

# **Elintarviketuotantotilan jäähdytyksen optimointi**

Ville Salo

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2019  
Tekniikan ala  
Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Salo, Ville	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2019
	Sivumäärä 55	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Elintarviketuotantotilojen jäähdytyksen optimointi</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Nuutinen Marjukka, Hytönen Kari		
Toimeksiantaja(t) Elintarvikealan yritys		
Tiivistelmä <p>Energiatehokkuusajattelun nousun myötä sekä energiatehokkuussopimukseen uudelleen liittymisen johdosta oli työn toimeksiantajalla syntynyt tarve kartoittaa potentiaalisia energiatehokkuuden parantamiskohteita. Yrityksen toiminnassa eniten energiakustannuksia aiheuttaa jäähdytyksen ylläpitäminen tuotantotiloissa. Tämä toimi lähtökohtana työlle.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia tuotantotilojen jäähdytyksen tarkoituksenmukaisuutta. Aihetta tutkittiin hyödyntämällä mittapisteistä tallennettua kokonaisen vuoden lämpötiladataa ja vertaamalla sitä asetettuihin jäähdytystavoitteisiin. Tavoitteena oli selvittää, tapahtuuko tuotantoalueilla turhaa jäähdytystä sekä tarvitaanko erillissäätöä. Tavoitteena oli myös energiatehokkuustoimenpiteiden selvittäminen sekä niiden energiansäästöpotentiaalinen arviointi.</p> <p>Lämpötila-analyysin tukena käytettiin pohjakuvia jäähdytetyistä tuotantoalueista sekä henkilökunnan haastatteluja. Tietojen pohjalta rakennettiin kuvaajia esittämään tuotantoalueiden lämpötilojen pysyvyyttä sekä kehitettiin toimintamalliehdotus osastojen jäähdytettyjen tilojen lämpötilatarkastelun yhtenäistämiseksi.</p> <p>Lopputuloksena saatiin esitettyä osastokohtaisesti selvinneet energiatehokkuuteen vaikuttaneet ongelmakohdat sekä kehittämiskohteet. Kehittämiskohteiden energiansäästöpotentiaalia arvioitiin koko tehdasalueelle. Energiansäästöpotentiaalinen määrittämisen todettiin olevan hyvin hankalaa suuren tilamäärän ja niissä vaihtuvien lämpötilojen sekä erilaisten rakenteiden vuoksi. Kehitetty toimintamalli esitettiin laatuosastolle käyttöönotettavaksi ja siihen liittyvät asiakirjat ehdotettiin vietäväksi yrityksen järjestelmiin avoimeksi.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Jäähdytys, kylmätekniikka, energiatehokkuus, elintarviketuotanto		
Muut tiedot		

Author(s) Salo, Ville	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 55	Permission for web publication: X
Title of publication <b>Optimizating cooling in grocery production facilities</b>		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Nuutinen Marjukka, Hytönen Kari		
Assigned by Food industry company		
Abstract  <p>A rise in energy efficient thinking and rejoining the agreement on energy efficiency had created the need for the assignor of the thesis to survey potential targets to improve energy efficiency. One of the largest costs in the company's energy consumptions was caused by up-keeping the cooling in the production facilities, which motivated the study.</p> <p>The objective was to research the purpose of cooling in the production facilities which was done by utilizing the collected temperature data from one whole year and comparing it to the set temperature requirements. The goal was to examine if there was unnecessary cooling in the production areas and if the cooling systems needed adjusting. One goal was also investigating the energy efficiency measures and evaluating their energy saving potential.</p> <p>Layout pictures for the cooled areas and interviews of personnel working in those areas were used to support the temperature analysis. Graphs showing the permanence of temperatures in the production facilities and operating model suggestion for harmonizing the temperature analysis of the departments were made based on the data gained.</p> <p>As a result, the found problems and improvement targets affecting energy efficiency were presented for every department. Energy savings potential for the mentioned problems and improvements were estimated for the whole plant area. Specifying the energy savings potential was very difficult considering the size of the production area and the changing temperatures and different structures in the spaces. The developed operating model was presented to the quality organization for deployment and documentation involving the model was suggested to be taken into the company's systems to be available for viewing.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) cooling, refrigeration, energy efficiency, food production		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>5</b>
1.1	Aiheen tausta ja ajankohtaisuus .....	5
1.2	Opinnäytetyön tavoitteet ja toteutus .....	7
<b>2</b>	<b>Kylmäteknikka .....</b>	<b>8</b>
2.1	Kylmätekninen kiertoprosessi .....	8
2.1.1	Periaate.....	8
2.1.2	Pumppukiertoinen koneisto .....	11
2.2	Kylmäaineet.....	13
2.2.1	Kylmäaineiden ominaisuudet .....	13
2.2.2	Voiteluöljy.....	14
2.2.3	Kylmäliuos.....	15
2.3	Kylmäkerroin .....	15
2.4	Jäähdytystapa .....	17
2.4.1	Suora jäähdytys .....	17
2.4.2	Välillinen jäähdytys.....	18
2.5	Kylmälaitoksen komponentit .....	19
2.5.1	Kompressori.....	19
2.5.2	Lauhdutin.....	21
2.5.3	Höyrystin.....	22
2.5.4	Paisuntaventtiili .....	23
<b>3</b>	<b>Lämpötilatarkastelun menetelmän kuvaus.....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>Tuotantoalueiden käsittely .....</b>	<b>26</b>
4.1	Tuotantoalue 1 .....	26
4.2	Tuotantoalue 2 .....	29
4.3	Tuotantoalue 3 .....	33

4.4	Tuotantoalue 4 .....	36
4.5	Tuotantoalue 5 .....	39
4.6	Tuotantoalue 6 .....	42
<b>5</b>	<b>Energiatekniikan parantamisehdotukset.....</b>	<b>45</b>
5.1	Toimintamalli tuotanto-osastojen tilojen lämpötilatarkastelulle .....	45
5.2	Toimenpide-ehdotukset .....	46
5.3	Energiansäästöpotentiaali.....	48
5.4	Lämpötilojen muutoksen säästöpotentiaali.....	50
<b>6</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>51</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>54</b>

## Kuviot

Kuvio 1. Kylmäteknisen kierto-prosessin periaate .....	9
Kuvio 2. Kylmäprosessi teoreettisesti log p, h -tilapiirroksessa .....	10
Kuvio 3. Kylmäprosessin paine ja entalpia käytännössä .....	11
Kuvio 4. Pumpukiertoisien laitosten periaate .....	12
Kuvio 5. Pumpukiertoinen laitos log p, h -piirroksessa .....	12
Kuvio 6. Ruuvikompressorin puristusprosessi .....	20
Kuvio 7. Ruuvikompressorin tehonsäätö luistilla .....	21
Kuvio 8. Periaatekuva moniputkilauhduttimesta.....	22
Kuvio 9. Tuotantoalueen 1 jäähdytettyjen tilojen keskiarvolämpötiloja.....	26
Kuvio 10. Tuotantoalueen (1) 10 eniten tavoitteen ylittänyttä tilaa .....	27
Kuvio 11. Tuotantoalueen (1) 10 eniten tavoitteen alittanutta tilaa.....	28
Kuvio 12. Tuotantoalueen 2 jäähdytettyjen tilojen keskiarvolämpötiloja.....	30
Kuvio 13. Tuotantoalueen (2) 10 tavoitteen eniten ylittänyttä tilaa .....	31
Kuvio 14. Tuotantoalueen (2) 10 tavoitteen eniten alittanutta tilaa.....	32
Kuvio 15. Tuotantoalueen 3 jäähdytettyjen tilojen keskiarvolämpötiloja.....	33
Kuvio 16. Tuotantoalueen (3) 10 tavoitteen eniten ylittänyttä tilaa .....	34
Kuvio 17. Tuotantoalueen (3) 10 tavoitteen eniten alittanutta tilaa.....	35
Kuvio 18. Tuotantoalueen 4 jäähdytettyjen tilojen keskiarvolämpötiloja.....	36
Kuvio 19. Tuotantoalueen (4) 10 tavoitteen eniten ylittänyttä tilaa .....	37
Kuvio 20. Tuotantoalueen (4) 10 tavoitteen eniten alittanutta tilaa.....	38
Kuvio 21. Tuotantoalueen 5 jäähdytettyjen tilojen keskiarvolämpötiloja.....	39
Kuvio 22. Tuotantoalueen (5) 10 tavoitteen eniten ylittänyttä tilaa .....	40
Kuvio 23. Tuotantoalueen (5) 10 tavoitteen eniten alittanutta tilaa.....	41
Kuvio 24. Tuotantoalueen 6 jäähdytettyjen tilojen keskiarvolämpötiloja.....	42
Kuvio 25. Tuotantoalueen (6) 10 tavoitteen eniten ylittänyttä tilaa .....	43
Kuvio 26. Tuotantoalueen (6) 10 tavoitteen eniten alittanutta tilaa.....	44

**Taulukot**

Taulukko 1. Ammoniakki R717 .....	14
-----------------------------------	----

# 1 Johdanto

## 1.1 Aiheen tausta ja ajankohtaisuus

Työ- ja elinkeinoministeriön vuonna 2017 julkistama valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030 määrittää, että energiatehokkuuden edistämiseksi on parannettava koko energiajärjestelmän ja energiaa käyttävän infrastruktuurin suunnittelua ja käytettävyyttä. Tämän avulla energiankulutuksen optimointia sekä päästöjen vähentämistä voidaan edesauttaa. Lisäksi mittaus- ja seurantatietoa hyödyntämällä voidaan energian tuotannon ja kysynnän vaihteluista johtuvia kustannuksia leikata. (Valtioneuvoston selonteko kansallisesta... 2017, 72.)

Elintarvikealan yritys (myöh. yritys), jolle opinnäytetyö tehtiin, on mukana energiatehokkuussopimuksessa. Sopimus uusittiin vuonna 2016 päättyneen kauden jatkoksi vuosille 2017-2025. Energiatehokkuussopimukset ovat valtion ja toimialojen yhdessä valitsema tapa täyttää kansainväliset energiatehokkuustavoitteet ilman, että uutta erillistä lainsäädäntöä tai pakkokeinoja täytyy laatia. (Energiatehokkuussopimukset 2018.)

Sopimukseen liittyminen on vapaaehtoista ja liittyvä yritys asettaa itselleen tavoitteeksi vuoteen 2025 mennessä 7,5 %:in energiansäästötavoitteen tai vaihtoehtoisesti 10,5 %:in, jos yritys on ollut mukana edeltävällä sopimuskaudella ja haluaa hyödyntää vuosina 2014-2016 toteutettujen toimenpiteiden energiatehokkuussopimusten seurantajärjestelmään raportoituja säästöjä. Vuoteen 2020 asetetaan välitavoitteeksi vastaavasti 4 % tai 7 %, jos aiemmat vuodet huomioidaan. Tavoitteiden energiamäärä lasketaan yrityksen viimeisimmästä liittymishetkellä käytettävästä normaalin toiminnan kalenterivuoden energiamäärästä. (Elinkeinoelämän energiatehokkuussopimus – Elintarviketeollisuuden toimenpideohjelma 2017, 2.)

Yrityksen vuoden 2017 yritysraportin mukaan energiankulutusta saatiin vähennettyä kyseisenä vuonna 2,4 %. Tämä tarkoittaa noin 6 GWh:n energiansäästöä vuoteen 2016 verrattuna. Työssä käsiteltävän toimipisteen kokonaissähkönkulutus vuonna 2017 oli noin 108 GWh ja jäähdytyksen osuus tästä oli 24 % (26 GWh).

Opinnäytetyön toimeksiantona selvitettiin mahdollisuuksia elintarviketuotantotilojen jäähdytyksen optimointiin yritykselle. Aiheeseen päädyttiin siltä pohjalta, että lämpötilojen kartoitukselle elintarvikkeiden tuotantotiloissa tehtaan alueella on ollut ja tulee olemaan tarvetta. Opinnäytetyössä tuli selvittää, käytetäänkö jäähdytykseen liikaa energiaa pitämällä tiloja liian kylminä vaadittuihin lämpötiloihin verrattuna ja voidaanko lopettaa sellaisten tilojen jäähdytys, joissa se ei ole tarpeellista. Selvitystä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa toimeksiantajan muissa tiloissa, jotka jäivät nyt tehdyn opinnäytetyön ulkopuolelle.

Jäähdytyksestä aiheutuvat kokonaisenergiakustannukset kylmäketjua ylläpitävässä yrityksessä ovat suuria. Tällöin pienelläkin tilojen jäähdytyksen optimoinnilla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä vuositasolla. Tilojen lämpötilatasojen nostolla sekä tarpeettomien tilajäähdytysten poistamisella pienennetään jäähdytysenergian tarvetta ja edelleen jäähdytyksen sähkönkulutusta. Lisäksi lämpötilatasojen nosto mahdollistaa jäähdytysverkoston kylmäaineen lämpötilatason noston, jolloin jäähdytyskompressorit toimivat paremmalla kylmäkertoimella. Yrityksessä tehtyjen arvioiden mukaan yhden lämpötila-asteen nosto jäähdytyspiirissä voi vähentää jäähdytyksestä aiheutuvaa sähkönkulutusta noin 2,5 %.

Aiheesta teki tutkimisen arvoisen siitä syntyvä potentiaalinen hyöty ja ajankohtaisuus. Ilmastonmuutos, energiansäästökeinot sekä energiatehokkuus ovat korkean prioriteetin käsitteitä maailmanlaajuisesti. Energiatehokkuuden parantaminen on yksi EU:n energiapolitiikan keskeisistä asioista. Eurooppa-neuvoston vuonna 2007 sopiman 2020 ilmasto- ja energiapaketin ja komission vuoden 2008 säädösehdotuksien 20-20-20 tavoitteet sisältävät 20 prosentin energiatehokkuuden parantamisen vuoteen 2020 mennessä. (Valtioneuvoston selonteko kansallisesta... 2017, 20-21.)

## 1.2 Opinnäytetyön tavoitteet ja toteutus

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuotantotilojen jäähdytyksen tarkoituksenmukaisuuden selvittäminen. Tämä tapahtui vertaamalla lämpötilamittapisteistä kerättyä lämpötiladataa siihen, mitkä ovat tilojen lämpötilavaatimukset ja asetukset. Tilojen lämpötilatavoitteet saatiin selville raportointijärjestelmästä. Tärkeimpänä tarkastelukohteena olivat mitattujen lämpötilojen alitukset tavoitearvoon verrattuna. Lämpötilavertailusta saatua informaatiota käytettiin keskustelunavauksina tuotantoalueiden henkilöstön sekä laatuhenkilöstön kanssa. Tutkimuksen aikana haastatteluja ja lämpötiladataa käytettiin molemmista tietolähteistä saatavien tietojen oikeudellisuuden varmistamiseen, jotta saatava lopputulos oli mahdollisimman luotettava.

Tavoitteena oli saada selville jäähdytyspiirin erillissäädön tarve, mahdollisuudet lämpötilatasojen nostolle sekä se, tapahtuuko joissain tiloissa turhaa jäähdytystä. Työssä selvitettiin lisäksi tuotantoalueiden yleinen lämpötilataso sekä eri tilojen lämpötilaylitykset tavoitteisiin nähden. Lämpötilaa mittaavat anturit kalibroidaan vuosittain, joten niiden näyttämän oletettiin olevan oikein pois lukien hajonneet mittapisteet. Lisäksi dataa käytiin työn aikana useaan otteeseen läpi, jolloin selvästi virheistä johtuvat mittaukset poistettiin lopullisesta tarkastelusta. Lopullisten tulosten luotettavuutta arvioitiin myös tuotantoalueen henkilöstöltä saatujen kommenttien sekä henkilökohtaisesti hankitun tiedon avulla. Tavoitteena oli myös selvittää mahdolliset energiatehokkuustoimenpiteet sekä niiden energiansäästöpotentiaali.

Opinnäytetyö toteutettiin sekä kvalitatiivista eli laadullista että kvantitatiivista eli määrällistä tutkimusotetta käyttäen. Työssä hyödynnettiin mitattua lämpötiladataa sekä haastatteluja, joiden pohjalta pyrittiin ymmärtämään syitä alueiden lämpötiloihin vaikuttavista asioista. Haastatteluissa henkilöt saivat vapaasti kertoa omia näkemyksiään ja tietojaan, eikä haastatteluja toteutettu valmiiksi tehdyn kysymyspohjan mukaan. Laadullisen tutkimuksen tavoitteena oli auttaa tiedonhankintaa ja ymmärrystä tutkittavaa aihetta koskien. Määrällistä

tutkimusotetta taas hyödynnettiin työn johtopäätöksien ja tuloksien rakentamisessa mitatun lämpötiladatan pohjalta, jonka tukena toimivat henkilöstön haastattelut. (Määrällinen vs laadullinen tutkimus. n.d.)

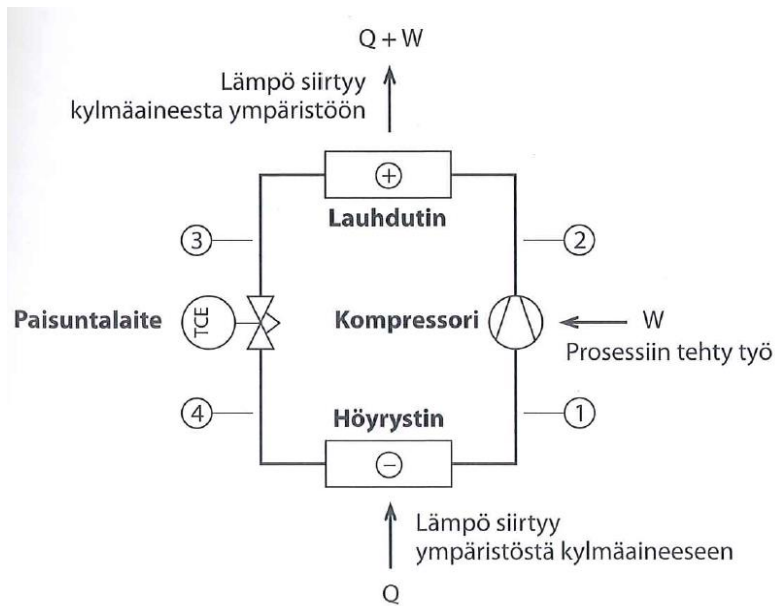
## 2 Kylmäteknikka

Kylmäteknikan tehtävänä on pitää jäähdytettävä kohde ympäristöä alemmassa lämpötilassa. Tekniikan sovellusten lämpötila-alue ulottuu kaasujen nesteyttämislaitosten  $-250\text{ °C}$ :sta lämpöpumppukoneistojen  $100\text{ °C}$ :seen. Useimmiten kylmäteknikalla tarkoitetaan kuitenkin pääasiassa kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen perustuvaa ratkaisua. (Aittomäki 2012, IX.)

### 2.1 Kylmätekninen kiertoprosessi

#### 2.1.1 Periaate

Kylmäteknisessä kiertoprosessissa tehdyn työn avulla siirretään lämpöä matalasta korkeampaan lämpötilaan. Prosessissa kiertävää työainetta kutsutaan kylmäaineeksi, jonka höyrystymiseen ja lauhtumiseen kiertoprosessi perustuu. Kuviossa 1 on nähtävissä prosessin toiminta periaatekuvana.

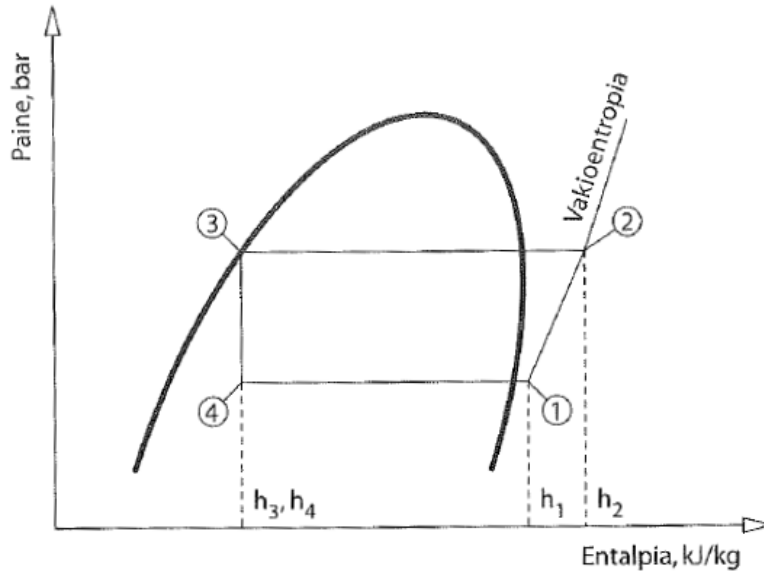


Kuvio 1. Kylmätekniikan kiertoprosessin periaate (Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J. 2011, 17)

Ensimmäisessä pisteessä matalapaineinen kylmäaine kulkee höyrystimen läpi, jolloin se sitoo itseensä lämpöä ympäristöstä ja höyrystyy. Höyrystynyt kylmäaine imetään kompressoriin, jolloin kompressorin tekemän työn avulla kylmäaine puristetaan korkeaan paineeseen. Kylmäaineen puristuessa sen lämpötila nousee merkittävästi ja aine tulistuu. Tämän jälkeen tulistunut höyry kulkeutuu lauhduttimeen, jossa lämpö siirtyy kylmäaineesta ympäristöön ja kylmäaine lauhtuu takaisin nesteeksi.

Lauhduttimen jälkeen kylmäaine johdetaan paisuntalaitteelle, jossa sen paine ja lämpötila laskevat, mikä aiheuttaa aineen osittaisen höyrystymisen. Tästä kahdessa faasissa oleva kylmäaine johdetaan jälleen höyrystimelle, jolloin kierto alkaa alusta. (Kaappola ym. 2011, 17-18.)

Vastaavasti kuviossa 2 on nähtävissä kylmäprosessin vaiheet p, h (paine ja entalpia) tilapiirroksessa.

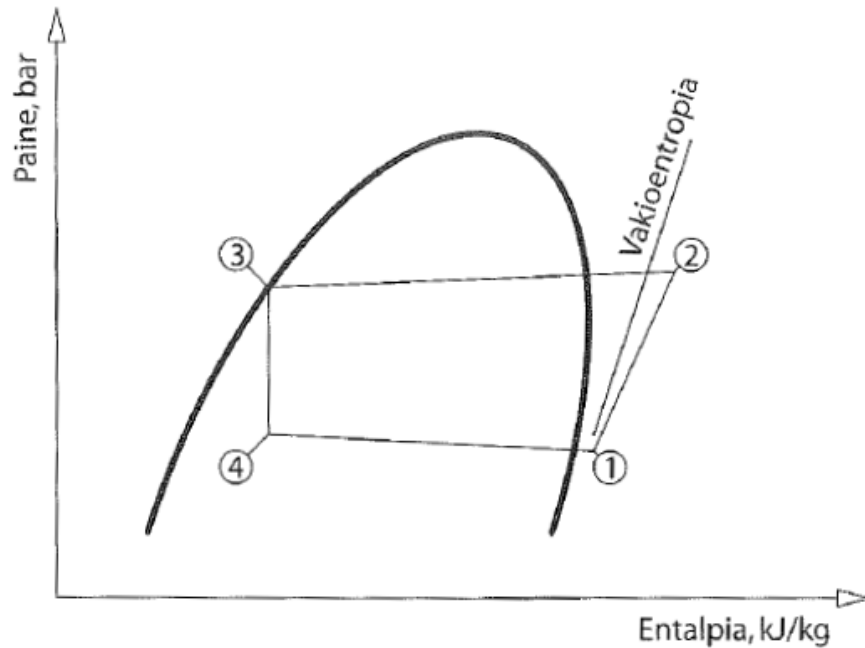


Kuvio 2. Kylmäprosessi teoreettisesti log p, h -tilapiirroksessa (Hakala & Kaappola 2007, 12)

Kuviosta on luettavissa kylmäaineen tilapisteet seuraavasti:

- 1-2. Tulistunut höyry imetään kompressoriin ja se puristetaan korkeampaan paineeseen. Kylmäaineen paine sekä entalpia kasvaa.
- 2-3. Kylmäaine kulkee lauhduttimelle, jossa höyry muuttuu nesteeksi ja entalpia laskee.
- 3-4. Neste kulkeutuu paisuntalaitteelle, jolloin kylmäaineen paine laskee ja neste muuttuu kaksifaasiseksi neste-höyryseokseksi.
- 4-1. Seos kulkee höyrystimen läpi, jolloin kylmäaine höyrystyy sekä tulistuu ja entalpia kasvaa.

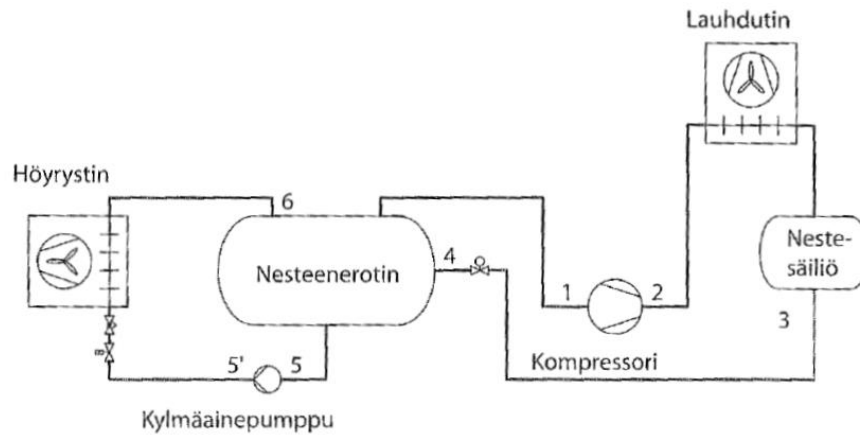
Teoreettinen prosessi ei kuitenkaan käytännössä toteudu, koska kylmäprosessin aikana tapahtuu häviöitä. Kompressorin venttiileissä, paineputkessa ja lauhduttimessa syntyy painehäviöitä, jolloin esimerkiksi piste 2-3 ei tapahdu vakioentropiassa. Lisäksi kompressorin puristuksessa syntyy lämpöhäviötä, jonka johdosta systeemin entalpia muuttuu ja prosessin log p, h -tilapiirros on enemmänkin kuvion 3 näköinen. (Hakala & Kaappola 2007, 12-13.)



Kuvio 3. Kylmäprosessin paine ja entalpia käytännössä (Hakala & Kaappola 2007, 13)

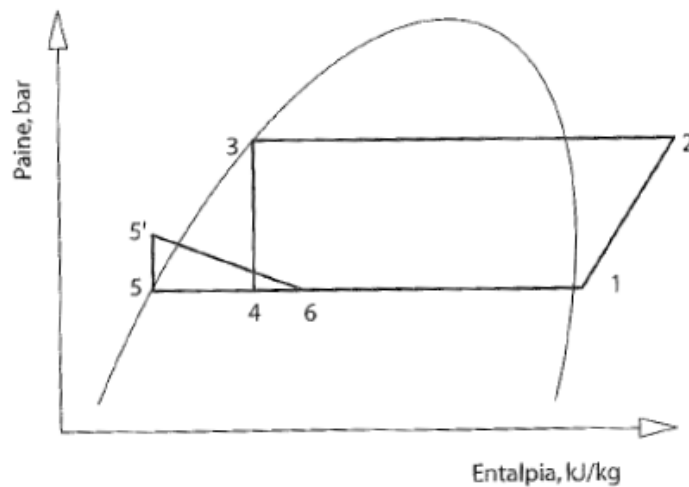
### 2.1.2 Pumppukiertoinen koneisto

Pumppukiertoisessa kylmälaitoksessa kylmäainetta kierrätetään höyrystimen ja nesteenerottimen välillä pumpun avulla. Höyrystimeen pumpataan enemmän kylmäainetta, kuin on mahdollista höyrystää, jolloin höyrystimessä saavutetaan hyvä lämmönsiirto. Pumpattavan ja höyrystyvän kylmäaineen suhdetta kutsutaan kiertoluvuksi, joka vaihtelee höyrystimen tyyppin ja jäähdytettävän kohteen tarpeen mukaan. Jos kiertävän aineen määrä on esimerkiksi nelinkertainen höyrystimessä höyrystyvän kylmäaineen määrään, on laitoksen kiertoluku 4. (Hakala & Kaappola 2007, 183.) Pumppukiertoisen koneiston periaate näkyy kuviossa 4.



Kuvio 4. Pumpputkiertoisen laitoksen periaate (Hakala & Kaappola 2007, 183)

Vastaavasti saman laitoksen periaate  $\log p, h$  -tilapiirroksessa on näkyvissä kuviossa 5. Kuviossa olevat vaiheet vastaavat kuvion 4 numerointia.



Kuvio 5. Pumpputkiertoisen laitoksen  $\log p, h$  -piirros (Hakala & Kaappola 2007, 184.)

Kuviosta 5 nähtävillä oleva kylmäainepumpun tekemä paineen noston pisteiden 5 – 5' välillä voidaan hyödyntää putkistojen ja höyrystimen virtauksesta johtuvien painehäviöiden sekä korkeuserosta aiheutuvan painehäviön kompensointiin. Kylmäaineen tila pisteessä 6 saadaan jakamalla pisteiden 1 ja 5 entalpien erotus kiertoluvulla ja lisäämällä tulos pisteen 5 entalpiaan. (Hakala & Kaappola 2007, 184.)

## 2.2 Kylmäaineet

### 2.2.1 Kylmäaineiden ominaisuudet

Kylmäkoneistoissa lämmönsiirtämiseen käytettyjä nesteytettyjä kaasuja kutsutaan kylmäaineiksi. Niiden käyttö perustuu aineen kykyyn muuttaa olomuotoa nesteestä kaasuksi ottaessaan vastaan lämpöä tai kaasusta nesteeksi luovuttaessaan sitä. Olomuodon muutosta hyväksikäyttämällä voidaan lämpökuormia siirtää pienellä aineen massavirralla. Kylmäaineen ominaisuuksiin vaikuttavat vallitseva paine sekä lämpötila. (Kaappola ym. 2011, 31.)

Hyvälle kylmäaineelle toivottavia termodynaamisia ominaisuuksia ovat:

- suuri höyrystymislämpö, jolloin kompressorin ja putkiston koko voivat olla pieniä ja kylmäaineen massavirta on pieni
- kompressorin pieni painesuhde, jolloin puristustyö on pieni ja puristuksessa tulistuminen vähäistä
- pieni virtausvastustus (viskositeetti), mikä vähentää venttiilien ja putkistojen painehäviöitä
- korkea lämmönjohtavuus, jolloin lämmönsiirtopinta-alan tarve pienenee
- suuri tilavuustuotto, jolloin kompressorin koon tarve on pieni
- sopiva höyrystymispaine. Höyrystimen alipaine voi aiheuttaa ilmavuotoa koneiston sisään ja liian suuri paine taas lisää lujuusvaatimuksia (Aittomäki 2012, 103.)

Ammoniakki R717 on erityisesti suurissa teollisissa kylmälaitoksissa käytetty luonnollinen kylmäaine. Sen höyrystymislämpö on korkea ja hinta alhainen eikä sillä ole vaikutusta kasvihuoneilmiöön (global warming potential = 0, GWP) tai otsonikatoon (ozone depletion potential = 0, ODP) (Nydal 2002, 216.). Ammoniakin ominaisuuksia on nähtävissä taulukossa 1.

Taulukko 1. Ammoniakki R717 (Kylmäainetilanne 2008)

	<b>R717</b>
koostumus	NH <sub>3</sub> ammoniakki
molekyylipaino [g/mol]	17,0
kiehumispiste [°C]	-33,3
kriittinen lämpötila [°C]	132,4
kriittinen paine [bar]	113,5
ODP	0
GWP	0
turvaluokka	B2
liukuma	ei liukumaa
yhteensopivat öljyt	MO, AB, MO+AB, PAO, PAG

Ammoniakin etuja ovat muun muassa alhainen viskositeetti ja suuri tilavuustuotto, minkä takia kompressorin koko voi olla pieni. Lisäksi ammoniakin lämmönsiirto-ominaisuudet ovat hyvät ja vuodot on helppo havaita jo pienillä pitoisuuksilla (5-10 ppm). Sen haittoina ovat aineen myrkyllisyys, suuri paine lauhduttimessa ja voimakas tulistuminen puristuksen aikana. Taulukossa 1 oleva turvaluokka B2 tarkoittaa, että ammoniakin suurin sallittu työpaikkapitoisuus on 400 ppm ja sen alempi syttymisraja ilmassa on vähintään 3,5 til.-%. Aineen ensimmäiset haittavaikutukset alkavat jo pitoisuuksilla 150-200 ppm ja periaatteessa ammoniakki voi muodostaa ilman kanssa räjähtävän seoksen. Aineen myrkyllisyydestä ja vaarallisuudesta huolimatta suuria vahinkoja on sattunut vain muutamia sen yli 120-vuotisen käytön aikana. (Aittomäki 2012, 102-103, 117.)

### 2.2.2 Voiteluöljy

Kylmäkoneiden kompressorin voiteluun ja jäähdytykseen sekä laakerien voiteluun käytetään öljyä. Voiteluöljy pääsee osittain kosketuksiin myös kylmäaineen kanssa, jolloin se lähtee mukaan kylmäainekierto, josta se täytyy erilaisin teknisin ratkaisuin poistaa. Ammoniakin termodynaamisten ominaisuuksien vuoksi sen kanssa voiteluaineena käytettävät öljyt liukenevat siihen huonosti. Näihin kuuluvat esimerkiksi mineraaliöljyt ja polyalfaolefiinit (PAO). Liukenemattomuuden vuoksi

kiertoon täytyy sijoittaa tehokkaita öljynerottimia sekä öljytaskuja. Taskuun kertynyt öljy voidaan palauttaa takaisin kompressorille. (Refrigerant report 20. n.d., 20, 40.)

Työn kohteena olleen yrityksen kompressoreiden voiteluun käytetty Mobil SHC NH 68 on täyssynteettinen öljy, joka on valmistettu käyttäen synteettisiä PAO-hiilivetyjä sekä alkyylibentseeniperusöljyjä. Sen ominaisuuksia ovat alhainen haihtuvuus ja jähmepiste sekä hyvä terminen vakaus ja hapettumiskestävyys. (Mobil Gargoyle Arctic SHC NH 68. n.d.)

### 2.2.3 Kylmäliuos

Kylmäliuoksia käytetään järjestelmissä, joissa halutaan pitää kylmäaine erillään jäähdytettävästä kohteesta ja kylmäaineen täyttö pienempänä. Yleinen kylmäliuos on glykolivesiseos, jossa etyleeniglykolia ja vettä sekoitetaan haluttuun pakkaskestävyyteen vaadittavassa suhteessa. Veden tulisi olla tislamalla tai käänteisosmoosilla puhdistettua vettä, jolloin vähennetään veden mukana mahdollisesti tulevia epäpuhtauksia ja pidennetään järjestelmän käyttöikää. (Terburg n.d. 10 glycol tips for water chiller operators.)

Yrityksen välillisissä jäähdytysjärjestelmissä on kylmäliuoksena 60/40-suhteen vesi-etyleeniglykoliseos. Glykoli on Zero HD-lämmönsiirtonestettä, jonka pakkaskestävyys 40 tilavuus-%:lla on -24 celsiusastetta. Se suojaa putkistoja jäätymiseltä sekä korroosiolta.

## 2.3 Kylmäkerroin

Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan systeemi pyrkii itsestään todennäköisimpään tilaansa, joka on sen tasapainotila. Tämän todennäköisyyden mittana käytetään entropiaa  $S$  (kJ/K), joka saavuttaa maksiminsa tietyille systeemille tasapainossa. Toinen pääsääntö määrittää myös, mikä on suurin lämpövoimakoneesta saatava tai pienin lämpöpumpussa tarvittava työ. Molemmat rajatapaukset tapahtuvat teoreettisella prosessilla, jonka perusprosessi on Carnot-prosessi. Lämpöpumpun hyvyttä mitattaessa on huomioitava käyttötarkoitus.

Jäähdytyskäyttöistä lämpöpumppua kutsutaan kylmäkoneeksi, jolle käytetään käsitettä kylmäkerroin  $\varepsilon$ . Kylmäkerroin kertoo, missä suhteessa tehty työ tuottaa kylmätehoa. Laskeminen tapahtuu seuraavan yhtälön (1) mukaan. (Aittomäki 2012, 6-8.)

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{W} \quad (1)$$

missä  $\varepsilon$  = kylmäkerroin

$Q_0$  = jäähdytettävästä tilasta otettu lämpömäärä, kW

$W$  = tehty työ, kW

Vastaavasti Carnot-prosessin mukaan voidaan määrittää myös teoreettinen yläraja kylmäkertoimelle seuraavan kaavan (2) mukaan.

$$\varepsilon = \frac{T_0}{T - T_0} \quad (2)$$

missä  $T_0$  = Jäähdytettävän tilan absoluuttinen lämpötila, K

$T$  = Ulkoilman absoluuttinen lämpötila, K

$\varepsilon$  = Kylmäkertoimen teoreettinen maksimi

### Lämpöpumpun hyötysuhde COP

Lämpöpumppujen hyötysuhteesta käytetään nimitystä COP (Coefficient Of Performance). Lämpöpumppujen hyötysuhteet ilmoitetaan yleisesti COP-arvolla. Esimerkiksi COP-arvo 2,5 tarkoittaa, että 1 kW ottoteholla tuotetaan 2,5 kW lämpötehoa. COP-arvot mitataan kuitenkin aina +7 celsiusasteen lämpötilassa, joten luvun perusteella ei voida täysin päätellä laitteen toimivuutta vaihtelevissa lämpötilaoloissa. (Energian säästö ja lämpökertoimet. n.d.)

## Lämmityskauden lämpökerroin SCOP

SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) on lämmityskauden lämpökerroin. Kerroin lasketaan jokaiselle määritetylle lämmityskaudelle erikseen, koska sovellettavat lämpötilavälit, mitoituslämpötilat ja mitoituskuormat ovat lämmityskausikohtaisia. Euroopan alue on jaettu lisäksi kolmeen eri ilmastovyöhykkeeseen, joista Pohjois-Euroopan kylmän alueen laskenta perustuu Helsingin ilmasto-olosuhteisiin. Samalla lämpöpumpulla voi olla kolme erillistä energialuokitusta riippuen siitä, millä ilmastovyöhykkeellä laitetta käytetään. (Energian säästö ja lämpökertoimet. n.d.)

## Kylmäkertoimet EER ja SEER

EER (Energy Efficiency Ratio) ja SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) on lämpöpumpuille ilmoitettu kylmäkerrointa vastaava arvo. EER-arvo kertoo jäähdystehon laitteen ottoteholla jaettuna. SEER-arvo on SCOP-arvoa vastaava lämmityskauden kylmäkerroin. Se lasketaan jakamalla poistettu kokonaislämpömäärä laitteen kuluttamalla kokonaisenergialla. (AHRI 210/240 2017, 3, 6.)

## 2.4 Jäähdytystapa

Jäähdytysjärjestelmät jaetaan kahteen eri ryhmään, suoriin ja välillisiin järjestelmiin. Suoralla jäähdytyksellä tarkoitetaan höyrystimen suoraa kosketusta jäädytettävään aineeseen. Välillisessä jäähdytyksessä taas väliaine on lämmönsiirtimen välillä kosketuksissa jäähdytettävään aineeseen, kuten ilma, ja höyrystin on kosketuksissa ainoastaan väliaineeseen. (Kaappola ym. 2011, 75.)

### 2.4.1 Suora jäähdytys

Suorassa jäähdytyksessä kylmäaine siirtyy nesteenä höyrystimelle, ja palaa sieltä joko kokonaan tai osittain höyrystyneenä. Kylmäaineen höyrystymisen perusteella järjestelmää kutsutaan joko kuiva- tai märkähöyrystykseksi. Kuivahöyrystyksessä

paisuntaventtiilin avulla höyrystimeen päästettävän kylmäainevirtauksen suuruus pidetään sellaisena, että kaikki neste muuttuu höyryksi. Tämän ansiosta höyry voidaan johtaa suoraan kompressorille. Kuivahöyrystyskytkentä on yleinen pienissä ja keskisuurissa laitoksissa, joissa käytetään hiilivetypohjaista kylmäainetta.

(Aittomäki 2012, 269.)

Märkähöyrystysjärjestelmässä höyrystin pidetään täynnä nestemäistä kylmäainetta. Höyrystimestä lähtevä kylmäaine on kylläisen nesteen ja höyryn seos, jonka takia nesteen pääsy kompressoriin täytyy estää nesteenerottimella. Erottimesta neste valuu painovoimaisesti takaisin höyrystimeen. Höyrystimen lämmönsiirron tehokkuuden takia höyrystimen koko tehoon suhteutettuna on pieni. Järjestelmän haittana on kylmäaineen suuri määrä verrattuna kuivahöyrystyslaitokseen.

Märkähöyrystysjärjestelmää käytetään etenkin teollisissa kylmälaitoksissa, joiden kylmäaineena toimii ammoniakki järjestelmän varmatoimisuuden vuoksi. Myös hiilidioksidi, HFC- ja HCFC-aineita käyttävissä laitoksissa ratkaisu on mahdollinen, mutta esimerkiksi HFC-laitoksissa lisäkustannuksia tuo öljyn palautukseen höyrystimeltä tarvittava lisälaitteisto. (Aittomäki 2012, 270.)

#### 2.4.2 Välillinen jäähdytys

Välillisessä järjestelmässä lämpö siirretään ensin jäähdytettävästä kohteesta lämmönsiirtonesteeseen, esimerkiksi glykolivesiseokseen, josta lämpö siirtyy edelleen höyrystimestä kylmäkoneiston kylmäaineeseen, joka voi olla esimerkiksi R717 (ammoniakki). Välillisen järjestelmän etuja ovat esimerkiksi pieni kylmäainetäytös, säätöominaisuudet ja haitallisen kylmäaineen pääsyn estäminen jäähdytyskohteeseen. Haittoina ovat kylmäkertoimen huononeminen höyrystimen lämpötilaeron takia, suuremmat putkistot ja kylmäliuoksen pumppauskustannukset. (Aittomäki 2012, 270-271.)

## 2.5 Kylmälaitoksen komponentit

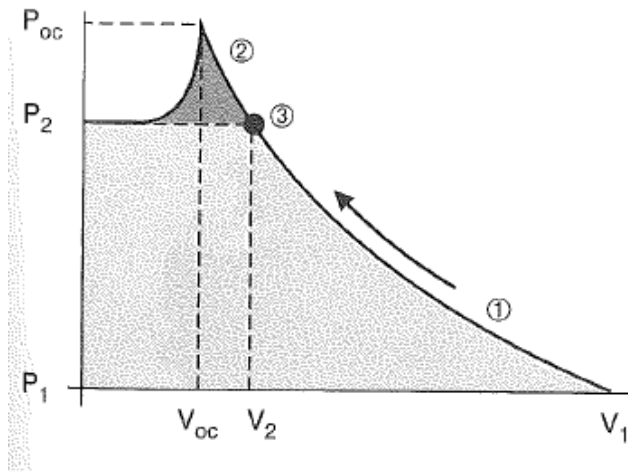
### 2.5.1 Kompressori

Kompressorin tehtävä on korottaa kylmäaineen paine höyrystymislämpötilasta lauhtumislämpötilaan. Työn toimeksiantajalla on jäähdytyspiireissä käytössään ruuvikompressoreita, joiden jäähdytysteho on välillä 0,7 – 1,4 MW.

Ruuvikompressorissa kahden pyörivän ruuvin ja kompressorin kuoren väliin jää puristustila. Ruuvien pyöriessä puristustila etenee ruuvin päästä päähän, jolloin puristustila ikään kuin pienenee. Puristus päättyy tilan edettyä poistoportille.

Hyötysuhteen parantamiseksi ruuvien poikkileikkauksen tulee olla epäsymmetrinen. (Aittomäki 2012, 149.)

Ruuvikompressorin toimintaperiaatteen takia tilavuussuhde on kiinteä, mistä johtuen myös painesuhde on kiinteä. Imupaineen ollessa vakio on höyryn paine myös puristuksen jälkeen vakio. Jos laitoksen painesuhde eroaa kompressorin painesuhteesta, syntyy häviöitä. Häviön suuruus on riippuvainen painesuhteiden poikkeaman koosta. Ruuvikompressorin käyttöalue määrittelee paineaukon koon ja muodon. Paineaukon määrittelemän tilavuussuhteen täytyy olla oikeassa suhteessa höyrystymis- ja lauhtumispaineiden suhteeseen, jotta yli- tai alipuristumisen suuret painehäviöt vältetään. Kompressoreissa on yleisesti automaattinen tilasuhdesäätö käyttöalueen hienosäätöä varten. Kuviossa 6 on hahmotettuna ylipuristuksesta aiheutuva häviö. (Hakala & Kaappola 2007, 155.)

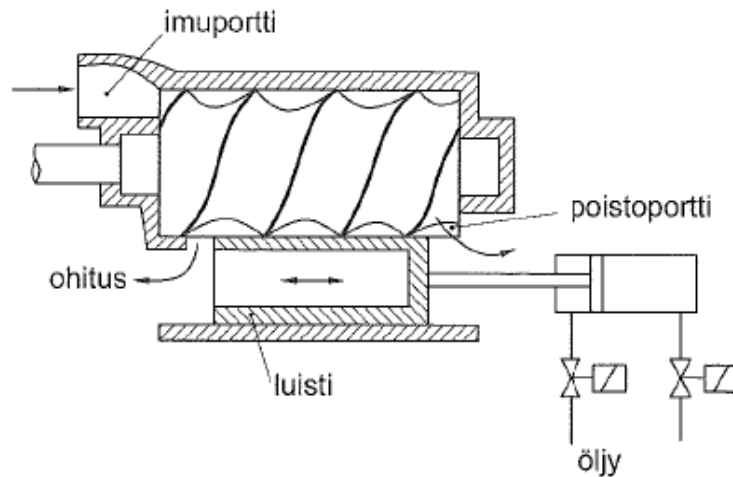


Kuvio 6. Ruuvikompressorin puristusprosessi (Hakala & Kaappola 2007, 155.)

Kuvion 6 pisteessä 1 on esitetty kompressorissa tapahtuva puristustyö. Ylipuristuksesta aiheutuvan häviön suhde on näkyvissä pisteessä 2. Jos kompressorissa on automaattinen tilavuussuhdesäätö, on sen vaikutus esitetty pisteessä 3. Tällöin ylipuristumista ja häviöitä ei tapahdu.

Ruuvikompressorin sylinteriin ruiskutetaan öljyä, minkä ansiosta pääroottori pystyy vetämään sivuroottoria. Öljystä syntyvä kalvo tiivistää roottorien välit, mikä vähentää vuotoja. Öljyvirtaus myös jäähdyttää kompressoria tehokkaasti, mistä johtuen puristuslämpötila laskee. (Aittomäki 2012, 149.)

Kompressoreiden säätö voidaan yksinkertaisimmillaan toteuttaa kierrosnopeutta muuttamalla. Yleisin tapa muuttaa kompressorin kierrosnopeutta on taajuusmuuttajan avulla. Ruuvikompressoreilla on suurin hyötysuhde tietyillä kierrosluvuilla, mutta hyötysuhde ei laske nopeasti, jos optimipisteestä poiketaan. Ruuvikompressoreissa tehoa voidaan säätää myös säätöluistilla, jonka siirto tapahtuu hydraulisesti öljyn paineella. Luistin avulla puristus voidaan toteuttaa alkavaksi halutusta kohdasta roottoria. Tilavuussuhde ja imetty tilavuus muuttuvat, kun puristuksen pituutta säädetään. Tehonsäätö on portaaton välillä n. 10 – 100 %. Tehonsäädön toiminta luistin avulla on näkyvissä kuviossa 7. (Aittomäki 2012, 150.)



Kuvio 7. Ruuvikompressorin tehonsäätö luistilla (Aittomäki 2012, 151.)

### 2.5.2 Lauhdutin

Lauhduttimessa kompressorin puristama kylmäainehöyry luovuttaa lämmön ja nesteytyy. Yleisimmin käytetään ilma- tai nestejäähdytteisiä lauhduttimia.

Nestejäähdytteisissä lauhduttimissa väliaineena toimii pakkasenkestävä seos.

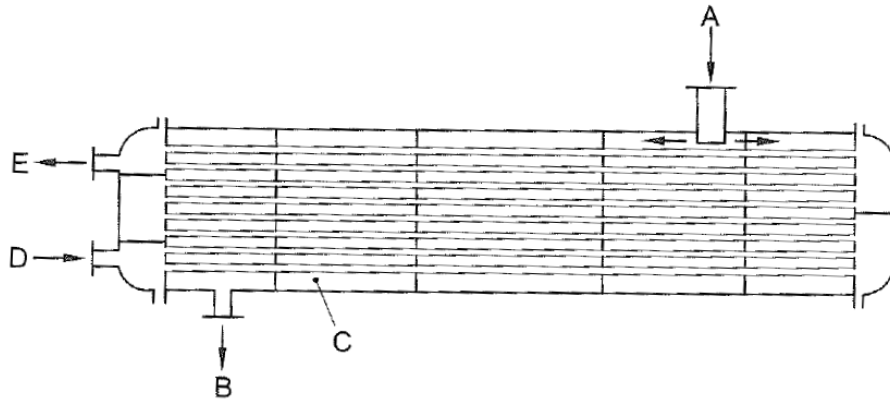
Ammoniakkilaitoksissa lauhduttimien putkien materiaalina käytetään usein terästä.

(Kaappola ym. 2011, 55.)

Lauhduttimet voivat olla rakenteeltaan koaksiaali-, säiliö- ja moniputkilauhduttimia tai levylämmönsiirtimiä. Koaksiaali- ja säiliölauhduttimia käytetään yleensä vain pienessä koneistossa suuremman rakenteen hinnan tai epäkäytännöllisyyden vuoksi.

Moniputkilauhduttimessa jäähdytysneste virtaa putkissa ja kylmäainehöyry lauhtuu vaipassa putkien ulkopinnalle. Hyvään lämmönsiirtoon vaaditaan suuri vesipuolen virtausnopeus, mutta korkea virtausnopeus lisää myös painehäviöitä sekä eroosiorroosiota. Moniputkilauhduttimen rakenne on näkyvissä kuviossa 8.

(Aittomäki 2012, 193-195.)



Kuvio 8. Periaatekuva moniputkilauhduttimesta (Aittomäki 2012, 194.)

Moniputkilauhduttimen periaatekuvasta:

- A. Kylmäainehöyryn sisääntulo
- B. Lauhteen ulostulo
- C. Nestetila
- D. Lauhduttavan nesteen sisääntulo
- E. Lauhduttavan nesteen ulostulo

Levylämmönsiirtimen tapainen lauhdutin koostuu useista päällekkäin pinotuista levyistä, missä joka toisen välissä virtaa lauhduttava neste ja toisessa kylmäaine. Höyry pääsee lämmönsiirtimeen sen yläosasta ja lauhde valuu alas keruukanavaan, josta se poistetaan. Moniputkilauhduttimen tehoa vastaava levylämmönsiirtimen tyyppinen lauhdutin on kooltaan ja sisätilavuudeltaan huomattavasti pienempi. (Kaappola ym. 2011, 56.)

### 2.5.3 Höyrystin

Höyrystimen tehtävä on höyrystää kylmäaine sitoen siihen lämpöä jäähdyttävästä kohteesta. Sen jäähdytystehoon vaikuttavat lämmönläpäisykerroin, lämmönsiirtoosan ulkopinta-ala sekä lämpötilaero. Höyrystimen mitoitusperiaatteena on yleensä höyrystimelle tulevan ilman sekä kylmäaineen höyrystimen lopussa olevan höyrystymislämpötilan lämpötilaero. Lämpötilaeron kasvaessa vesihöyryn

kondensoituminen höyrystimen pinnalle kasvaa ja ilman suhteellinen kosteus laskee. (Hakala & Kaappola 2007, 78.)

Ilmaa jäähdyttävä höyrystin voi toimia joko luonnollisen ilmakierron tai puhaltimen avulla. Jäähdyntynyt kylmä ilma on tiheämpää kuin ympäröivä ilma, joten se valuu alaspäin ja saa ilman kiertämään jäähdytystilassa. Pakotetussa ilmakierrossa ilma taas kulkee lämmönsiirto-osan läpi puhaltimen avulla. Lämmönsiirto-osan rakenteen pohjalta ilmaa jäähdyttävissä höyrystimissä käytetään yleensä lamellirakennetta, joka on helposti eri käyttötarkoituksiin ja teholuokkiin muunneltavissa. (Aittomäki 2012, 173-174.)

#### 2.5.4 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiili on toiminnaltaan virtauspinta-alaa pienentävä kuristusventtiili. Lauhduttimelta johdetaan jäähdytetty korkeapaineinen kylmäaine paisuntaventtiilille, jossa kylmäaineen virtausnopeus kasvaa virtauspinta-alan pienentymisen johdosta. Tämä aiheuttaa paineen laskemisen sekä kylmäaineen jäähtymisen. (Ilmastointijärjestelmän toimintaperiaate. n.d.)

Termostaattinen paisuntaventtiili säätelee kylmäaineen ruiskutusta höyrystimelle. Höyrystimen imuputki lämpenee kylmäaineen tulistuksen lisääntyessä, josta lämpö johtuu putken pinnalle asetettuun paisuntaventtiilin tuntoelimeen, jonka täytös lämpenee. Tuntoelimen nouseva paine välittyy kapillaariputken kautta kalvolle, joka liikuttaa suuttimessa olevaa neulaa. Neulan liikuessa venttiili avautuu ja höyrystimeen pääsevä massavirta suurenee. Paisuntaventtiilin valinta tehdään höyrystymis- ja lauhtumislämpötilan, paine-eron, kylmäaineen sekä kylmäaineen alijäähtymisen mukaan. (Aittomäki 2012, 213-214.)

### 3 Lämpötilatarkastelun menetelmän kuvaus

#### Lämpötiladata

Jäähdytettävien tilojen jäähdytyksen tarkoituksenmukaisuuden kartoituksessa käytettiin aluksi hyödyksi raportointijärjestelmään jo kerättyä vuoden 2017 lämpötiladataa. Tarkasteltavien mittapisteiden suuren määrän vuoksi (noin 500 anturia) lämpötila-analyysillä saatiin eriteltyä esille poikkeavimpia kohteita.

Lämpötiladata sisälsi tilaa kohti yhden tai useampia mittauspisteitä, jotka vuoden 2017 ajalta olivat raportoineet yhden lämpötila-arvon tunneittain. Data jaoteltiin tuotantoaluekohtaisesti kuuteen eri tiedostoon, jolloin käsiteltävän tiedon määrä ja kuvaajien muodostaminen muuttui järkevämmäksi.

Vuositason lämpötilakeskiarvon tarkastelussa oli tärkeää, että tarkasteltavaan lämpötiladataan pystyy luottamaan eikä järjestelmään dataa syöttävä anturi ole ollut esimerkiksi hajonneena osaa vuodesta, jolloin saatavat tulokset olisivat vääristyneitä. Hajonnut anturi näyttäisi tasaisesti lämpötilaa 0 tai 100 celsiusastetta. Tämän vuoksi tietoja, joista kuvaajat luotiin, täytyi läpikäydä silmämääräisesti ja virhetiloista johtuneet tuloksiin selvästi vaikuttavat arvot karsia pois.

#### Osastokohtaiset haastattelut

Osastokohtaisia haastatteluja järjestettiin sen jälkeen, kun datasta saatiin esitettyä ensimmäisiä tuloksia tuotantoalueittain. Keskusteluja käytiin tuotantopäälliköiden, tekniikan esimiesten ja laatuhenkilöstön kanssa sen mukaan, kuka oli saatavilla ja kenellä oli asiasta osastoittain eniten tietämystä. Keskustelujen pohjalta saatiin tietoa osastokohtaisesta lämpötilatasojen ymmärryksestä ja optimointia vaativista kohteista, joita ei datan pohjalta pystytty näkemään. Analyysistä karsittiin lisäksi virheitä, jotka muodostuivat esimerkiksi väärästä tavoitearvosta raportointijärjestelmässä ja selvitettiin optimointia tarvitsevia jäähdytettäviä tiloja, joita ei tullut esille lämpötila-analyysin kautta.

## Datan analysointi

Tuotantoalueista rakennettiin kustakin osastosta kolme kuvaajaa, joilla voitiin esittää millä tasolla alueiden jäähdytettyjen tilojen lämpötila-arvot olivat. Kuvaajissa näkyvä tieto muodostettiin kymmenestä eniten tavoitteen alittavasta tilasta, kymmenestä ylittävästä tilasta sekä yksi kuvaaja, josta nähtiin lämpötilojen ylitys- ja alitusvaihtelujen väli, keskiarvotavoite ja keskiarvolämpötila kuukausittain.

Keskiarvotavoite saatiin ottamalla keskiarvo osaston jäähdytettyjen tilojen tavoitteista. Keskiarvolämpötilan käyrä muodostettiin tilojen kuukausikohtaisista keskiarvolämpötiloista. Ylityksissä ja alituksissa päädyttiin ottamaan keskiarvo vuoden aikana tapahtuneista ylityksistä ja alituksista, jolloin muodostuneet käyrät saatiin esittämään keskimääräisiä arvoja. Koska lämpötila poikkesi tarkastelun kannalta tavoitteesta jokaisena mitattuna hetkenä (lukuun ottamatta silloin, kun mitattu arvo oli asteen sadasosan tarkkuudella sama kuin tavoitearvo), saatiin kyseisellä esitystavalla ylitysten ja alitusten väli esittämään lämpötilan keskimääräistä vaihteluväliä osastoittain. Jos kuukaudessa tilassa oli ollut esimerkiksi 100 mitattua lämpötila-arvoa, jolloin tavoite oli ylittynyt, oli keskiarvollinen ylitys näiden ylitysten summa jaettuna 100:lla.

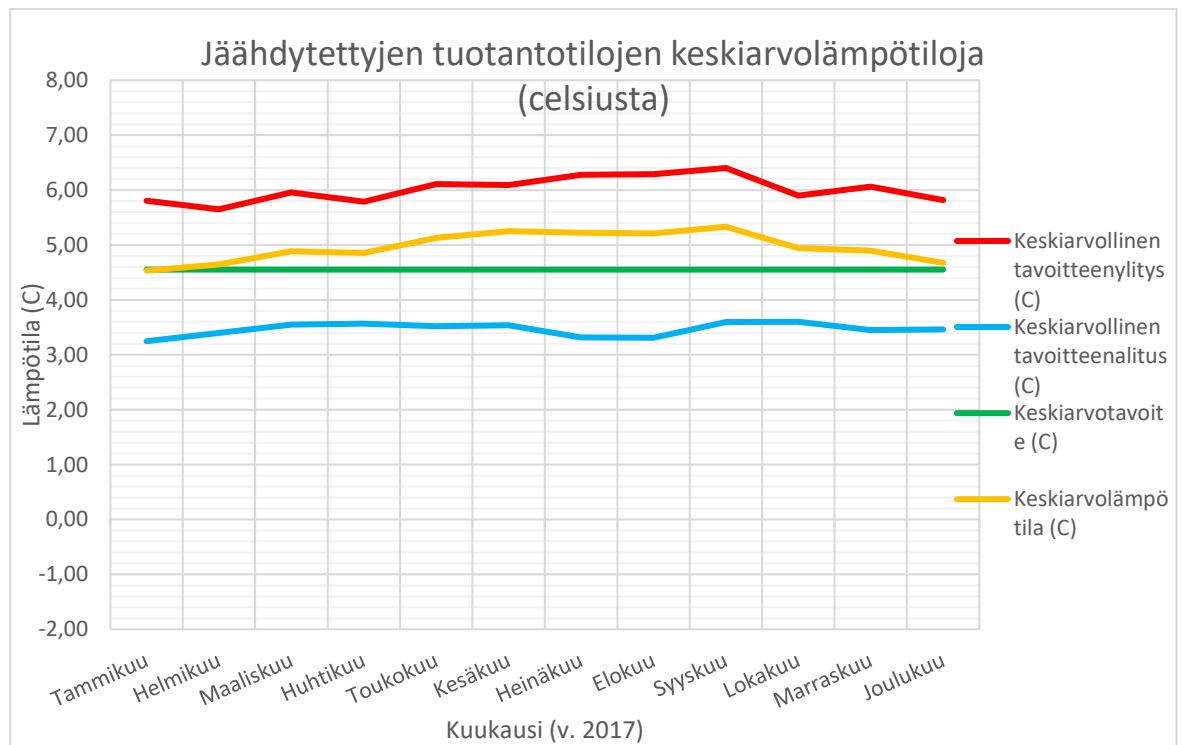
Perusteena tällaiselle tarkastelulle on parempi näkemys siitä, mikä oli lämpötilojen oikea vaihteluväli keskiarvotavoitteen ympärillä ja kuinka hyvä oli lämpötilan pysyvyys tavoitteeseen nähden. Vuoden tunneilla jaettuna keskiarvollinen ylitys ja keskiarvollinen alitus olisivat itseasiassa lähempänä keskiarvotavoitetta kuin keskiarvolämpötilan käyrän vaihtelu. Tavoitellun tiedon kannalta valittu tarkastelu oli kuvaavampi.

## 4 Tuotantoalueiden käsittely

Tuotantoalueiden tarkastelussa hyödynnettiin tuotantoalueiden lämpötilatasoista saatuja kuvaajia sekä niiden tukena laatuhenkilöstöltä, tuotantopäälliköiltä sekä tekniikan henkilöstöltä haastattelujen aikana selvinnyttä informaatiota.

### 4.1 Tuotantoalue 1

Tuotantoalueen 1 lämpötilatasot ovat näkyvissä kuviossa 9. Keskiarvolämpötilat muodostettiin alueen kaikkien jäähdytettyjen tuotantotilojen arvoista.



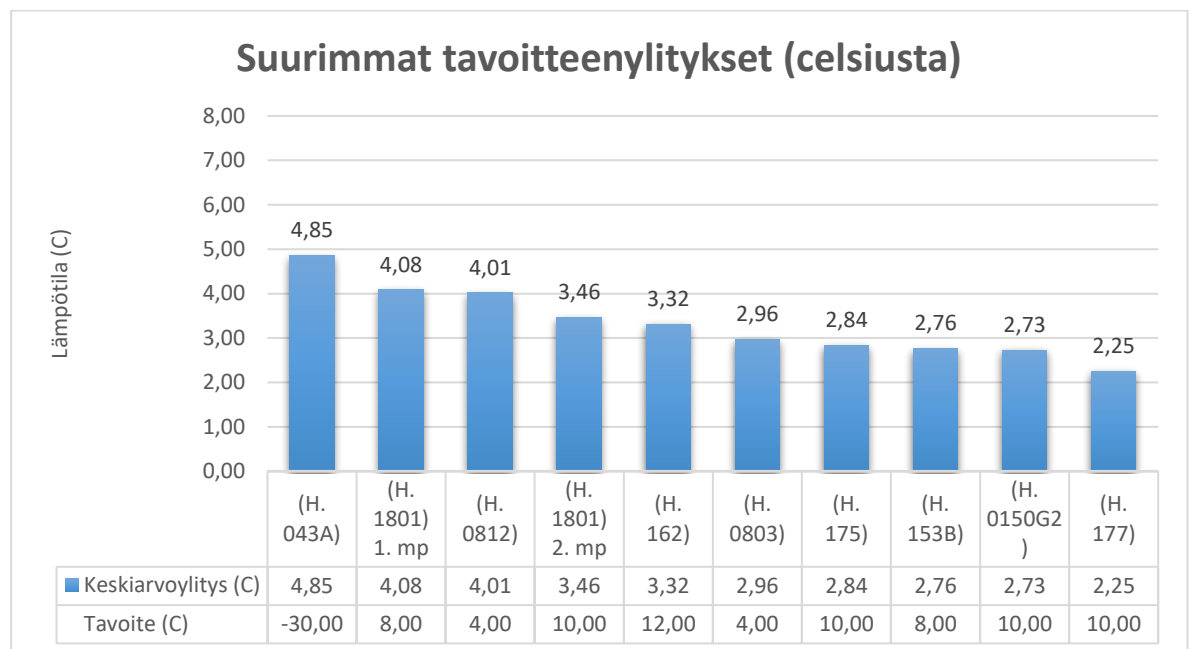
Kuvio 9. Tuotantoalueen 1 jäähdytettyjen tilojen keskiarvolämpötiloja

Alueen keskiarvolämpötila käyttäytyi tavoitteeseen verrattuna odotetulla tavalla vuodenaikoihin nähden. Tuotantoalueen ylitys- ja alitusväli oli kuitenkin melko suuri. Alueella on läpivientejä ylä- ja alakerran välillä sekä avoimia kulkuyhteyksiä eri lämpötilatasoisten tilojen välillä, ja niistä aiheutui pientä vaihtelua erilämpöisen ilman päästessä kulkemaan tilasta toiseen. Ylityskäyrän ero tavoitteeseen oli suurempi osittain myös joka yö tapahtuneiden pesujen takia, jolloin pestävien tilojen

lämpötila anturien mittausten osalta nousi muutamaksi tunniksi jopa yli 15 asteeseen. Alitukset pysyivät vuositasolla saman suuruisina, koska ulkolämpötiloilla ja pesuilla ei ollut niihin samankaltaista vaikutusta kuin ylityksiin.

### Havainnot tuotantoalueella 1

Tuotantoalueella 1 eniten tavoitelluista lämpötiloista ylöspäin poikenneet huoneet näkyvät kuviossa 10.



Kuvio 10. Tuotantoalueen (1) 10 eniten tavoitteen ylittänyttä tilaa

Tilojen tavoitepoikkeamien ylitykset johtuivat pääasiallisesti pesutilanteista.

Huoneen 0803 osalta oli tiedossa, että tilassa jäähdytettiin laatikoita ilman tuotteita.

Tilan 0803 lämpötila voitaisiin nostaa lähemmäksi 15 °C:ta, jolloin laatikoiden

lämpötiloissa ei syntyisi vielä ongelmia. Vieressä oleva laatikoiden pesutila lämmitti

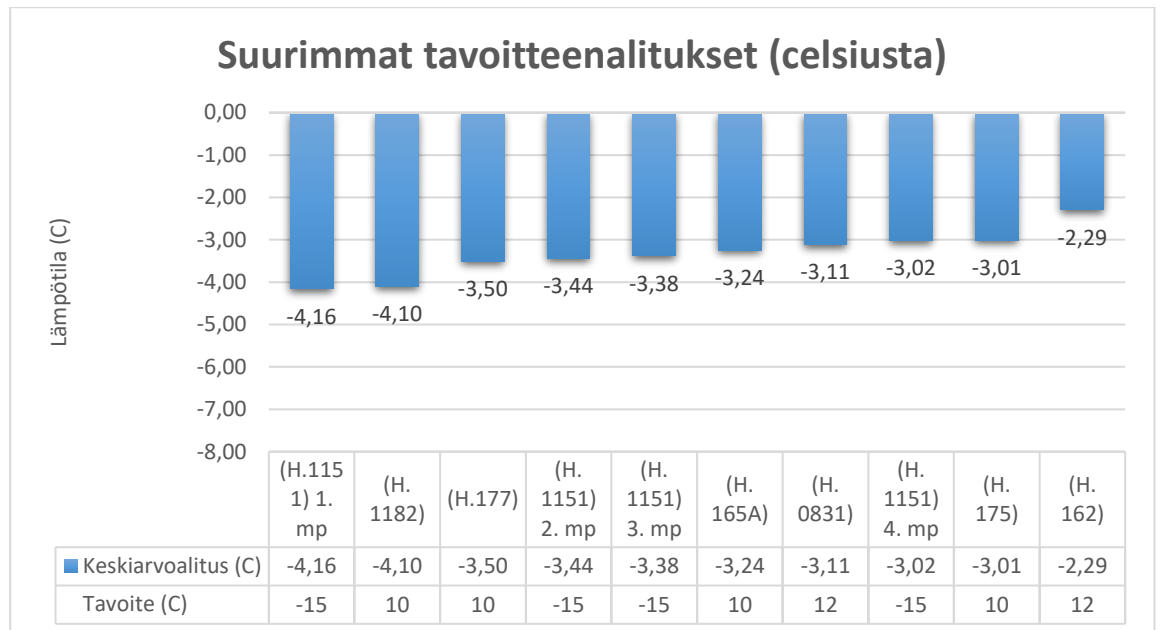
myös laatikkovarastoa. Huoneen 043A osalta ei aina päästy määriteltyyn

tavoitelämpötilaan. Tavoitelämpötila oli mahdollisesti määritetty liian matalaksi

tarvittavaan nähden.

Huoneen 1801 mittauspisteille oli määritetty kaksi eri tavoitetta (8 °C ja 10 °C). Lämpötila viereisten huoneiden osalta oli määritetty 10 °C:seen ja kommenttien pohjalta kyseinen lämpötila oli oikea myös tilalle 1801.

Tuotantoalueella 1 tavoitelluista lämpötiloista eniten alaspäin poikenneet tilat on esitetty kuviossa 11.



Kuvio 11. Tuotantoalueen (1) 10 eniten tavoitteen alittanutta tilaa

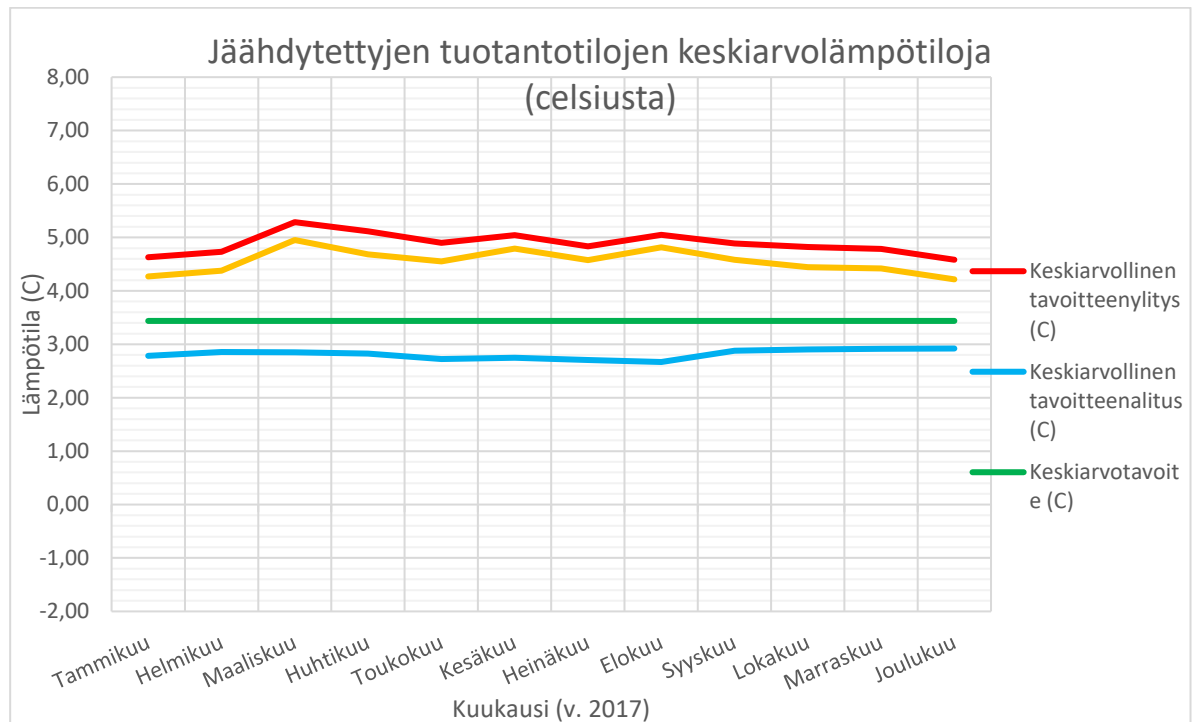
Tavoitteenalituksista nähdyn huoneen 1151 usean mittapisteen poikkeamat selittyvät suuren jäähdystilan alkupäähän määritetystä matalammasta lämpötilasta. Tilaa ei ole jaettu mitenkään, vaan lämpötila laskee alkupäästä loppupäähän kuljettaessa. Tilojen 1819 ja 1808 lämpötilat olivat jonkin verran matalammat kuin määritetyn tavoitteen 10 °C:ta, joka haastattelun mukaan olisi riittävä. Kylmemmästä lämpötilasta ei kuitenkaan ole haittaa. Myös huoneen 165A lämpötila voisi olla määritetty 10 °C:seen. Tilaa pidetään kylmempänä kuin olisi tarvetta.

Tuotantoalueen 1 henkilöstön kautta selvinneitä muita havaintoja ovat seuraavat:

- Varastojen (199, 199B, 4) lämpötila voitaisiin säätää viikonlopuksi nykyistä asteen korkeammaksi (3,5 celsiusastetta -> 4,5 celsiusastetta) ja maanantaiaamuksi takaisin normaaliin.
- Varastoa 163 jäähdytetään turhaan. Tilassa on ainoastaan pahvia ja pakkausmateriaalia.
- Huoneen 0806 jäähdytystarve on epävarma, tilan ei ainakaan tarvitsisi olla 6 celsiusasteessa.
- Käytävän 0826 rullaovien aukioloja olisi syytä tutkia. Viereisten tuotantotilojen lämpötilat ovat paljon matalampia, mutta ovia pidetään auki. Lisäksi käytävää joutuu väliaikaisvarastoinnin takia pitämään normaalia kylmempänä.

## 4.2 Tuotantoalue 2

Tuotantoalueen 2 jäähdytettyjen tuotantotilojen keskiarvolämpötilat ovat näkyvissä kuviossa 12.

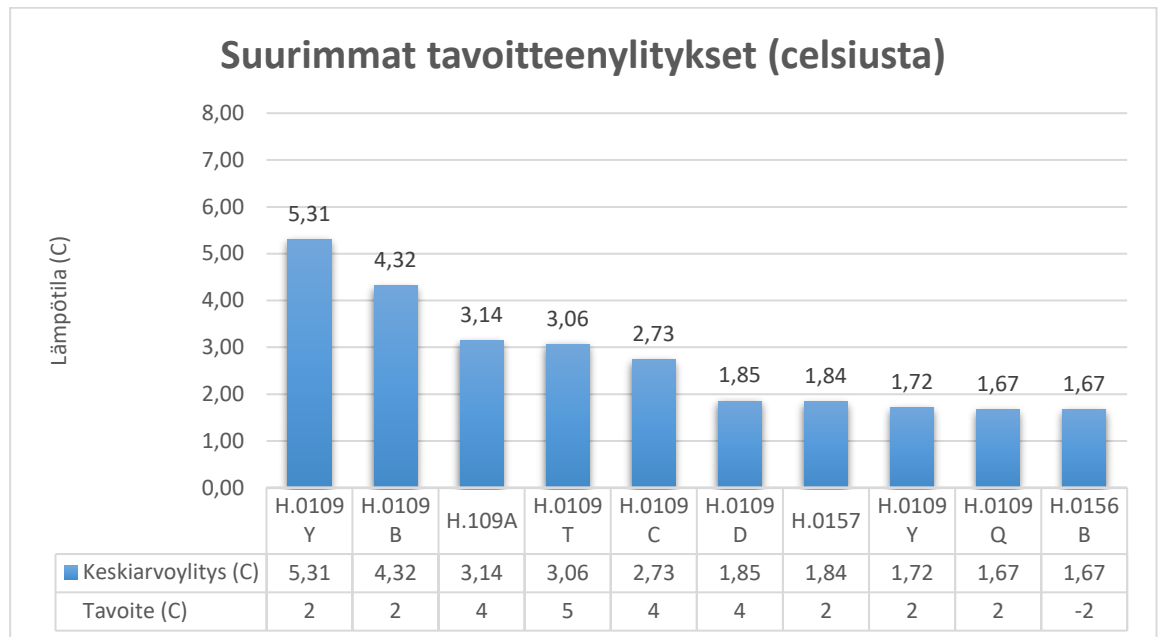


Kuvio 12. Tuotantoalueen 2 jäähdytettyjen tilojen keskiarvolämpötiloja

Kuvaajasta nähdään, että tuotantoalueen keskiarvolämpötila oli hyvin lähellä tavoitteen ylitysten käyrää. Tästä voidaan päätellä, että tavoitearvon ylittäviä tunteja tapahtui melko usein ja tilojen lämpötila oli keskimäärin tavoitearvon yläpuolella. Tavoitteen ylitykset eivät tässä tapauksessa johtuneet ainoastaan pesutilanteista, vaan lämpötilat olivat myös tuotantoaikoina tavoitetta korkeammalla. Olisi mahdollisesti tarvetta tarkastella asetettuja tavoitteita, oliko tavoitteita määritetty liian matalalle tai joidenkin tilojen käyttötarkoitus muuttunut tavoitteen asettamisen jälkeen. Tavoitteenalitukset olivat lähellä keskiarvotavoitetta ja niiden osalta oltiin datan pohjalta hyvällä tasolla.

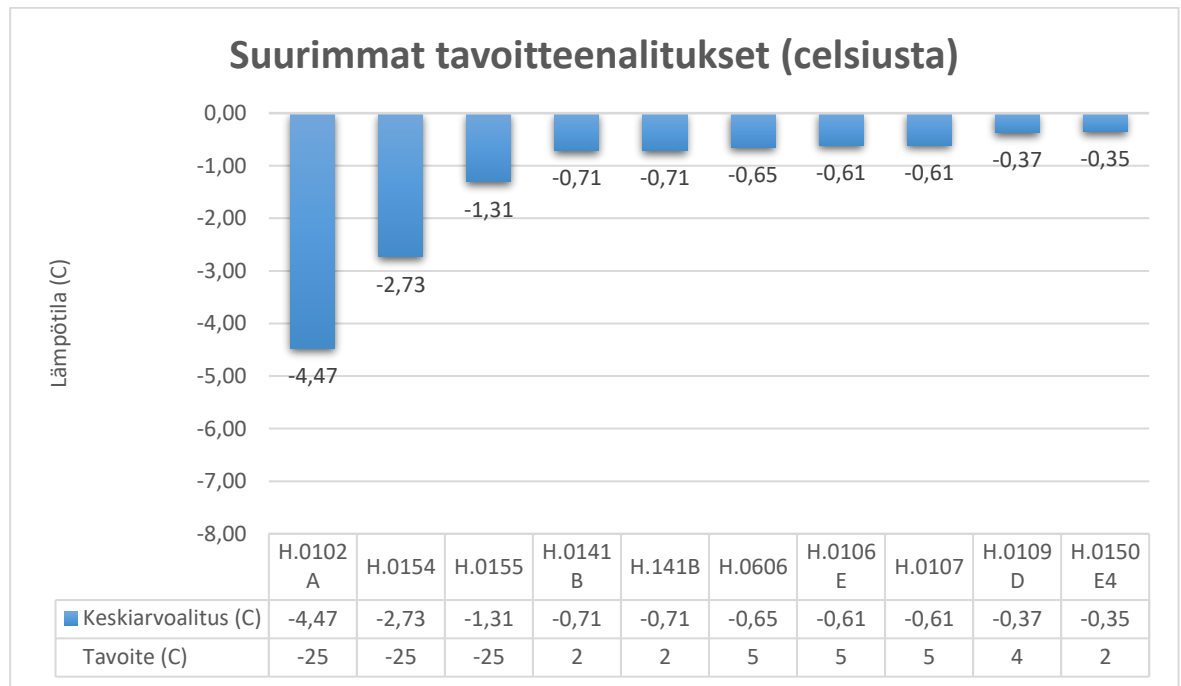
### Havainnot tuotantoalueella 2

Tuotantoalueella 2 tavoitelämpötilan eniten ylittäneet tilat ovat näkyvillä kuviossa 13 ja tavoitelämpötilan eniten alittaneet tilat kuviossa 14.



Kuvio 13. Tuotantoalueen (2) 10 tavoitteen eniten ylittänyttä tilaa

Huonenumerolla 0109. olevat tuotantotilat ovat suurelta osin lämpimämpiä kuin tavoitteisiin oli määritelty. Tilat ovat kytköksissä toisiinsa, joten kuvion mukaan koko alueella on yleisesti korkeampi lämpötilataso ja ylityksiä tapahtuu useammin, kuin mihin tavoitteiden pohjalta pyrittiin. Todennäköisin selitys on huoneiden käyttötarkoitusten ja arkkitehtuurin muutos alkuperäisestä määritetystä rakenteesta, jolloin myös tavoitteet ovat osittain pielessä. Tila 0157 saa jäähdytyksen saman piirin kautta kuin läheinen varasto, jonka vaatimuksena on kahden asteen lämpötila. Tilaa 0157 voisi kuitenkin pitää neljässä asteessa oman tarpeensa mukaisesti. Tilojen jäähdytys tulisi mahdollisuuksien mukaan erottaa toisistaan.



Kuvio 14. Tuotantoalueen (2) 10 tavoitteen eniten alittanutta tilaa

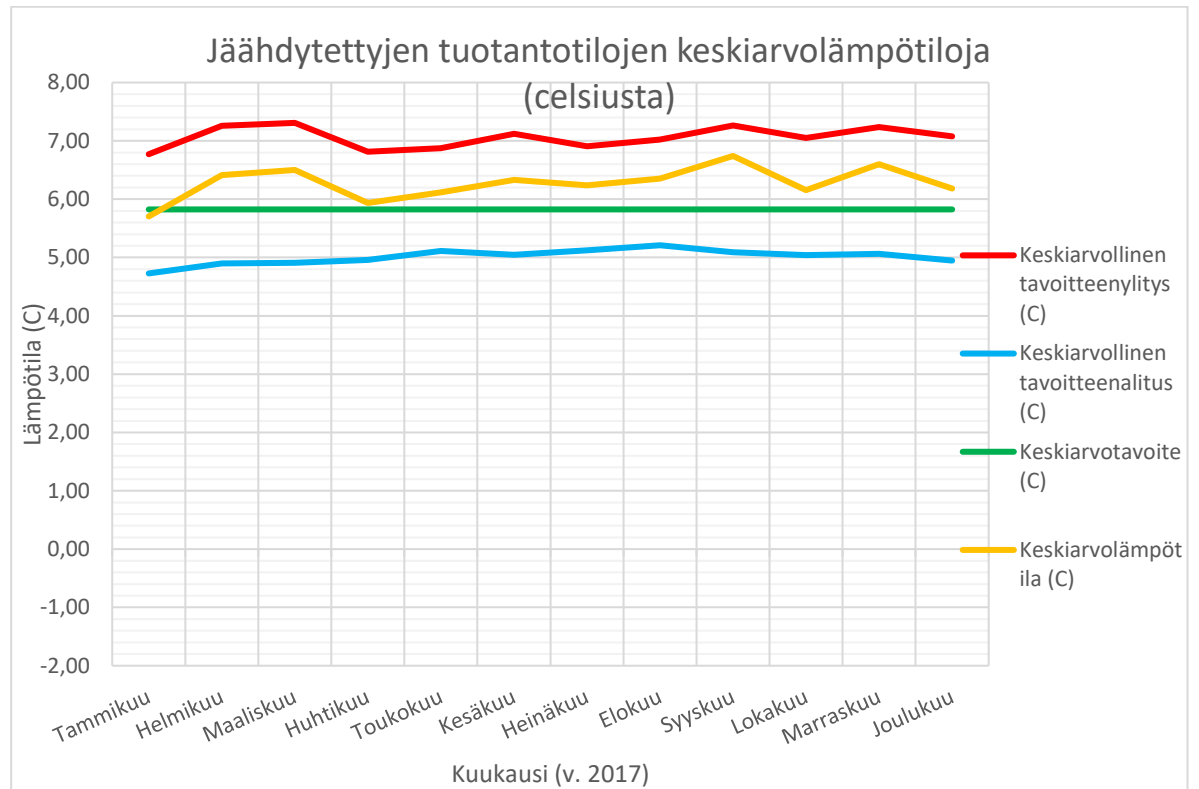
Tavoitteenalitusten osalta ainoastaan tiloissa 0102, 0154 ja 0155 tapahtui merkittäviä lämpötilatavoitteista poikkeamia. Pakkastiloille määritetyt lämpötilat ovat usein suuntaa-antavia ja mahdollisuuksien mukaan pyrittiin saavuttamaan vielä matalampia lämpötiloja kuin oli tavoitteiksi asetettu nopeamman jäähdytyksen saavuttamiseksi.

Tuotantoalueen 2 henkilöstön kautta selvinneitä muita havaintoja ovat seuraavat:

- Vastaanottotila 0153 voisi olla samassa viiden asteen lämpötilassa kuin käsittelytila 0606. Viereisten kohmetustilojen vuoksi vastaanottoon on määritetty kuitenkin kahden asteen tavoite. Jos tilayhteydet sallivat, voisi vastaanottotilan lämpötilaa pyrkiä muuttamaan. Käsittelytilan ja vastaanoton eristää toisistaan yksittäinen pikarullaovi.
- Varastoa 0609 jäähdytetään mahdollisesti turhaan. Tilassa ei ole tuotetta ja käyttötarkoitus aikojen saatossa muuttunut. Tilan jäähdytystarve tulisi määrittää uudelleen.

### 4.3 Tuotantoalue 3

Tuotantoalueen 3 jäädytettyjen tuotantotilojen keskiarvolämpötilat ovat näkyvissä kuviossa 15.

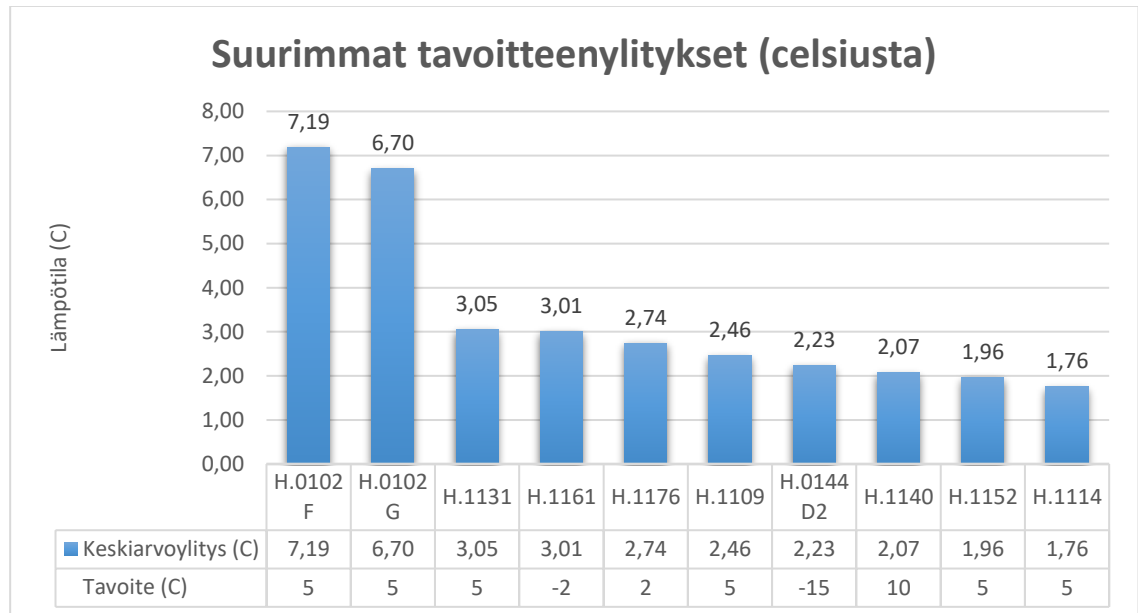


Kuvio 15. Tuotantoalueen 3 jäädytettyjen tilojen keskiarvolämpötiloja

Kuvaajasta on nähtävissä keskiarvolämpötilan käyrän olevan lähempänä keskiarvotavoitetta kuin tavoitteenylityksiä. Tavoitteenylitysten tuntimäärä ja suuruus oli täten pienempi, kuin esimerkiksi tuotantoalue 2:lla. Lämpötilassa on nähtävillä noin puolenasteen heittoa kuukausien välillä, joihin ei ole selvillä suoranaista syytä. Vaihtelun voisi selittää ulkolämpötiloilla, jos nousut olisivat osuneet kesäkuukausien ajoiksi. Lämpötilahaarukka on pesutilanteet huomioon ottaen jokseenkin samansuuruinen ylitysten ja alitusten välillä.

### Havainnot tuotantoalueella 3

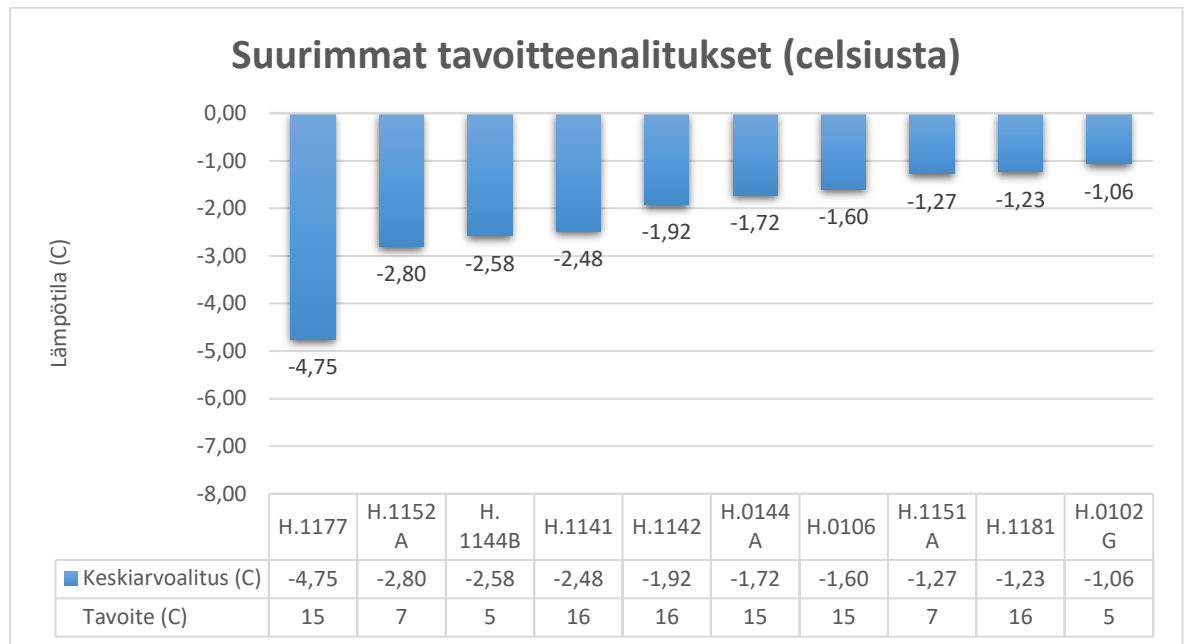
Tuotantoalueella 3 tavoitelämpötilan eniten ylittäneet tilat ovat näkyvillä kuviossa 16 ja tavoitelämpötilan eniten alittaneet tilat kuviossa 17.



Kuvio 16. Tuotantoalueen (3) 10 tavoitteen eniten ylittänyttä tilaa

Pakkauksen 0102F ja lavauksen 0102G keskiarvoiset tavoitteenylitykset ovat niin suuria, että niiden täytyy johtua pitkäaikaisista normaalista poikkeavista lämpötiloista. Poikkeustilojen aikana jäähdytys oli todennäköisesti ollut kokonaan poissa käytössä. Tilat ovat kytköksissä toisiinsa, mutta esimerkiksi lavaustilaan asetettu 5 celsiusasteen tavoite on mahdollisesti turha. Lavaustilassa ei ole tuotetta, pakkaamotilassa taas on. Lavauksen jäähdytystarve tulisi määrittää uudelleen.

Muiden tilojen ylityksiin vaikutti osittain tuotantoalueella olevat useat eri lämpötila-alueet (5-15 °C:ta). Esimerkiksi kulkuväylän varrella olevien varastojen ovet ovat käytännössä aina auki, ja kulkuväylältä on pääsy tuotantoalueen jokaiseen päätilaan. Itse kulkuväylä on myös jaoteltu osiin pikarullaovien avulla, mutta liikenteen vuoksi niitä avataan usein.



Kuvio 17. Tuotantoalueen (3) 10 tavoitteen eniten alittanutta tilaa

Tilan 1177 vieressä on varasto 1176, jonka lämpötila on kahden asteen tuntumassa. Tilojen välillä on normaali henkilöovi, joten lämpötilatasot sekoittuvat jossain määrin. Tilaa 1177 ei tämän perusteella jäädytetty turhaan kylmemmäksi kuin tarkoitus, vaan alitus johtui tilayhteyksistä.

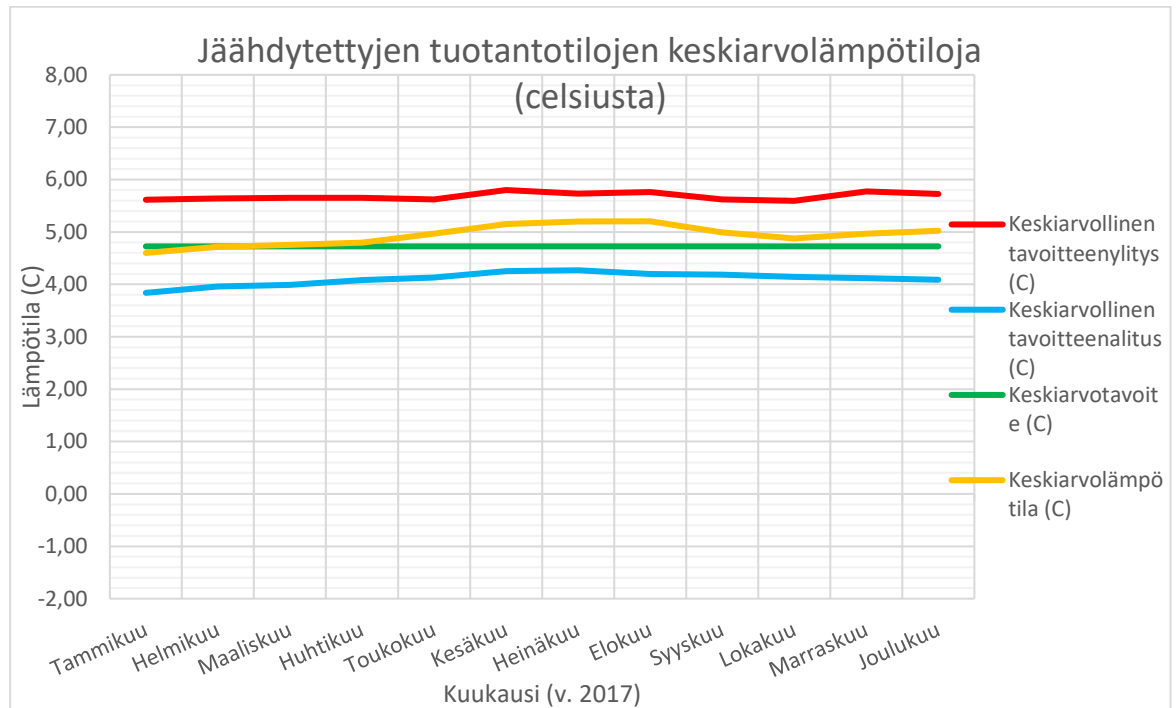
Huoneiden 1152A ja 1151A tavoitteet on todennäköisesti raportointijärjestelmässä väärin. Viereisten tilojen lämpötilatavoite on viisi astetta, jolloin näiden tilojen lämmöt ovat myös lähempänä todellista haluttua tasoa.

Tuotantotila 1141 ja varasto 1142 ovat isoja avoimia tiloja, joiden lämpötilaan vaikuttivat viereisten tilojen alemmat lämpötilatasot. Huoneen 1141 tavoitteen ei kommenttien mukaan tarvitsisi olla 16 astetta. Tilaa ei kuitenkaan tarvitse erikseen jäädyttää alempaan lämpötilaan.

Tilan 1144B ja muiden tasaantumisvarastojen tavoitearvoissa oli paljon vaihtelua raportoinnissa. Tasaantumisvaraston voisi haastattelun pohjalta nostaa 5 celsiusasteeseen ottaen ympäröivät tilat huomioon.

#### 4.4 Tuotantoalue 4

Tuotantoalueen 4 jäähdytettyjen tuotantotilojen keskiarvolämpötilat ovat näkyvissä kuviossa 18.

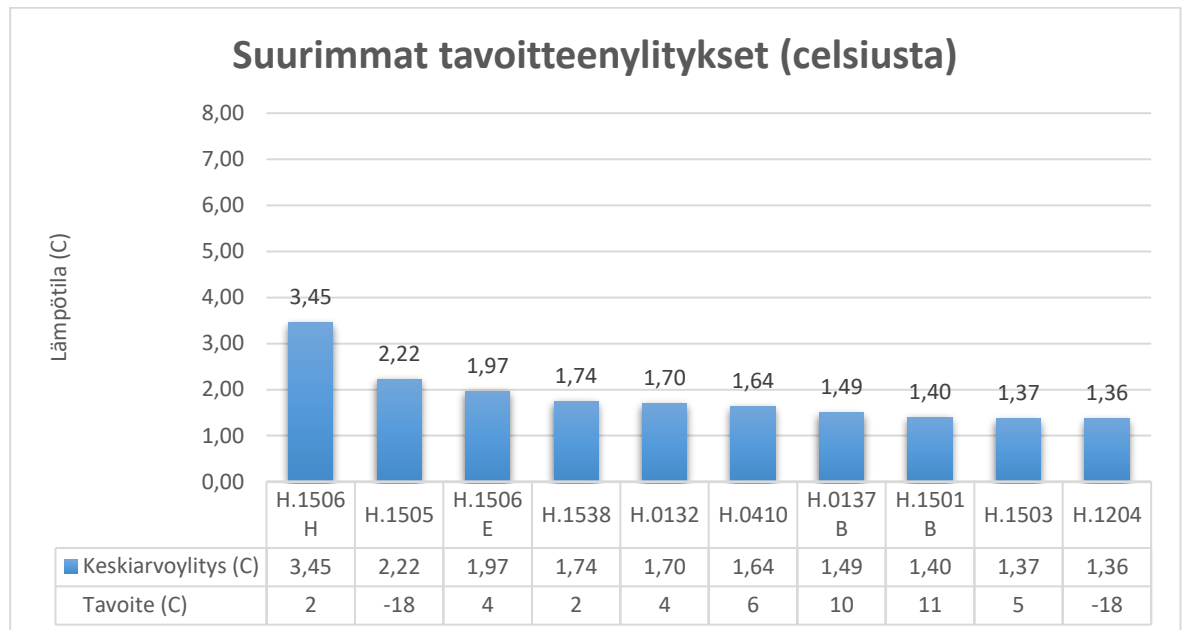


Kuvio 18. Tuotantoalueen 4 jäähdytettyjen tilojen keskiarvolämpötiloja

Tuotantoalueen keskiarvolämpötila pysyi samassa tasossa kuin keskiarvotavoite ylitysten ja alitusten välin ollessa alle yhden asteen verran kumpaankin suuntaan. Käyrät pysyvät samankaltaisina läpi vuoden lukuunottamatta keskiarvolämpötilassa tapahtunutta pientä nousua kesäkuukausien ajaksi. Kuvion pohjalta tilojen määritettyjen lämpötilojen pysyvyys on hyvällä tasolla, ja molempiin suuntiin tapahtuvien vaihtelujen määrät hyvin pieniä.

#### Havainnot tuotantoalueella 4

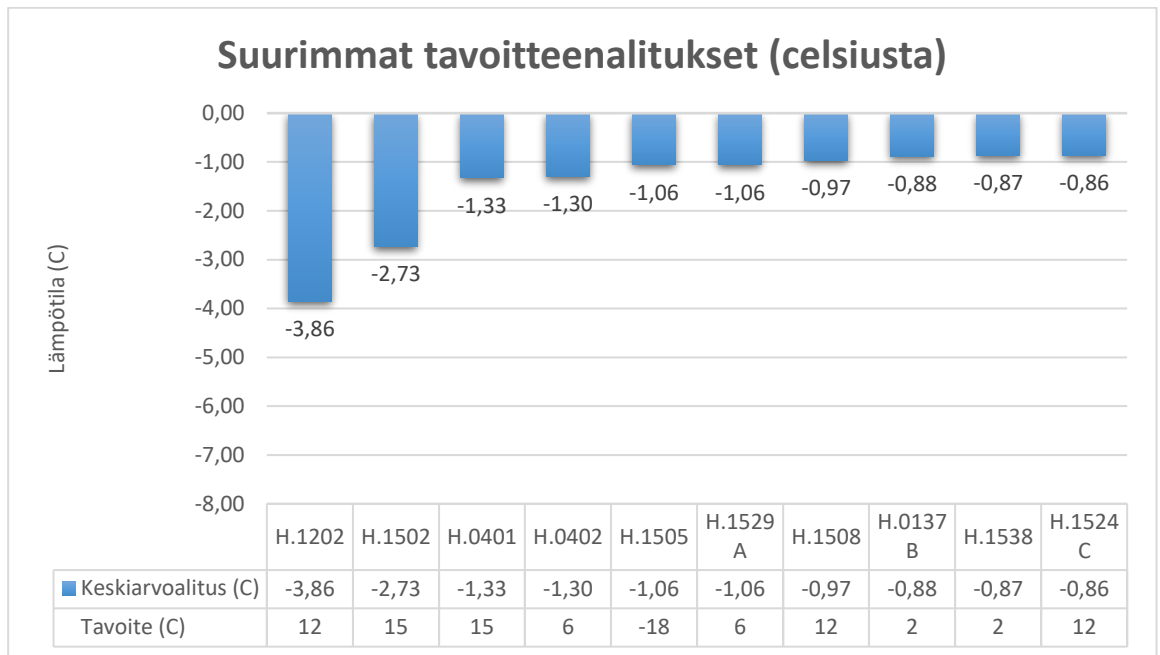
Tuotantoalueella 4 tavoitelämpötilan eniten ylittäneet tilat ovat näkyvillä kuviossa 19 ja tavoitelämpötilan eniten alittaneet tilat kuviossa 20.



Kuvio 19. Tuotantoalueen (4) 10 tavoitteen eniten ylittänyttä tilaa

Varaston 1506H ylityksiä voi selittää molemmilla puolin olevilla ovilla, jotka johtavat lämpoisempiin tiloihin kuin kyseinen varasto. Tuotantoalueella oleviin varastoihin on muutenkin paljon liikennettä tuotantoaikoina, mistä johtuen esimerkiksi pakkasvarastot 1505 ja 1204 ovat näkyvissä kuviossa 19.

Lisäksi alueella on paljon tuotantotiloja, joiden lämpötila on paljon korkeampi kuin esimerkiksi valmistustilan 0132. Tilayhteydet ovat satunnaisten mitattujen ylitysten suurin selittäjä. Lisäksi haastattelun pohjalta mittauspisteiden paikkoja tulisi tarkistaa, koska lähellä olevat koneet lämmittivät joitain antureita.



Kuvio 20. Tuotantoalueen (4) 10 tavoitteen eniten alittanutta tilaa

Varaston 1202 lämpötila oli selvästi matalampi kuin tavoitteeksi määritetty 12 celsiusastetta. Kyseinen alitus johtuu kylmemmäksi asetetusta jäähdytyksestä, jolloin on oletettavaa, että tilan tavoite on määritetty vääräksi raportointijärjestelmään. Viereisen suuremman tuotantotilan tavoite on kuitenkin asetettu samaan 12 celsiusasteeseen, joka pääsääntöisesti toteutui. Varaston ovet ovat lisäksi usein auki, joten kylmemmälle lämpötilalle ei ole käytännössä varsinaista syytä.

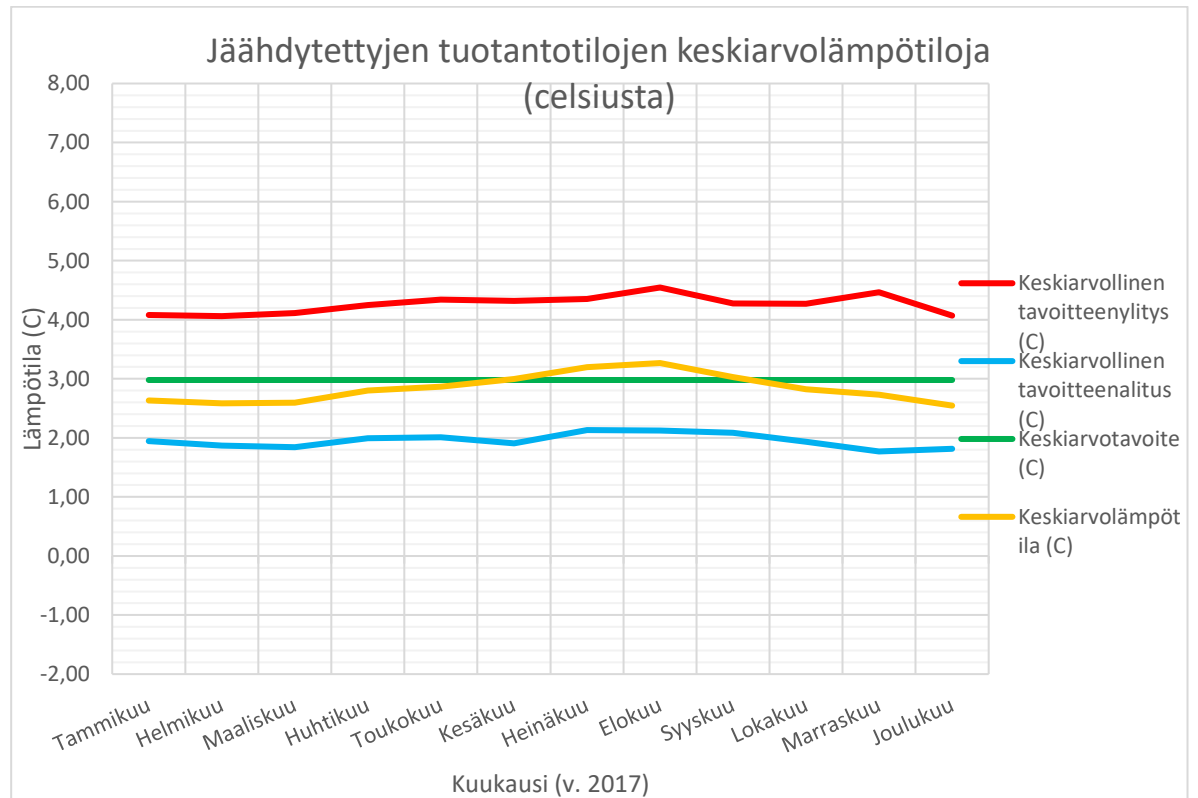
Tilan 1502 alitukset johtuvat myös pääsääntöisesti matalammasta jatkuvasta lämpötilasta kuin tavoitteeksi on määritetty. Vieressä olevan lämpimän tuotantotilan pitäisi vaikuttaa käsittelytilaan päinvastaisesti. Oletuksena tilan lämpötila on asetettu matalammaksi kuin tavoitteesta on nähtävissä.

Tuotantoalueen 4 henkilöstön kautta selvinnyt muu havainto:

- Lämpötilavaatimuksia on muutettu vuoden 2018 aikana. Kyseiset muutokset eivät olleet nähtävissä saaduissa tavoitearvoissa, joten osa epäkohdista on jo mahdollisesti korjattu.

## 4.5 Tuotantoalue 5

Tuotantoalueen 5 jäädytettyjen tuotantotilojen keskiarvolämpötilat ovat näkyvissä kuviossa 21.



Kuvio 21. Tuotantoalueen 5 jäädytettyjen tilojen keskiarvolämpötiloja

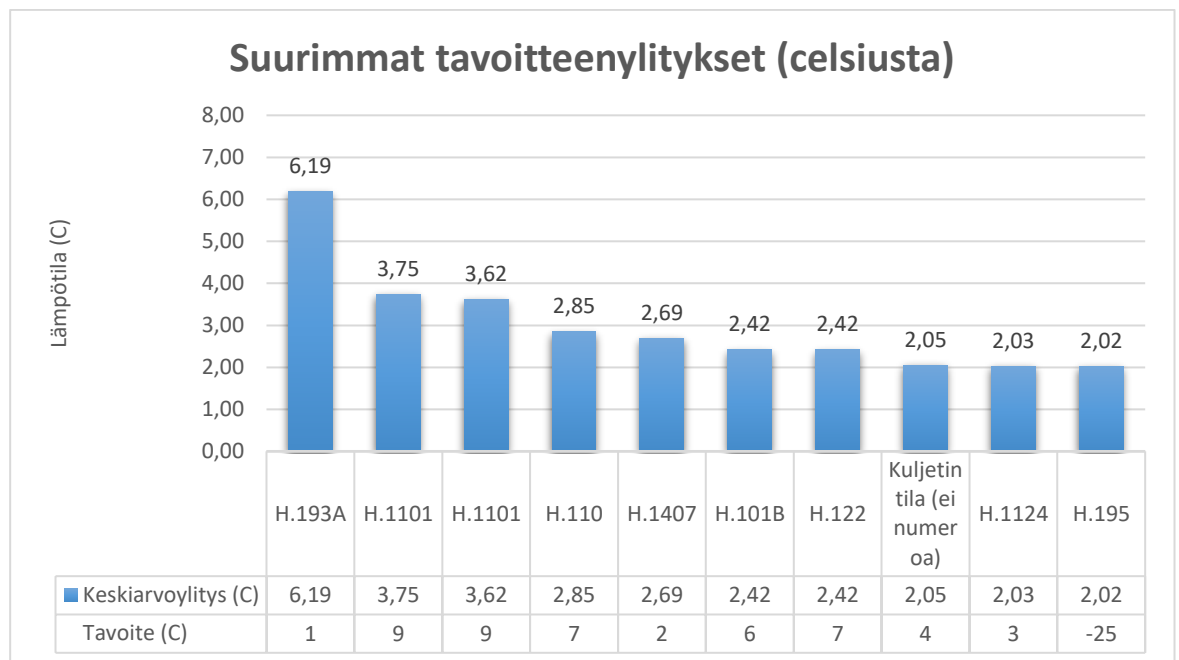
Alueen keskiarvolämpötila oli vuoden aikana tavoitelämpötilan arvon molemmin puolin tarkoittaen, että tapahtuneet tavoitteenalitukset olivat myös pitkäkestoisia ja astemäärissä suuria. Keskiarvon voisi olettaa olevan tavoitteen yläpuolella, koska tuotantoaikojen ulkopuolella olevat lämpötilat yleisemmin nostavat keskiarvolämpötilaa. Lämpötilassa on nähtävissä pieni nousu kesäkuukausien aikana, joka johtui todennäköisimmin ulkolämpötilan vaikutuksesta.

Keskiarvoisten ylitysten ja alitusten vaihteluväli on suuri, osittain yli yhden asteen verran molempiin suuntiin. Vaikka lämpötilan käyrä liikkuukin lähellä tavoitteen arvoa, on sen suuren vaihteluvälin takia mahdollista, että ylittävien ja alittavien

lämpötilojen keskiarvo asettuu juuri tavoitteen kohdalle niistä huolimatta. Tämän pohjalta tuotantoalueen lämpötilatasoissa olisi parantamisen varaa.

### Havainnot tuotantoalueella 5

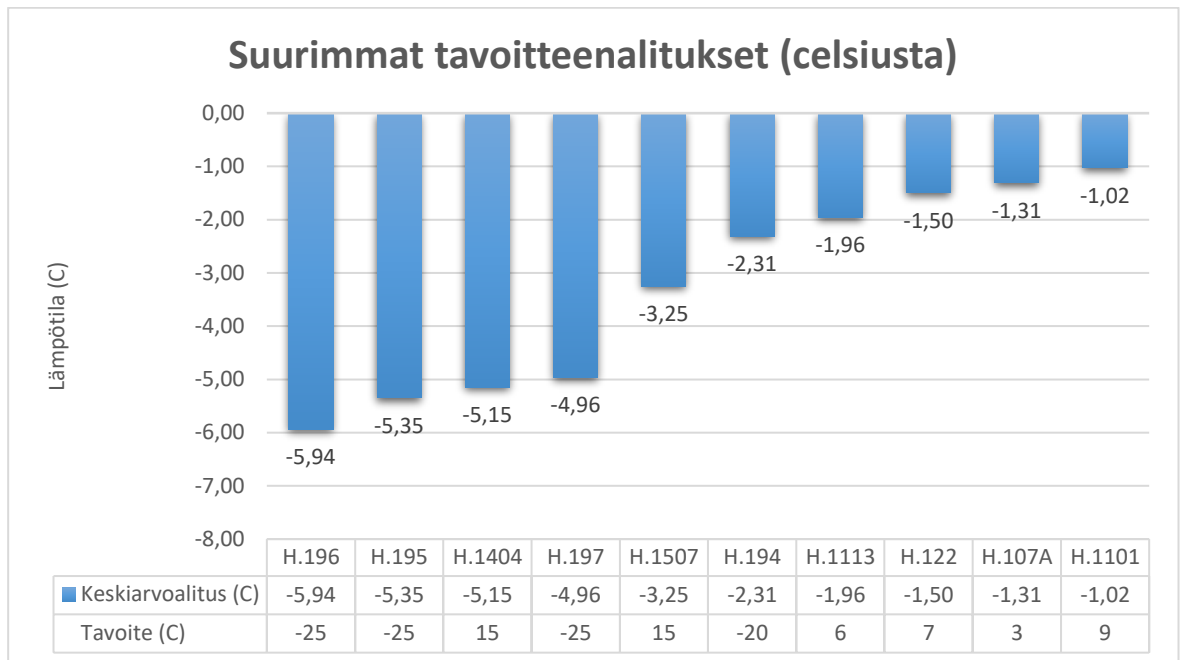
Tuotantoalueella 5 tavoitelämpötilan eniten ylittäneet tilat ovat näkyvillä kuviossa 22 ja tavoitelämpötilan eniten alittaneet tilat kuviossa 23.



Kuvio 22. Tuotantoalueen (5) 10 tavoitteen eniten ylittänyttä tilaa

Tilan 193A lämpötila on jatkuvalla tasolla suurempi kuin tavoitteeksi määritetty yksi aste. Ylityksen suuruuden vuoksi on tilan käyttötarkoituksen täytynyt muuttua, ja nykyinen tavoite ei vastaa todellista haluttua lämpötilaa.

Tilojen 1101, 110, 122 sekä 101B lämpötilan ylitykset johtuvat tuotantoajan ulkopuolisista jokapäiväisistä pesutilanteista. Käytävän 1407 tavoite ei kuvannut alueen yleistä lämpötilojen tasoa, joka on neljä astetta. Tavoite on siis määritetty tilalle väärin raportointiin. Samoin myös pakkaustilan 1124 tavoite on määritetty liian matalaksi alueen lämpötiloihin verraten.



Kuvio 23. Tuotantoalueen (5) 10 tavoitteen eniten alittanutta tilaa

Saadun tiedon mukaan pakkastiloille 196 ja 195 määritetyt tavoitearvot on asetettu ennemminkin viitteitä antaviksi kuin lämpötiloiksi, joihin aktiivisesti pyritään.

Tunnelit pidetään ennemminkin niin kylminä, kuin on mahdollista, mikä on tuotteen kannalta edullisempaa. Olisi parempi, jos pakkastunneleista saisi irti vielä enemmän jäähdystystehoa. Pakkasvaraston 194 alitukset johtuivat suorasta yhteydestä tunneleihin, jotka jäähdyttivät samalla osittain myös varastoa.

Varaston 1404 käyttötarkoitus on muuttunut, ja varastoa käytetään pakkausmateriaalien säilömiseen tuotteiden sijaan. Tilaa pidetään kuitenkin noin kymmenessä asteessa. Käyttötarkoituksen pohjalta tilaa ei tarvitsisi jäähdyttää.

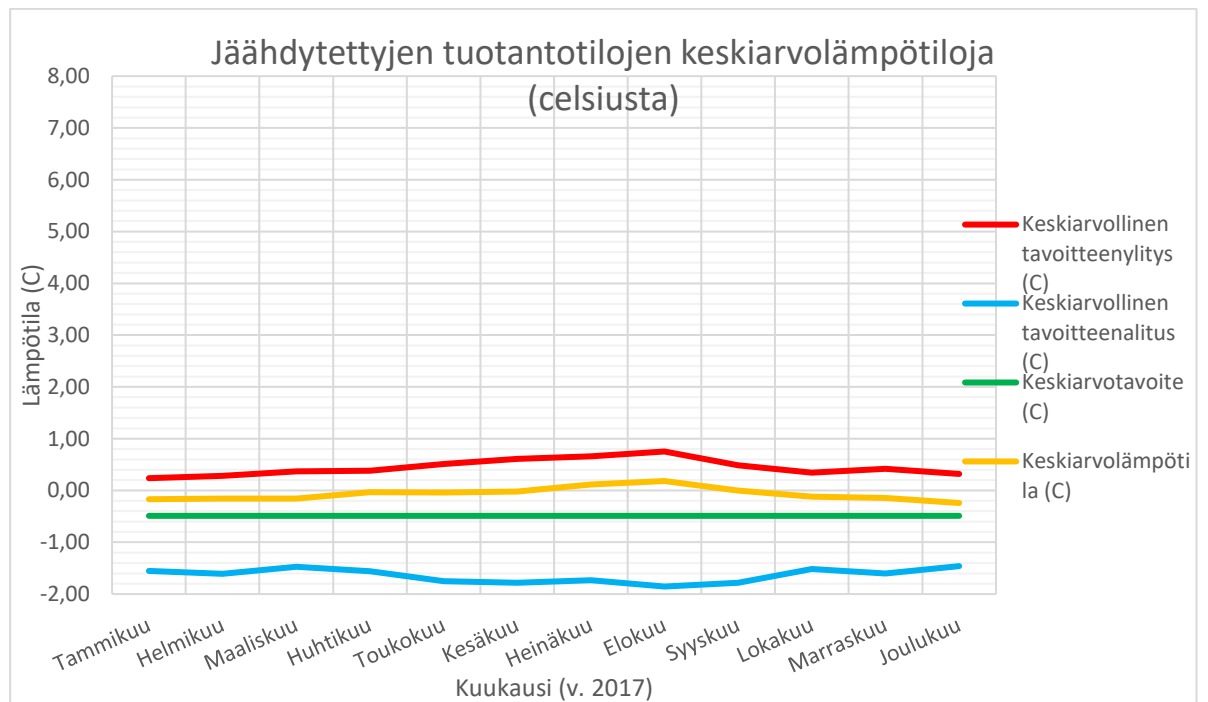
Varaston 1507 tavoite on asetettu raportointiin väärin. Sen lämpötilan kuuluisi olla 10 celsiusastetta. Tilassa varastoidaan likaisia kontteja ennen niiden pesuja. Tilan jäähdystystarvetta täytyisi selvittää lisää.

Tuotantoalueen 5 henkilöstön kautta selvinneitä muita havaintoja ovat seuraavat:

- Useissa jäähdytetyissä tiloissa (esimerkiksi 1113, 107A, 1101) automatiikalla toimivia ovia lukittiin auki-asentoon työnteon helpottamiseksi. Eri lämpötilatasot sekoittuivat keskenään ja aiheuttivat turhaa lisäjäähdytystarvetta,
- Raportointijärjestelmän tiedoissa oli epäkohtia huoneiden numeroinnin ja tavoitteiden päivityksen suhteen.

#### 4.6 Tuotantoalue 6

Tuotantoalueen 6 jäähdytettyjen tuotantotilojen keskiarvolämpötilat ovat näkyvissä kuviossa 24.



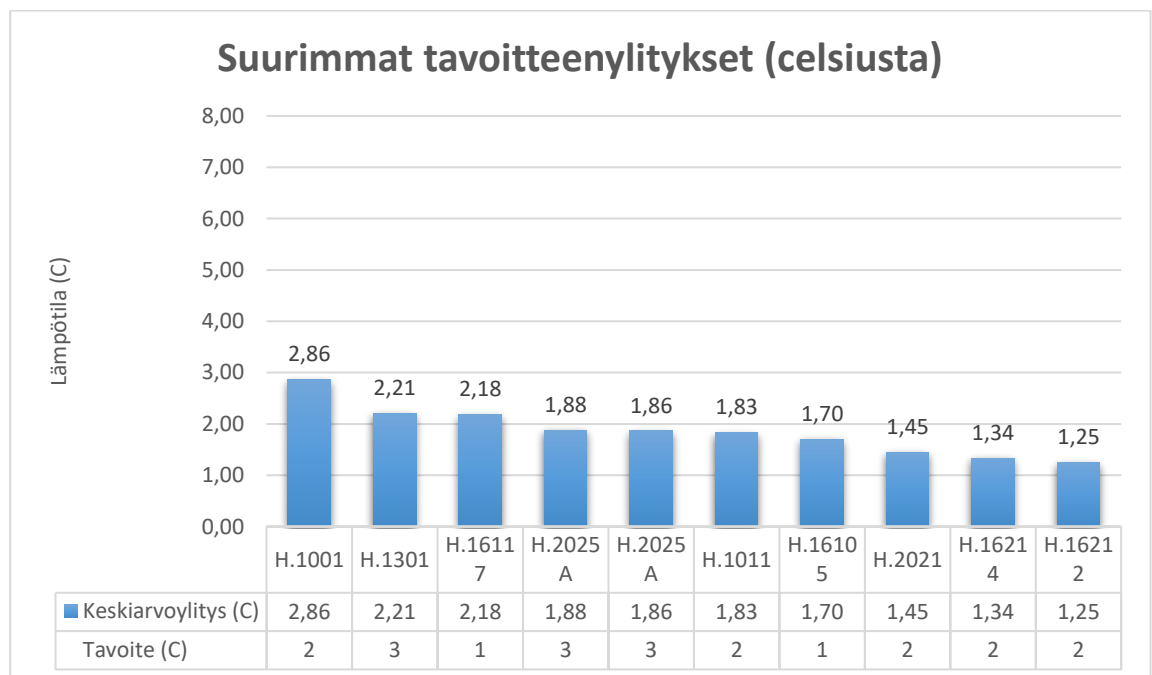
Kuvio 24. Tuotantoalueen 6 jäähdytettyjen tilojen keskiarvolämpötiloja

Tuotantoalueen 6 keskiarvolämpötilan käyrästä on nähtävillä, että se mukailee tavoitteenylitysten käyrää ja on keskiarvotavoitteen yläpuolella. Lisäksi tavoitteenalitusten käyrästä on nähtävillä yli yhden asteen alituksia varsinkin kesäkuukausien aikana. Ottaen huomioon alueen usean pakkastunnelin, jotka vetivät

alituksia ja lämpötilaa alaspäin sekä keskiarvolämpötilan käyrän muodon, voitiin päätellä, että lämpötila oli tuotantoalueella jonkin verran tavoitearvojen yläpuolella suuren osan ajasta.

### Havainnot tuotantoalueella 6

Tuotantoalueella 6 tavoitelämpötilan eniten ylittäneet tilat ovat näkyvillä kuviossa 25 ja tavoitelämpötilan eniten alittaneet tilat kuviossa 26.

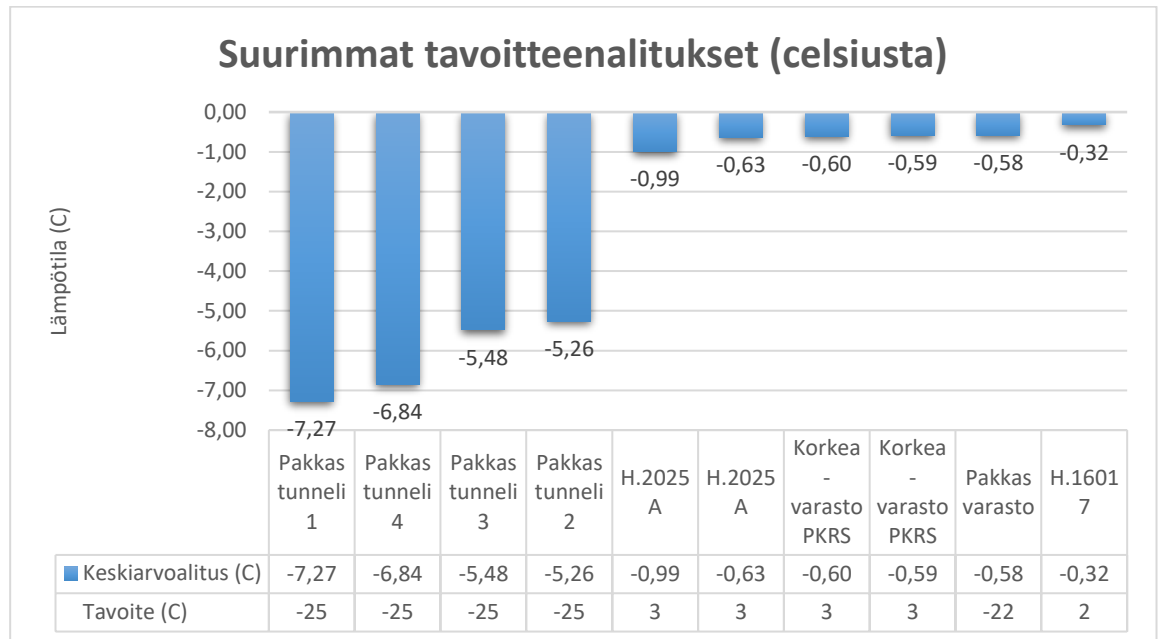


Kuvio 25. Tuotantoalueen (6) 10 tavoitteen eniten ylittänyttä tilaa

Tavoitteen ylittäville tiloille oli yhtenäistä se, että ylitys on pääsääntöisesti jatkuvaa ja korkeimmillaan varsinkin kesäkuukausien aikana. Lisäksi oli huomioitavaa, että tuotteiden läpimenoaika on alueen tiloissa ja varsinkin kuvaajassa näkyvissä tavoitteen ylittävässä tiloissa (poislukien jätetila 1001) korkeimmillaan muutamia minutteja ja kuljetintiloissa kymmeniä sekunteja. Lämpötilat ovat koko alueella samalla tasolla, joten tilayhteyksistä johtuvaa vaikutusta ylityksiin ei ollut.

Tuotantoalueelta saadun tiedon mukaan ylityslämpötilat eivät varsinkaan vaihtelevien kesälämpötilojen vuoksi aiheuta toimenpiteitä. Laatu puolelta tulleiden

kommenttien mukaan tavoitelämpötiloihin tulisi kuitenkin aktiivisesti pyrkiä. Oikeaa käytäntöä olisi tarvetta käydä erikseen läpi.



Kuvio 26. Tuotantoalueen (6) 10 tavoitteen eniten alittanutta tilaa

Pakkastunnelien alituksissa on kysymys jälleen viitteeksi määritetystä tavoitearvosta. Jäähdytyksessä pyrittiin saavuttamaan tavoitetta kylmempää lämpötiloja ja jos tehoa riittäisi, olisivat lämpötilat nykyisestäkin matalampia. Lisäksi pakkastunnelien jäähdytyspiiristä lainattiin kylmäntuottoa toisaalle, vaikka tunnelienkin jäähdytystehoa voisi lisätä. Tunnelien tilanteen parantamista varten on tehty kuitenkin suunnitelmia.

Muiden tilojen osalta merkittäviä alituksia ei ole ja varsinkin kuljetintilan 2025A mittapisteiden alitukset olivat harvoja muutaman tunnin mittaisia alituksia, koska sen lämpötila oli 90% ajasta yli määritetyn tavoitearvon. Tavoitteiden pohjalta tuotantoalueella ei ole liian kylminä olevia tiloja.

## 5 Energiatekniikan parantamishdotukset

### 5.1 Toimintamalli tuotanto-osastojen tilojen lämpötilatarkastelulle

Osastojen toiminnan yhdenmukaistamiseksi luotiin toimintamalli lämpötilatarkastelun läpikäyntiä tukemaan. Toimintamallin tarkoituksena oli antaa osastoille käsitys siitä, miten tilakohtaisen lämpötilatarkastelun voisi toteuttaa, ja mihin asioihin tulisi keskittyä. Eri tuotantoalueiden lämpötilatarkastelu oli tähän saakka toteutettu osastokohtaisesti vaihtelevin toimintatavoin ilman selviä linjauksia siitä, mihin on tarkoitus pyrkiä ja mitkä näkökulmat tulee ottaa huomioon.

Osaston jäädytettyjen tilojen tarkastelu jaettiin kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa laadunohjaaja alueen teknisen esimiehen ja tuotantopäällikön kanssa käyvät yhdessä läpi osaston nykyiset lämpötilaolosuhteet ja tarkastelevat seuraavat asiat tilakohtaisesti excel-taulukkoon, johon asiat kirjataan:

- Raportointiin määritettyjen lämpötilatavoitteiden paikkansapitävyys.
- Vastaavatko tilojen nykyiset käyttötarkoitukset sitä, mitä aiemmin on määritetty.
- Vastaavatko nykyiset lämpötilat tilojen lämpötilatarpeisiin perustuvia vaatimuksia.
- Mahdollistaako tilojen käyttötapa lämpötilamuutoksen tuotantoajan ulkopuolella.
- Tunnistetaanko osastolla jo syitä, miksi lämpötilatavoitteisiin ei päästä tai miksi muutokset eivät olisi mahdollisia.
- Mitä toimenpiteitä tila edellyttää muutoksien toteuttamiseksi.

Tuotantoajan ulkopuolella tehtävien lämpötilamuutosten kannalta tärkeimpiä tarkasteltavia ovat osastojen kriittisimmät tilat, eli sellaiset tilat, joissa lämpötila on alimmillaan. Näiden lämpötilaa nostettaessa saadaan jäädytykselle aikaan parempi kylmäkerroin, kun kylmäaineen lämpötilan ja alimmassa lämpötilassa olevan

jäähdytettävän tilan lämpötilan erotus on pienempi. Osastolla tunnistettavia syitä, jotka vaikuttavat lämpötilatarkasteluun ovat esimerkiksi tilayhteydet (kulkuaukot tai kuljetinradat), tilojen käyttö väliaikaisvarastoina, lämpötilan muutoksen vaikutus viereisten tilojen jäähdytystarpeeseen ja alueen yleinen lämpötilataso.

Toisessa vaiheessa kiinteistövalvonnan edustaja ja tekniikan esimies käyvät läpi ensimmäisessä vaiheessa aikaansaadut tulokset tarkastellen seuraavia asioita:

- Onko aiotut muutokset ja toimenpiteet teknisesti mahdollisia.
- Edellyttävätkö muutokset investointeja ja mikä olisi niiden kustannusarvio.
- Muutoksen hyödyllisyyden arviointi, mitä muutoksella saavutetaan.
- Toteutetaanko toimenpide ja jos toteutetaan, miten.

Koko tarkastelun läpiviennistä vastaa tekniikan esimies, joka on henkilökohtaisesti mukana molemmissa vaiheissa. Tarkasteluun valmistautuminen vaatii tekniikan esimieheltä tutustumisen osaston nykyisiin lämpötilatasoihin ja laatuorganisaatiolta tilakohtaisten lämpötilatavoitteiden määrittelyyn, sekä lain ja yrityksen ohjeistuksen vaatimusten selvittämisen erilaisten tilojen ja tuotteiden lämpötilatasoille.

Toimintamallista saatiin osastoille yhteinen tapa lämpötilatarkastelua varten, josta jää tiedoksi myös dokumentointi sen suorittamisesta.

## 5.2 Toimenpide-ehdotukset

Kaikki toimenpide-ehdotukset muodostettiin johtopäätösinä henkilöstöltä saatujen kommenttien sekä omakohtaisten havaintojen pohjalta. Ehdotusten pääasiallisena tavoitteena oli tuotantoalueiden energiatehokkuuden ja käytäntöjen parantaminen.

Eri lämpötiloissa olevien tilojen väliin asetettujen ovien auki- ja kiinnipitämiseen tulisi kiinnittää huomiota. Ovien jättäminen auki lämmittää matalamman lämpötilan tilaa, jolloin tarvitaan enemmän jäähdytysenergiaa halutun lämpötilatason ylläpitämiseksi. Vastaavasti toinen tila jäähtyy tarpeettomasti, mistä voi aiheutua esimerkiksi

työolosuhteiden kylmenemistä. Lisäksi lämpötilojen tarkastelun jälkeen tulisi pohtia tarvetta sellaisten alueiden rajaamiseen, joiden välillä on selviä lämpötilaeroja, mutta kulkuyhteydet ovat avoinna ilman ovia, jotka jakaisivat ja rajoittaisivat ilman kulkua alueiden välillä.

Toimintamallin kautta tulleen lämpötilatasojen ja tilojen käyttötarkoitusten tarkastelun lisäksi olisi tuotantotilojen käyttöön väliaikaisvarastoina syytä kiinnittää huomiota. Tuotteen varastointi vaikuttaa tilan lämpötilavaatimukseen ja siihen, voiko tuotantoaikojen ulkopuoliseen lämpötilaan vaikuttaa. Pienempi lämpötila ero pesuveden ja pintojen välillä vähentää myös höyrystymistä. Lisäksi tuotantoaikojen ulkopuolisen lämpötilan noston kautta pystyisi tutkimaan sen vaikutuksia kondenssiveden määrään. Varastointitilat tulisivat olla tarpeeksi suuret väliaikaisvarastoinnin tarpeen välttämiseksi. Tällöin lämpötilatasojen määrittäminen on selkeämpää, ja energiatehokkuuteen vaikuttavat keinot voidaan huomioida tilakohtaisesti.

Turhaan jäähdytettävät tilat, joihin kuuluvat esimerkiksi aiemmin tuotantotiloina ja nykyisin materiaalivarastoina käytössä olevat, täytyy käydä läpi. Läpikäynnissä tulisi keskittyä alueen jäähdytyspiiriin ja siihen pystytäänkö ainoastaan varastotilan lämpötilaa muuttamaan. Lisäksi muutoksen vaikutuksia ympäröiviin tiloihin tulee pohtia varsinkin kulkuyhteyksien osalta, jos ne ovat varastointitilaa paljon kylmempinä.

Myös saman patterin kautta jäähdytyksen saavat tuotantotilat, joista toinen määrittää jäähdytykselle matalamman lämpötilan, tulee käydä läpi. Tällöin toinen tiloista on jäähdytyspiirin yhteyden takia kylmemmässä lämpötilassa kuin on tarvetta. Tilojen välillä tulisi tarkastella keinoja, joilla jäähdytykset saataisiin asetettua omiin lämpötilatarpeisiinsa ja tämän muutoksen vaikutuksia lämpötila-alueeseen, jos tilojen välillä on suoria yhteyksiä.

Lämpötilamuutosten mahdollisuus tuotannon ulkopuolisina ja varsinkin viikonloppuina pitäisi selvittää ainakin kriittisten (jäähdytyspiirin alimman lämpötilan määrittävä) tilojen osalta. Lämpötilan muutoksella voi olla vaikutuksia tuotteeseen,

jos tilassa varastoidaan viikonlopun yli, pesutilanteisiin, viereisten tilojen lämpötilaan sekä jäähdytyksen energiatehokkuuden kylmäkertoimeen. Viikonlopun ylitse parannettu kylmäkerroin tarkoittaisi pienempää sähköenergian kulutusta noin 40 % ajasta, jos mukaan lasketaan perjantai-ilta ja maanantai aamuyö ennen tuotannon alkamista ottaen huomioon aika, jolloin lämpötila pitää laskea takaisin tuotantolämpötilaan. Tällöin yhden asteen muutoksella tilan jäähdytyksen sähköenergian kokonaiskulutus laskisi noin 2,5 % ja kylmäkerroin kasvaisi saman verran. Jäähdytyksen kokonaissähkökulutuksen ollessa 26 GWh/a tarkoittaisi 2,5 % säästö 650 MWh/a vähennystä sähköenergiankulutukseen.

### 5.3 Energiansäästöpotentiaali

#### Tuotantoalueen väliovien käyttö

Tuotantoalueilla ongelmaksi havaitun väliovien auki jättämisen energiansäästöpotentiaalia voidaan arvioida asettamalla oletuksia. Tilojen paineeron ja ilmanvirtausten mittausten sekä tarpeettomien aukiolojen keston tietojen puuttuessa voidaan oviaukon lämmitysenergiähäviöitä arvioida. Rakenteiden epätiivyyksien kautta vuotavan ilman ja tässä tapauksessa oviaukon läpi kulkevan ilman lämpenemiseen tarvittava energia voidaan laskea kaavalla 3. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta 2012, 19.)

$$Q = p_i * c_i * q_v * A_o * (T_s - T_u) * \Delta t \quad (3)$$

missä  $Q$  = vuotavan ilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

$p_i$  = ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_i$  = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 KJ/(Kg K)

$q_v$  = ilmavirta, m<sup>3</sup>/s

$A_o$  = oviaukon pinta-ala, m<sup>2</sup>

$T_s$  = sisäilman lämpötila, °C

$T_u$  = ulkoilman lämpötila °C

$\Delta t$  = ajanjakson pituus, h

Oletukset:

- Yleisin oviaukon koko ovikartoituksen pohjalta 2,4 m x 3,0 m, jolloin pinta-ala on 7,2 m<sup>2</sup>.
- Sisäilman lämpötila +10 °C ja ulkoilman +4 °C, jotka tässä tapauksessa ovat kylmempi ja lämpimämpi tuotantotila.
- Ovien käyttöaika 5 päivää viikossa 40 viikon ajalta eli 200 päivää vuodessa.
- Yhden oven tarpeeton aukioloaika 30 minuuttia päivässä. Tämän toteuttavia ovia 15 kappaletta.
- Ilmavirran nopeus 0,6 m<sup>3</sup>/s.

Jolloin:

$$Q = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \frac{\text{KJ}}{\text{KgK}} * 0,6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 7,2\text{m}^2 * (10^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}) * \left( \frac{30\text{min}/\text{d}}{60\text{min}/\text{h}} * 200 \frac{\text{d}}{\text{a}} \right)$$

Kaavasta saadaan yhden oviaukon läpi kulkevan ilman lämmittämisen energiantarpeeksi 3 110 kWh/a. Jos arvioidaan vastaavia ovia olevan oletettu 15 kappaletta, tulee vuotuiseksi energiansäästöpotentiaaliksi noin 46,7 MWh/a. Tässä tapauksessa tarkasteltiin ovia, jotka sijaitsevat rakennuksen sisätilojen välillä, jolloin lämpenemistarpeen lisäksi syntyy jäähdytystarvetta kylmemmälle tilalle. Kylmän tuoton kylmäkertoimeksi voidaan arvioida 3, jolloin sähköllä tuotettavan kylmäenergian määräksi tulee 46,7 MWh/a jaettuna kylmäkertoimella eli noin 15,6 MWh/a. Sisätilojen välissä olevien ovien säästöpotentiaaliksi saadaan tällöin 46,7 MWh/a lämpöenergian osalta ja 15,6 MWh/a sähköenergian osalta.

Oletetut arvot olivat tarkoituksellisesti melko pieniä. Tarpeeton ovien käyttöaika sekä määrä voi päivittäin vaihdella monta kertaa suuremmaksi, mikä taas nostaisi säästöpotentiaalia nopeasti. Lisäksi kostean ilman leviämistä voidaan estää tilojen

välillä ovia kiinnipitämällä. Ovien oikealla käytöllä ja hyvillä toimintatavoilla säästöjä voidaan saavuttaa helposti, eikä investointeja asian suhteen tarvita.

#### 5.4 Lämpötilojen muutoksen säästöpotentiali

Lämpötilojen muutoksen säästöpotentialia voidaan karkeasti laskea koko tehdasalueelta sekä ilmanvaihdon että lämpöhäviöiden osalta olettaen, että jäähdytettyjen tuotantotilojen lämpötilaa nostettaisiin esimerkiksi yhdellä celsiusasteella. Tuotantolaitoksen kerrosala on noin 120 000 m<sup>2</sup>, (Prosessiteollisuuden energia-analyysi 2010, 68.) josta jäähdytetyn pinta-alan osuus on 70%. Käytännön vuoksi jäähdytetty ala voidaan ajatella yhdeksi suureksi neliönmuotoiseksi tilaksi, jonka huonekorkeus on 4 metriä. Lisäksi oletetaan koko tilalle 100 kappaletta yleisimmin käytettyä 7,2 m<sup>2</sup> kokoista ovea. Tällöin jäähdytetyn lattiapinta-alan suuruudeksi saadaan 84 000 m<sup>2</sup>, seinien pinta-alaksi 3 920 m<sup>2</sup> ja ovien pinta-alaksi 720 m<sup>2</sup>. Rakennusosien lämmönläpäisykerroimina käytetään jäähdytettävän kylmän tilan ja muiden tilojen välisiä enimmäisarvoja, jotka ovat seinille sekä välipohjille 0,27 W/(m<sup>2</sup>K) ja oville 1,4 W/(m<sup>2</sup>K). (Tasauslaskentaopas 2018, 14.)

Tästä voidaan laskea vaipan ominaislämpöhäviöt seuraavalla kaavalla:

$$H_{\text{joht}} = A * U \quad (4)$$

missä  $H_{\text{joht}}$  = ominaislämpöhäviö, W/K

$A$  = vaipan kokonaispinta-ala, m<sup>2</sup>

$U$  = lämmönläpäisykerroin, W/(m<sup>2</sup>K)

Tuotantoalueiden vaipan ominaislämpöhäviöiksi saadaan tästä noin 47400 W/K.

Lämpötilaerotuksen ollessa yhden celsiusasteen pienempi lämpötilan noston

johdosta jäähdytettyjen tilojen ja lämpimämpien tilojen välillä vuoden jokaisena tuntina, olisivat ominaislämpöhäviöt 415 MWh/a pienempiä.

Lämpötilan noston vaikutus ilmanvaihtoon voidaan laskea arvioimalla raittiin ilman kokonaisvirtaus jäähdytetyille tuotantoalueille ja vertaamalla yhden celsiusasteen noston vaikutusta vuoden 2017 ulkolämpötiloihin. Ilmanvaihdossa kierrätettävän ilman suuren osuuden vuoksi ja kiinteistöhuollolta saatujen tietojen perusteella arvioidaan raittiin ilmavirran kokonaisvirtauksen suuruudeksi 50 m<sup>3</sup>/s. Määrittäessä oletetaan kaikkien tuotantotilojen lämpötilan noston tapahtuvan 3°C -> 4°C:seen ja ilman tiheydelle sekä ominaislämmölle käytetään vakioarvoja 1,2 kg/m<sup>3</sup> sekä 1,0 KJ/KgK. Laskettaessa koko vuoden ilman jäähdytykseen tarvittavat tuntikohtaiset energiamäärät molemmille lämpötiloille vuoden 2017 ulkolämpötiloihin verrattuna tarvitaan 4°C lämpötilaan jäähdyttäessä noin 256 MWh/a vähemmän sähköenergiaa, kuin jäähdytettäessä 3°C:seen. Tuloksessa ei ole huomioitu ilmankosteuden vaikutusta jäähdytystarpeen määrään lähtötietojen puutteiden vuoksi.

## 6 Pohdinta

Työn tavoitteena oli selvittää toimeksiantajayrityksen elintarviketilojen jäähdytyksen tarkoituksenmukaisuutta ja jäähdytykseen liittyvien säätöjen sekä muutosten mahdollisuutta sekä määrittää niiden energiansäästöpotentiaalia.

Tarkoituksenmukaisuutta arvioitiin osastokohtaisesti rakentamalla kuvaajat niiden keskimääräisistä lämpötilatasoista sekä tavoitteista eniten poikkeavista tiloista.

Tuloksena saatiin kolme kuvaajaa tuotanto-osastoa kohti sekä tietoa muutoksia ja lisäselvitystä kaipaavista kohteista. Suurin osa muutoksia kaipaavista kohteista selvitettiin henkilöstöä haastatteleamalla ja käyttämällä tilojen lämpötiladataa tiedon tukena.

Energiansäästöpotentiaalia arvioitiin yleisimmin ilmenneelle ongelmalle, joka oli eri-lämpöisten tilojen väliovien jättäminen auki, sekä lämpötilojen nostolle yhden celsiusasteen verran. Säästöpotentiaalin laskemisessa jouduttiin tekemään paljon

olettamuksia ja yleistyksiä, koska niiden laskeminen sadoille erilaisille tiloille ilman valmiita lähtötietoja olisi vienyt työn puitteissa liikaa aikaa.

Työn tuloksena saatiin myös esitettyä toimintamalli lämpötilojen tarkastelua ja läpikäyntiä varten. Nykyisellään tuotanto-osastojen käsitys lämpötilojen määrittämisestä ja niihin vaikuttavista asioista erilaisille tiloille oli vaihtelevaa. Toimintamallin luonnin tarkoituksena oli yhdenmukaistaa osastojen toimintatapoja sekä mahdollistaa läpikäyntien asioiden jääminen dokumentoiduiksi.

Opinnäytetyössä onnistuttiin osastokohtaisissa läpikäynneissä sekä toimintamallin rakentamisessa hyvin. Suuresta lämpötiladatan määrästä huolimatta se saatiin käsiteltyä esitettävään muotoon melko nopeasti. Osastoilta löydettiin useita lisätarkastelua kaipaavia kohteita sekä asioita, joita pystytään jo tämän työn pohjalta kehittämään. Toimintamalli esitettiin laatuorganisaatiolle. Esittelyn pohjalta mallia pystytään viemään eteenpäin käyttöön otettavaksi.

Energiansäästöpotentiaalın määrittämisessä jäätin melko epätarkalle asteelle, koska työssä keskityttiin laajaan kokonaisuuteen ja säästön määrittäminen kymmenille erityyppisille ratkaisuille on hyvin hankalaa. Tuloksissa käytettiin kuitenkin vertailupisteenä aikaisempaa energiakatselmusta, minkä pohjalta nähtiin arvioiden olevan suuntaa antavia.

Opinnäytetyössä kerrotut tiedot ja tulokset perustuvat suurimmaksi osaksi mitattuun lämpötiladataan, alueen pohjakuviin, lähteisissä olevaan kirjallisuuteen sekä haastatteluihin. Suurin epävarmuuden aiheuttaja oli lämpötiladata sekä määritetyt tavoitteet, koska opinnäytetyön aikana huomattiin tiedoissa vääriä tavoitteita sekä osan aikaa vääriä arvoja näyttäneitä antureita. Tietoja pyrittiin varmistamaan haastattelujen kautta useasta lähteestä sekä tarkastelemaan alueiden yleistä lämpötila tasoa pohjakuvien avulla. Lisäksi lämpötiladataa käytiin useaan otteeseen läpi varmistaen, että normaalitilanteista poikenneet mittausarvot saatiin karsittua.

Energiansäästöpotentiaalille laskettua suuruusluokkaa pyrittiin varmistamaan vertaamalla saatuja tuloksia vastaaviin arvioihin sekä käyttämällä oletuksissa

mahdollisimman keskiarvollisia lähtöarvoja tuotantoalueilta. Laskennassa käytettiin apuna ympäristöministeriön laskentaoppaita.

Opinnäytetyötä voidaan jatkossa hyödyntää ottamalla osastoilla käyttöön toimintamallin mukainen tapa lämpötilojen läpikäyntiä varten. Näin päästäisiin tarkemmin käsiksi osastokohtaisiin asioihin, jolloin voidaan huomioida myös opinnäytetyössä suoritettut osastokohtaiset lämpötilatarkastelut. Toimintamalliin sisältyi myös työssä havaittuja päivitystä vaativia kohtia, kuten tilakohtainen tavoitelämpötilojen tarkastelu. Myös raportointiin tulisi päivittää huoneiden tunnuksot sekä tavoitelämpötilat.

Ratkaisua ovien auki jättämiselle ja automaattisesti sulkeutuvien ovien lukitsemista auki voisi ratkaista hakemalla osastoilta syitä, joiden takia ovia täytyy pitää pidempään auki. Asiasta on keskustelujen perusteella mainittu aikaisemminkin, joten ratkaisua voisi etsiä ensin syitä ovien auki jättämiseen selvittämällä ja jos niitä ei voida ratkaista, täytyy koulutuksen ja opastuksen avulla pyrkiä muuttamaan työskentelytapoja.

## Lähteet

- Aittomäki, A. 2012. Kylmäteknikka. 4. p. Helsinki: Suomen kylmäyhdistys
- RakMK D5. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta. Ympäristöministeriön ohjeet. Viitattu 19.4.2019 <https://www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468>
- Elintarviketeollisuuden toimenpideohjelma. 2017. Elinkeinoelämän energiatehokkuussopimus -. Viitattu 15.10.2018. <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/wp-content/uploads/Elintarviketeollisuus-Elinkeinoelama-keskisuuriteollisuus-1.pdf>
- Energiatehokkuussopimukset. 2017. Viitattu 17.10.2018. <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/energiatehokkuussopimukset/>
- Energian säästö ja lämpökertoimet. N.d. Viitattu 17.10.2018 <http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energian-saasto>
- Hakala, P. & Kaappola, E. 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. 2. p. Helsinki: Opetushallitus.
- Ilmastointijärjestelmän toimintaperiaate. N.d. Viitattu 20.4.2019. <https://www.suomentyokalu.fi/tekninen-tuki/ilmastointijarjestelman-toimintaperiaate.html>
- Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J. 2011. Kylmäteknikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- Kylmäainetilanne 2008. Suomen kylmäyhdistys ry:n julkaisu. Viitattu 21.11.2018 <http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=37>
- Mobil Gargoyle Arctic SHC NH 68. 2018. Mobilin jäähdytysöljyn kuvaus. Exxon Mobil. Viitattu 21.11.2018 <https://www.mobil.com/Finnish-FI/Industrial/pds/GLXXMobil-Gargoyle-Arctic-SHC-NH-68>
- Määrällinen vs. laadullinen tutkimus. N.d. Surveymonkeyn artikkeli kyselytutkimuksista. Viitattu 15.5.2019 <https://fi.surveymonkey.com/mp/quantitative-vs-qualitative-research/>
- Nydal, R. 2002. Käytännön kylmäteknikka. 4. p. Helsinki: Suomen kylmäyhdistys ry.
- Performance rating of unitary air-conditioning & air-source heat pump equipment. 2017. Ilmastointi-, lämmitys- ja kylmälaitosinstituutin standardi. Viitattu 17.10.2018 [http://www.ahrinet.org/App\\_Content/ahri/files/STANDARDS/AHRI/AHRI\\_Standard\\_210-240\\_2017.pdf](http://www.ahrinet.org/App_Content/ahri/files/STANDARDS/AHRI/AHRI_Standard_210-240_2017.pdf)

Prosessiteollisuuden energia-analyysi, vaihe 1. 2010. Pöyryn toteuttama energiakatselmusraportti.

Refrigerant report 20. N.d. Raportti kylmäaineista. Bitzer. Viitattu 22.11.2018  
[https://www.bitzer-refrigerantreport.com/fileadmin/user\\_upload/A-501-20.pdf](https://www.bitzer-refrigerantreport.com/fileadmin/user_upload/A-501-20.pdf)

Tasauslaskentaopas 2018. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Ympäristöministeriö 2017. Viitattu 25.4.2019  
<https://www.ym.fi/download/noname/%7BB1EC8754-0BC6-413B-B158-886FA7770FCF%7D/136449>

Terburg, K. 10 glycol tips for water chiller operators. N.d. Verkkojulkaisu glykolijäähdytyksen käytöstä. Cooling best practices. Viitattu 22.11.2018  
<https://www.coolingbestpractices.com/technology/cooling-towers/10-glycol-tips-water-chiller-operators>

Tuotantoalueiden henkilöstön haastattelut aikavälillä 3.12.2018 – 29.1.2019.

Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. 2017. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu. Viitattu 15.10.2018  
[http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul\\_4\\_2017\\_verkkojulkaisu.pdf](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf)