. Kuivausjäähdytysjärjestelmä on kuitenkin merkittävä investointi, ja se vaikuttaa myös olennaisesti kohteen elinkaarikustannuksiin. Tällaisissa kohteissa, joissa kuivausjäähdytysjärjestelmää ei ole, sisäilman olosuhteita hallitaan sisäilman kierrätyksellä. Huomion

arvoista haastattelun tuloksia tarkastellessa on se, että ilmankuivausta tarvitsevien päivien lukumäärä vaihtelee elintarvikemyymälän pinta-alan mukaan.

Haastattelussa keskusteltiin lähivuonna toteutuksessa olleesta pienistä elintarvikemyymälästä, jonka projektissa haastateltavat A ja B olivat mukana. He ovat sitä mieltä, että kohde on erityisen hyvin onnistunut. Pieni elintarvikemyymälä toteutettiin maalämpö- ja kuivausjäähdytysjärjestelmällä. Maalämpö on ollut energiatehokasratkaisu lämmitykseen ja kohteen suunnittelussa päätettiin hyödyntää myös maajäähdytystä. Kesäaikaan lämmönlähdettä hyödynnetään vähemmän, joten järjestelmä niin sanotusti lataa energiakaivojaan seuraavaa talvea varten.

Toisessa haastattelussa haastateltava C, haastateltava D ja haastateltava E kertoivat olleensa mukana eri kokoisten elintarvikemyymälöiden saneerauksissa ja uudisrakentamisen kohteissa. Elintarvikemyymälöiden koko vaihteli pinta-alaltaan laajasti, pienistä myymälöistä isoihin hypermarketteihin. Haastateltava C kertoi: ”Teemme ilmanvaihdon kuivatuksen kaikkiin kohteisiin, joissa myymälän kylmäkalusteet vaihdetaan ovellisiin malleihin, koska muuten kalusteiden ovet ovat huurussa 5–6 kk vuodesta. Ilmanvaihdon kuivatus on käytännössä pakollinen ratkaisu”.

Haastateltavat kertoivat panostavansa jokaisen uudiskohteen ja saneerauksen suunnitteluun paljon. Tietyt asiat otetaan huomioon jo hyvissä ajoin rakennushanketta. Tarkkaan laaditut olosuhdesimuloinnit ja laskelmat tuovat paljon luotettavaa tietoa suunnittelun tueksi. He myös kokivat, että kaikki heidän projektinsa ovat hyvin toteutuneita ja täyttävät asetetut tavoitteet. Haastateltavat kertovat, että kohteet ovat osa pilvipalvelua, jonka kautta seurataan sisäilman olosuhteita, energian kulutusta ja pidetään huolta, että kaikki kohteiden järjestelmissä toimii.

Analysoidessa haastattelujen tuloksia voi sanoa, että elintarvikemyymälän koolla ja maantieteellisellä sijainnilla on merkitystä siihen, kuinka paljon ilman kuivausta käytetään vuoden aikana. Molemmissa haastatteluissa korostui

suunnittelijan ammattitaito ja sen merkitys toteutettuun kuivausjäähdytysjärjestelmäkokonaisuuteen. Huonosti suunniteltu kokonaisuus aiheuttaa monesti jälkikäteen suuria kustannuksia korjausten ja muutosten kautta. Erona haastatteluiden välillä nousi kuivausjäähdytysjärjestelmien toteutus. Toinen organisaatio ei ole asentanut viime vuosina kohteisiinsa kuivausjäähdytysjärjestelmää ja toinen asentaa järjestelmän kaikkiin kohteisiinsa elintarvikemyymälän koosta riippumatta.

7.2 Kuivausjäähdytysjärjestelmien tärkeimmät komponentit

Toisena teemana oli kuivausjäähdytysjärjestelmien tärkeimmät komponentit ja tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat kuivausjäähdytysjärjestelmän toimintaan ja elinkarikustannuksiin.

Haastatteluissa pääkomponenteiksi nousivat ilmanvaihtokone ja sen patterit, eli lämmitys- ja jäähdytyspatteri. Toisena oleellisena komponenttina pidettiin vedenjäähdytyskonetta. Haastattelun aikana kuivausjäähdytysjärjestelmän toimintaan ja elinkarikustannuksiin vaikuttavista tekijöistä keskusteltaessa haastateltava C nosti esille kuivatusprosessin oikeanlaisen toiminnan, patterien sijoittelun ilmanvaihtokoneeseen ja automaation halutunlaisen toiminnan. Pattereiden sijoittelulla ilmanvaihtokoneeseen tarkoitettiin kuivatusprosessin kannalta sitä, että ennen lämmityspatteria tulee olla jäähdytyspatteri, eikä toisinpäin. Tuloilma jäähdytetään ja kuivataan ennen sen lämmittämistä haluttuun lämpötilaan. Automaation toiminnasta nousi esille se, että järjestelmän toiminnan tulee olla kunnossa, jotta esimerkiksi samanaikaista tarpeetonta lämmitystä ja jäähdytystä ei tapahdu.

Haastattelusta kiinnostavan teki se, että samaan yllä olevaan kysymykseen haastateltava D lähestyi kysymystä eri näkökulmasta. Hän nosti esille kohteen/rakennuksen, johon kuivausjäähdytysjärjestelmä ollaan rakentamassa. Kohteessa ei suositella olevan paljon lasipintaa, vaan kohteen rakennepuolen tulee olla elintarvikemyymäläksi sopiva. Toiseksi tärkeäksi asiaksi hän nosti järkevät ja käyttötarkoitukseen soveltuvat kylmäkalusteet.

Kaikki edellä mainitut komponentit ja niiden asianmukainen käyttö vaikuttavat kuivausjäähdytysjärjestelmän toimintaan ja elinkaarikustannuksiin. Oikeanlainen käyttö tarkoittaa sitä, että järjestelmää käytetään sen toiminnan kannalta järkevästi, eikä esimerkiksi aina täydellä teholla. Automaation rooli korostuu tässä tapauksessa, koska se pitää huolta järjestelmän tarpeenmukaisesta toiminnasta. Tämä tosin edellyttää, että automaation toimii oikein.

Tässä haastattelun teemassa haastatteluiden vastaukset olivat yhtenevät. Tärkeimmiksi komponenteiksi nimettiin siis ilmanvaihtokone pattereiseen ja vedenjäähdytyskone. Automaation toimintaa ja roolia kuivausjäähdytysjärjestelmän toiminnassa korostettiin.

7.3 Kuivausjäähdytysjärjestelmien haasteet

Kolmantena teemana oli yleisimmät haasteet, joita asiantuntijat olivat kohdanneet kuivausjäähdytysjärjestelmien parissa. Haastattelussa keskusteltiin myös näiden haasteiden ratkaisemisesta.

Molemmissa haastatteluissa ilmeni, että suurin osa haasteista kuivausjäähdytysjärjestelmien parissa tulee siitä, että automaatio ei toimi kokonaisvaltaisesti ja tarkoituksenmukaisesti. Tämä haaste on ratkaistu sillä, että automaatioon ja sen toimintaan panostetaan elintarvikemyymälöissä. Lisäksi elintarvikemyymälöiden olosuhteita ja energiankulutusta seurataan analytiikan avulla, joten häiriöihin voidaan reagoida nopeasti.

Haastateltava C nosti esille myös toisena haasteena olevan ulko-olosuhteet, jotka ovat ylittyneet suuresti viime vuosina. Haastateltava C myös toteaa: ”Tänä vuonna on ollut 80 hellepäivää, kun taas aiemmin normaali lukumäärä on ollut esimerkiksi 7–8 päivää. Lämpimien päivien lisäksi myös ilman kosteus on ollut suurempaa kuin aiemmin.” Toinen haaste on vaikeampi ratkaista, koska se johtuu ilmastonmuutoksesta, mutta uusien kuivausjäähdytysjärjestelmien mitoituksessa voidaan varautua tulevaisuuteen jonkin verran.

Haasteista keskusteltaessa esille nousi myös asiantuntijoiden yleinen uskomus siitä että, pinta-alaltaan isossa elintarvikemyymälässä ei ole mahdollista pitkällä aikavälillä pitää sisäilman olosuhteita suunniteltuina pelkällä kierrätyksellä.

Tämä johtuu siitä, että nykyisin kaikki kylmäkalusteet on uusittu ovelisiksi malleiksi. Näin ollen jatkossa myös kuivatuksella on olennainen merkitys elintarvikemyymälän sisäilman olosuhteiden osalta.

Molemmissa haastatteluissa haasteeksi nousi esille automaatio jo toista kertaa. Edellisessä haastattelun teemassa sen merkityksestä oli puhuttu, ja jälleen keskustelu kääntyi sen merkitykseen elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmän toiminnan kannalta.

7.4 Kuivausjäähdytysjärjestelmään liittyvät uudet teknologiat ja ohjeistukset

Haastattelun viimeisenä pääteemana oli saatavilla olevat uudet teknologiat tai ratkaisut, ja asiantuntijoiden mielipide ohjeistuksien riittävydestä. Haastattelun aikana kysyttiin haastateltavien mielipidettä nykyisistä ohjeistuksista, joita on tarjolla kuivausjäähdytysjärjestelmän suunnitteluun.

Haastateltavat A ja B olivat sitä mieltä, että heidän oman organisaationsa ohjeistus ja lisäksi saatavilla olevat yleiset ohjeistukset ovat riittäviä oikein sovellettuna. Heidän kohteensa ovat heidän omien sanojensa mukaan pitkälti ”peruskohteita”, joten he eivät koe tarvitsevansa tarkempia ohjeistuksia. Puheenaiheena olivat myös uudet teknologiat, joita haastateltaville A ja B on tarjottu kokeiltaviksi heidän kohteissaan, mutta uusia teknologisia laitteita tai järjestelmä-ratkaisuja ei ole lähdettä kokeilemaan, ainakaan vielä.

Toisessa haastattelussa haastateltavat C, D ja E kertoivat, että heidän organisaationsa projekteissa käytettävää suunnitteluohjeistusta pyritään päivittämään aina päivitystarpeen ilmetessä. He pitävät tarkkoja ohjeistuksia hyvänä ohje-nuorana kuivausjäähdytysjärjestelmän ja kaiken muunkin suunnittelussa.

Heidän organisaationsa suunnitteluohjeistus vastaa suoraan heidän tarpeisiinsa suunnittelun ja käytön kannalta. Haastattelussa uusista teknologioista suunnittelun tueksi kysyttäessä esille ei noussut mitään.

Positiivisena yhtäläisyytenä haastatteluista jäi mieleen se, että molempien organisaatioiden asiantuntijat kokivat omat ohjeistuksensa hyvinä ja riittävinä. Haastattelussa nousi vielä aihealueiden ulkopuoliseksi aiheeksi se, että asiantuntijat toivoisivat suunnittelijoiden olevan tarkemmin perehtyneitä kuivausjäähdytysjärjestelmiin ja niiden toimintaan. Suunnittelijoiden parempi käsitysjärjestelmistä tuottaisi asiantuntijoiden mielestä asiapitoisempia suunnitelmia ja laitevalinnoissa osattaisiin valita laitteita, jotka varmasti toimivat kuivausjäähdytysjärjestelmässä. Suunnittelijan laitevalinnan lisäksi asiantuntijat korostivat myös suunnittelun laitehyväksyntää. Heidän kokemuksensa mukaan urakoitsijat ehdottavat laitehyväksynnän yhteydessä laitteita, jotka eivät välttämättä ole ominaisuuksiltaan samanlaisia kuin suunnittelijan laiteluetteloon listaamat.

7.5 Kylmäkalusteet

Elintarvikemyymälän kuivausjäähdytystä tehdään nimenomaan kondenssin, eli kosteuden tiivistymisen estämiseksi lasipinnoille. Ilman kuivausta tarvitaan nykyisin nimenomaan siis ovellisten kylmäkalusteiden vuoksi. Opinnäytetyössä haastateltiin sähköpostitse erään kylmäkalustevalmistajan edustajaa. Häneltä kysyttiin seuraavaa: "Onko laitevalmistaja kehittänyt laitteisiinsa tekniikkaa, jolla edesautettaisiin huurtumattomuutta?". Lisäksi häneltä kysyttiin näkemystä kylmälaitteiden tulevaisuudesta. Laitevalmistajalta vastattiin, että huurtuminen ei ole merkittävä ongelma kotimaan elintarvikemyymälöissä, mutta suurimmat kauppaketjut vaativat, että kylmäkalusteiden ovet toteutetaan tuplalasilla. Toisin sanottuna yksinkertaisella lasilla varustetut kylmäkaapit ja -altaat on kielletty.

Kylmäkalusteiden laitevalmistajan edustaja kertoi, että heidän tuotekehitysosastollaan ei olla nähty erityistarvetta keskittyä lähitulevaisuudessa huurtumisen vähentämiseen, koska pääosin tilanne pysyy hallinnassa sisäilman olosuhteiden hallinnalla talotekniikan avulla.

7.6 Haastattelun yhteenveto

Haastattelun yhteenvetona voidaan pitää sitä, että jatkossa kuivausjäähdytysjärjestelmällä tulee olemaan suurempi merkitys, etenkin pinta-alaltaan suurissa elintarvikemyymälöissä. Suurissa elintarvikemyymälöissä kuivausjäähdytysjärjestelmän merkitys kasvaa, ja myös ilmavirrat ovat suuria. Suuri kosteutta sisältävä ulkoilmavirta myymälässä voi aiheuttaa suuria ongelmia kosteuden kanssa. Pienemmissä elintarvikemyymälöissä ilmamäärien ja sitä kautta ilman kosteuden hallinta on helpompaa myös siinä tilanteessa, jossa käytössä ei ole kuivausjäähdytysjärjestelmää, kun taas suuremmissa myymälöissä kuivausjäähdytyksen rooli korostuu. Kuivausjäähdytysjärjestelmän suunnittelun ja toiminnan kannalta on oleellista mitoittaa laitteet tarkoituksenmukaisesti. Lisäksi suunnittelijan tulee huolehtia ilmanvaihtokoneen komponenttien oikeanlaisesta sijoittelusta ja laitteiden soveltuvuudesta kuivausjäähdytysjärjestelmään. Järjestelmän toiminnan ja haasteiden kannalta tärkeässä asemassa on automaatiojärjestelmä, eli sen ohjelmointiin ja toimintaan tulee panostaa. Asiantuntijat myös toivovat suunnittelijoiden tietien lisääntyvän kuivausjäähdytysjärjestelmistä.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tarkasteltiin elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmäkokonaisuutta eri laskentatapausten perusteella. Eri laskentatapauksina olivat jäähdytysjärjestelmän verkostolämpötilaparit 5/10 °C, 2/12 °C ja 7/17 °C. Laskentatapausten simuloinnit tehtiin IDA ICE -ohjelmistolla. Opinnäytetyön ja siinä suoritettun laskennan tavoitteena oli selvittää edullisin elintarvikemyymälän kuivausjäähdytysjärjestelmäkokonaisuus, kun laskelmissa otetaan huomioon järjestelmätekniinen ratkaisu sekä sen investointi- ja elinkaarikustannukset.

Investointikustannusten perusteella voitiin todeta, että valtavia kustannuseroja ei laskentatapausten väliltä löytynyt. Kustannuksiltaan edullisin vaihtoehto oli toinen laskentatapaus, eli verkostolämpötiloilla 2/12 °C simuloitu järjestelmäkokonaisuus. Tämän järjestelmäkokonaisuuden investointikustannukseksi saatiin

852 399 €. Halvimman ja kalleimman, eli laskentatapauksen 5/10 °C välillä kustannuseroa oli 45 852 €.

Vertailtaessa eri laskentatapauksia investointi- ja elinkaarikustannuksien nykyarvon ja kumulatiivisen diskontatun kassavirran perusteella pitkällä aikavälillä kannattavin mitoitustapaus oli toteutettu ratkaisu. Tässä laskentatapauksessa hyödynnettiin verkostolämpötilaparia 2/12 °C. Tämän ratkaisun nykyarvo elinkaaren päässä oli -6 245 680 €. Toiseksi paras vaihtoehto oli käyttötarkoitukseen soveltuvaratkaisu, jossa hyödynnettiin verkostolämpötilaparia 7/17 °C. Tuloksia tarkastellessa voitiin kuitenkin huomata, että kaikki vaihtoehdot olivat nykyarvoltaan lähellä toisiaan. Merkittäviä eroja ratkaisujen välillä ei siis ollut havaittavissa.

Asiantuntijahaastattelun perusteella voitiin sanoa, että jatkossa kuivausjäähdytysjärjestelmällä tulee olemaan suurempi merkitys, etenkin pinta-alaltaan suurissa elintarvikemyymälöissä. Suurissa elintarvikemyymälöissä kuivausjäähdytysjärjestelmän merkitys kasvaa ulkoilmavirtojen ollessa suuria. Suuri kosteutta sisältävä ulkoilmavirta myymälässä voi aiheuttaa suuria ongelmia. Kalusteisiin ja pintoihin muodostuva kosteus voi olla jopa turvallisuusriski esimerkiksi lattialle valuvana vetenä. Suuriin elintarvikemyymälöihin verrattuna pienemmissä myymälöissä ulkoilmavirtojen ja sitä kautta ilmankosteuden hallinta on helpompaa myös siinä tilanteessa, jossa käytössä ei ole kuivausjäähdytysjärjestelmää.

Haasteltavat korostivat kuivausjäähdytysjärjestelmän suunnittelun ja toiminnan kannalta laitteiden tarkoituksenmukaista mitoitusta ja perehtymistä järjestelmien toimintaan. Edellä mainittujen asioiden lisäksi tulee huolehtia ilmanvaihtokoneen komponenttien oikeanlaisesta sijoittelusta ja laitteiden soveltuvuudesta kuivausjäähdytysjärjestelmään. Järjestelmän toiminnan ja haasteiden kannalta tärkeässä asemassa on automaatiojärjestelmä, eli sen ohjelmointiin ja toimintaan tulee panostaa. Asiantuntijat myös toivoivat suunnittelijoiden tieteen lisääntyvän kuivausjäähdytysjärjestelmistä.

Lähteet

- 1 Equa -kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.equa.se/fi/>>. Luettu 31.12.2024.
- 2 Granlund Manager -kotisivut. Verkkoaineisto. <<https://www.granlund.fi/palvelut/granlund-manager-ohjelmisto/>>. Luettu 13.1.2025.
- 3 Seppänen, Olli (projektiryhmän puheenjohtaja). 2019. Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. Helsinki: FINVAC ry.
- 4 Sisäilmastoluokitus 2018: Sisäilmaston tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. 2018. RT 07-11299. Rakennustieto.
- 5 Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas, päivitetty 11.6.2024. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>>. Luettu 29.9.2024.
- 6 Sandberg, Esa. 2016. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointiteknikka osa 1. 2. painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 7 Sandberg, Esa. 2016. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointiteknikka osa 2. 2.painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 8 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. 1010/2017 Liite 1. Luettu 29.9.2024.
- 9 Valkeapää, Aki. 2024. Lämpöpumppujen teoreettiset perusteet OSA 3 (kylmätekniinen kiertoprosessi). Opetusmateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettu 15.11.2024.
- 10 Air-Cooled fixed-speed screw chiller. Verkkoaineisto. Carrier. <[10607_PSD_03_2021_30XBE_250_1700_short version.pdf](https://www.carrier.com/commercial/fi/fi/tuotteet/ilmastointi/ilmajaahdytteiset-nestejaahdyttimet/09pe/) (carrier.com)>. Luettu 17.8.2024.
- 11 CV_FX-W-G05-Y_09-18-ENG. Climaneta. 2021. Verkkoaineisto. <<https://files.yg.fi/9a/eb/9aeb849d-832a-4a8d-a18e-bc7d6ac3fac7.pdf>>. Luettu 17.8.2024.
- 12 Nestejäähdytin 09PE. Carrier. Verkkoaineisto. <<https://www.carrier.com/commercial/fi/fi/tuotteet/ilmastointi/ilmajaahdytteiset-nestejaahdyttimet/09pe/>>. Luettu 17.8.2024.

- 13 Kaappola, Esko; Hirvelä, Aulis; Jokela, Matti & Kianta, Jani. 2022. Kylmätekniikan perusteet. Turenki: Opetushallitus.
- 14 Hakala, Pertti & Kaappola, Esko. 2005. Kylmälaitoksen suunnittelu. Opetushallitus.
- 15 Valkeapää, Aki. 2024. Kylmäaineet (lämpöpumput ja ilmastointilaitteet). Opetusmateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettu 15.11.2024.
- 16 EU:n uusi asetus hillitsee fluorattujen kasvihuonekaasujen päästöjä. 20.2.2024. Tiedote. Ympäristöministeriö. <<https://valtioneuvosto.fi//1410903/eu-n-uusi-asetus-hillitsee-fluorattujen-kasvihuonekaasujen-paastoja>>. Luettu 31.8.2024.
- 17 Uusi F-kaasuasetus astunut voimaan. 30.4.2024. Verkkoaineisto. Kylmäextra. <<https://kylmaextra.fi/teemat/uusi-f-kaasuasetus-astunut-voimaan/>>. Luettu 31.8.2024.
- 18 Summary Technical Specification. 2023. Acon -mitoitushjelma. Fläkt-Group. <<https://acon.flak-tgroup.com/WebApp/Fle.Acon.WebApp/Home.aspx>>. Luettu 31.8.2024.
- 19 ScopeBox -leikkausnäky. 2024. Revit 2024 -suunnitteluohjelma. <<https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/ENU/>>. Katsottu 31.8.2024.
- 20 The Dehumidification Handbook. 2019. Käsikirja. Munters Corporation. Luettu 15.11.2024.
- 21 Seppänen, Olli. 2012. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 22 LVI-kalenteri. 2020. Suomen kalenterit.
- 23 Automaation ohjelmaluettelo. 30.4.2024. Dokumentti. Granlund Oy. Luettu 29.9.2024.
- 24 Automaation kytkentäkaavio. 30.4.2024. Dokumentti. Granlund Oy. Luettu 29.9.2024.
- 25 Pulakka, Sakari; Heimonen, Ismo; Junnonen, Juha-Matti & Vuolle, Mika. 2007. Talotekniikan elinkaarikustannukset. Verkkoaineisto. VTT Tiedotteita 2409. <<https://www.motiva.fi/files/856/talotekniikan-elinkaarikustannukset.pdf>>. Luettu 16.7.2024.

Haastattelukysymykset:

Teema 1

Millaisia projekteja olette erityisesti tehneet kuivausjäähdytysjärjestelmien parissa?

Onko teillä esimerkkejä projekteista, joissa olette onnistuneet toteuttamaan hyvän kuivausjäähdytysjärjestelmän toteutuksessa sekä onnistuneet optimoimaan investointi- että elinkaarikustannukset? Voisitteko kertoa niistä tarkemmin?

Teema 2

Mitkä tekijät ovat mielestänne tärkeimpiä kuivausjäähdytysjärjestelmässä?

Mitkä ovat tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat kuivausjäähdytysjärjestelmän toimintaan ja elinkaarikustannuksiin?

Teema 3

Mitkä ovat yleisimmät haasteet, joita olette kohdanneet kuivausjäähdytysjärjestelmien parissa? (suunnittelu, toteutus, huolto jne.)

Miten olette ratkaisseet näitä haasteita?

Teema 4

Onko olemassa uusia teknologioita tai ratkaisuja, joita suosittelisitte harkittavaksi kuivausjäähdytysjärjestelmän suunnittelussa?

Ovatko mielestänne nykyiset ohjeistukset riittävän kattavia ja hyödyllisiä kuivausjäähdytysjärjestelmien suunnittelussa?

Onko teillä ehdotuksia ohjeistusten parantamiseksi?

Putkistotarvikkeet:		
	Tarvikkeen koko (mm)	Yksikköhinta (€/kpl)
Linjasäätöventtiili	100	1102,95
Linjasäätöventtiili	80	882,36
Linjasäätöventtiili	65	716,92
Linjasäätöventtiili	50	551,48
Linjasäätöventtiili	40	441,18
Sulkuventtiili	80	640,06
Sulkuventtiili	50	400,04
Sulkuventtiili	40	320,03
Putkisto:		
	Putken koko (mm)	Yksikköhinta (€/m)
Putki	150	401,06
Putki	125	365,79
Putki	100	252,51
Putki	80	204,94
Putki	65	176,7
Putki	50	146,31
Putki	40	117,05
Putki	25	73,16
Putkiston eriste:		
	Putken koko (mm)	Yksikköhinta (€/m)
Eriste	150	22
Eriste	125	18
Eriste	100	14
Eriste	80	11
Eriste	65	9
Eriste	50	7
Eriste	40	6
Eriste	25	4

