

Kylmäjärjestelmän energia-analyysi

Pumppukiertoisen ammoniakkikylmälaitoksen energia-analyysi

Jani Rauta

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014

Energiatekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Rauta, Jani	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 12.05.2014
	Sivumäärä (75)	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty (x)
Työn nimi KYLMAJÄRJESTELMÄN ENERGIA-ANALYYSI		
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Isometsä, Juha		
Toimeksiantaja(t) Valio Oy Jyväskylän meijeri Jakobsson, Jarmo		
Tiivistelmä <p>Työn tavoitteena oli kartoittaa Valio Oy Jyväskylän meijerin kylmäjärjestelmän energiankäyttöä ja selvittää kylmätehon lisätarve. Meijerin B-rakennuksen pumppukiertoiselle ammoniakikylmälaitokselle toteutettiin energia-analyysi kevättalvella 2014. Kylmäjärjestelmän sähköenergian käyttöä mitattiin 10.2. - 24.2.2014 sekä kerättiin kiinteistön automaatiojärjestelmästä muita mittatietoja, kuten paineita ja lämpötiloja. Mittaustulosten ja vuoden 2013 ulkolämpötilojen perusteella määritettiin vuosihyötysuhde, jolla määritettiin vuodessa tuotettu kylmä- ja lämpöenergia vuosittaisen sähköenergian mittaustietojen perusteella. Keskimääräiseksi kylmäkertoimeksi saatiin 4,2, jolloin kylmäenergian hinnaksi muodostui 14,80 €/MWh vallitsevalla sähköhinnalla.</p> <p>Työn toinen tavoite oli kylmätehon lisätarpeen määrittäminen, joka ei vuodenaikasta ja kuormituksesta johtuen onnistunut. Kylmätehon lisätarve onnistutaan selvittämään myöhemmin, mikäli automaatiojärjestelmään lisätyt raportit tallennetaan riittävän tarkasti vähintään vuoden ajan, jolloin kesäajan kuormitus saadaan kartoitettua.</p> <p>Kylmäjärjestelmän kartoituksen yhteydessä tutkittiin myös energiansäästötoimia. Kokonaisenergiankulutusta pystytään pienentämään mm. tulistuslämmön lisähyödyntämisellä, adaptiivisella paineensäädöllä sekä kylmävaraston jäähdytyskonvektoreiden sulatusten optimoinnilla. Säästöjä toimenpiteillä kertyy vuodessa sähkönkäytöstä 317 MWh ja lämmöstä 856 MWh. Toimenpiteet vähentävät hiilidioksidipäästöjä yli 300 t/a ja tuovat rahallista hyötyä vuositasolla noin 96 000 €. Säästöt edellyttävät investointeja, jotka yhteensä olisivat noin 60 000 €, jolloin takaisinmaksuajaksi muodostuu noin 0,6 vuotta.</p> <p>Analyysin toteutusaika ei ollut paras mahdollinen, koska kylmäjärjestelmän kuormitus ei talviaikaan ole suurimmillaan. Lämpötila oli vuodenaikaan nähden normaalia korkeampi.</p>		
Avainsanat (asiasanat) kylmäjärjestelmä, kylmäkone, energiatehokkuus, lämmöntalteenotto, energia-analyysi		
Muut tiedot		



Author(s) Rauta Jani	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 12.05.2014
	Pages (75)	Language Finnish
		Permission for web publication (x)
Title ENERGY ANALYSIS FOR REFRIGERATION SYSTEMS		
Degree Programme Energy Technology		
Tutor(s) Isometsä ,Juha		
Assigned by Valio Oy Jyväskylä Jakobsson, Jarmo		
Abstract <p>The aim of this study was to examine the energy use of Valio Oy Jyväskylä dairy's refrigeration system and to explore the need of extra cooling power. The energy analysis for industrial refrigeration systems was carried out during winter 2014. Valio Oy Jyväskylä dairy's liquid overfeed system use ammonia (R717) as refrigerant. The system's energy use and some other variables like pressure, temperature and liquid flow rates were measured in February 2014. The cooling efficiency factor SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance) was determined by the results of the measurements and annual outside-air temperature. The determined SCOP was 4.2 and so the price of cooling energy was 14.80 € at the current price of electricity.</p> <p>The study shows that the saving potential of electricity is 317 MWh and heat 856 MWh. The reduction of greenhouse gas emissions is over 300 tons per year. Heat is saved by a superheater heat exchanger and electricity by optimizing the defrosting control of the cooling convectors in the cold store's and using adaptive pressure control by condensers. With the savings the economic benefits are about 96 000 € per year and capital investments almost 60 000 €. The payback period would be 0.6 years.</p> <p>Winter is not the best time to neither carry out the refrigeration energy analysis nor define the need of cooling capacity. Despite of the time of the year the energy analysis was carried out and the results were acceptable. Additionally there should be more than 17 results of measurements per day as this study suggests. About 24 measurements per day would be more practical measuring frequency.</p>		
Keywords industrial refrigeration, liquid overfeed system, energy efficiency, energy analysis, heat recovery		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto	4
1.1	Aiheen tausta.....	4
1.2	Tehtävän rajausta.....	4
2	Valio Oy.....	5
2.1	Valio Oy:n tuotanto ja energiankäyttö	5
2.2	Valio Oy Jyväskylän meijerin tuotanto.....	8
2.3	Valio Oy Jyväskylän meijerin energiankäyttö	9
2.3.1	Sähkö	10
2.3.2	Höyry ja lämpö	11
2.3.3	Vesi.....	12
3	Tietoperusta	12
3.1	Kylmäjärjestelmä.....	12
3.2	Kylmäjärjestelmän kemikaalit.....	16
3.2.1	Kylmäaine.....	16
3.2.2	Voiteluöljy	17
3.2.3	Kylmäliuokset.....	18
3.3	Höyrystin.....	19
3.4	Pumppusäiliö.....	21
3.5	Kompressori	22
3.5.1	Kompressorin toiminta	22
3.5.2	Kompressorin voitelu	23
3.5.3	Kompressorin tehonsäätö.....	23
3.6	Lauhdutin.....	24
3.7	Pumput.....	27
4	Kylmä- ja lämpöenergian käyttökohteet	28
4.1	Meijerin valmistusprosessit.....	28
4.2	Varasto	31
5	Kylmäntuotannon energiatehokkuus	33
5.1	Menetelmät	33
5.2	Kylmäjärjestelmä.....	35
5.2.1	Kompressorien ottotehojen mittaus	36
5.2.2	Paineet ja olosuhteet	38
5.2.3	Lämpötilamittaukset	40
5.2.4	Kylmä- ja lämpöenergian käyttö	42
5.3	Tulokset	44
5.3.1	Kylmäkerroin.....	44
5.3.2	Kylmäntuotanto	45
5.3.3	Kylmätehon lisätarpeen selvitys	47
6	Toimenpide-ehdotukset	50
6.1	Laskentaperusteet.....	50
6.1.1	Sähkön hinta	51
6.1.2	CO ₂ -päästöt.....	51
6.2	Sulatuksehjausmuutos.....	52
6.3	Adaptiivinen paineensäätö.....	52
6.4	Tulistuslämmön lisähyödyntäminen	54
6.5	Jatkoselvitykset	55
7	Pohdinta	55

Lähteet.....	57
--------------	----

Liitteet

Liite 1.	Mittaussuunnitelma
Liite 2.	Suoritusarvotaulukot
Liite 3.	LP- mitoitus

Kuviot

Kuvio 1. Valio Oy, kotimaan toimintojen kokonaisenergiankulutus.....	6
Kuvio 2. Valio Oy, kotimaan toimintojen sähkönkulutus.....	7
Kuvio 3. Valio Oy kotimaan toiminnot, lämmöntuotanto energialähteittäin	8
Kuvio 4. Valio Oy Jyväskylän meijeri B-rakennus.....	9
Kuvio 5. Sähköenergian jakauma 2011–2013	11
Kuvio 6. Pumppukiertoinen kylmälaitos	14
Kuvio 7. Pumppukiertoisen kylmälaitoksen logaritminen paine-entalpia-tilapiirros.	15
Kuvio 8. Öljyn virtaus kylmälaitoksessa	17
Kuvio 9. Pumppukiertohöyrystimen periaate.....	19
Kuvio 10. Jäävesisiilot, sekoittaja sekä lauhduttajien vesisäiliö.....	20
Kuvio 11. Pumppusäiliön tilavuus 12 m ³ , säiliö varustettu pinnankorkeusindikaattorilla.....	22
Kuvio 12. Tehonsäätö, säätöluistilla	24
Kuvio 13. Haihdutuslauhduttimen toimintaperiaate.....	25
Kuvio 14. Pumppukiertoisen kylmälaitoksen logaritminen paine-entalpia-tilapiirros	26
Kuvio 15. Meijeriprosessit lämmitys- ja jäähdytys vaiheineen.....	28
Kuvio 16. Valio Oy Jyväskylän meijerin B-rakennuksen pohjakuva (poistettu)	31
Kuvio 17. Kostean ilman I,x- kuvaaja	32
Kuvio 18. Kompressoreiden sähköteho 10.2.–24.2.2014	36
Kuvio 19. Kompressoreiden sähköteho arkipäivänä.....	37
Kuvio 20. Kompressoreiden sähköteho viikonloppuna	37
Kuvio 21. Kompressoreiden tehonsäätö.....	38
Kuvio 22. Lauhtumispaine ja ulkolämpötila.....	39
Kuvio 23. Pumppusäiliön paine	39
Kuvio 24. Jääveden meno- ja paluulämpötila	40
Kuvio 25. Sulatusliuoksen meno- ja paluulämpötila.....	41

Kuvio 26. Varastojen lämpötila mittausjaksolla.....	41
Kuvio 27. Jäähdytysteho mittausjaksolta	42
Kuvio 28. Sulatusteho mittausjaksolla	43
Kuvio 29. JK 1 kylmäkerroin höyrystymislämpötilalla -11°C.....	44
Kuvio 30. JK 4 kylmäkerroin höyrystymislämpötilalla -11°C.....	45
Kuvio 31. Kylmäntuotanto 10.2.–24.2.2014	46
Kuvio 32. Kylmän- ja lämmöntuotto vuositasolla	46
Kuvio 33. Varastojen lämpötilat kesältä 2013	48
Kuvio 34. Jääveden käyttöteho 2013.....	49
Kuvio 35. Nord-poolin toteutuneet spot hinnat viimevuosilta.....	51
Kuvio 36. Lauhtumislämpötila	53

Taulukot

Taulukko 1. Valio Oy Jyväskylän meijerin tuotanto 2010–2013	9
Taulukko 2. Sähköenergian käyttö ja ominaiskulutus 2010–2013.....	10
Taulukko 3. Höyryn ja lämmön käyttö 2010 - 2013.....	12
Taulukko 4. Vedenkäyttö ja ominaiskulutus 2010 - 2013.....	12
Taulukko 5. Ammoniakin ominaisuuksia	16
Taulukko 6. Etyleeniglykolin aineominaisuuksia.....	18
Taulukko 7. Kylmäliuoksen aineominaisuuksia.....	19
Taulukko 8. Kylmäjärjestelmän pääkomponentit.....	35
Taulukko 9. Laskentaperusteet.....	50
Taulukko 10. CO ₂ päästökertoimet.....	52
Taulukko 11. Sulatusten optimointi.....	52
Taulukko 12. Adaptiivinen lauhtumispaineen säätö.....	53
Taulukko 13. Tulistusslämmön lisähyödyntäminen	54
Taulukko 14. Säästöpotentiaali	54

1 Johdanto

1.1 Aiheen tausta

EU:n ilmasto- ja energiapolitiikasta annettiin lainsäädäntöpaketti huhtikuussa 2009. Nimellä 20-20-20 tunnettu tavoite tarkoittaa, että 20 % EU:n energiankulutuksesta tulisi tuottaa uusiutuvilla energianlähteillä ja energiatehokkuutta tulisi lisätä 20 % vuoteen 2020 mennessä. Suomen osalta tavoite 20-20-20 tarkoittaa, että 38 %:n osuus kokonaiskulutuksesta tulisi tuottaa uusiutuvalla energialla. (Energia 2014.)

Valio Oy liittyi vuoden 2008 alussa energiatehokkuussopimukseen, jonka tavoitteena on 9 %:n energian säästö vuoden 2005 tasosta vuoteen 2016 mennessä. Energiatehokkuussopimukseen liittyneet yritykset raportoivat vuosittain energiankäytöstä ja -käyttöön liittyvistä tehostamistoimista helmikuun loppuun mennessä. (Energiatehokkuussopimukset 2008, 1–4.)

Valio Oy Jyväskylän meijerin tuotanto kuluttaa noin kolmanneksen käyttämästään sähköstä jäähdytysenergian tuotantoon ja jakeluun. Jäähdytysjärjestelmä on kuitenkin meijerissä ns. apujärjestelmä, joten sen energiatehokkuuden kehittäminen on jäänyt tuotannon tehostamisen varjoon. Valio Oy Jyväskylän meijerissä kylmän tuotantoon ja jakeluun kuluu keskimäärin 32 % käytetystä sähköenergiasta.

1.2 Tehtävän rajaus

Opinnäytetyön toimeksianto koski Valio Oy Jyväskylän meijerin B-rakennuksen kylmälaitoksen energiatehokkuuden ja säästöpotentiaalin kartoittamista. Lisäksi tavoitteena oli määrittää jäähdytystehon tarve, kun kaksi vanhaa jäähdytyskompressoria korvataan yhdellä uudella kompressorilla.

Kylmälaitos tuottaa meijerin valmistusprosesseissaan tarvitseman jääveden sekä jäähdyttää kylmäliuosta, jota käytetään varaston jäähdyttämiseen. Kylmälaitos

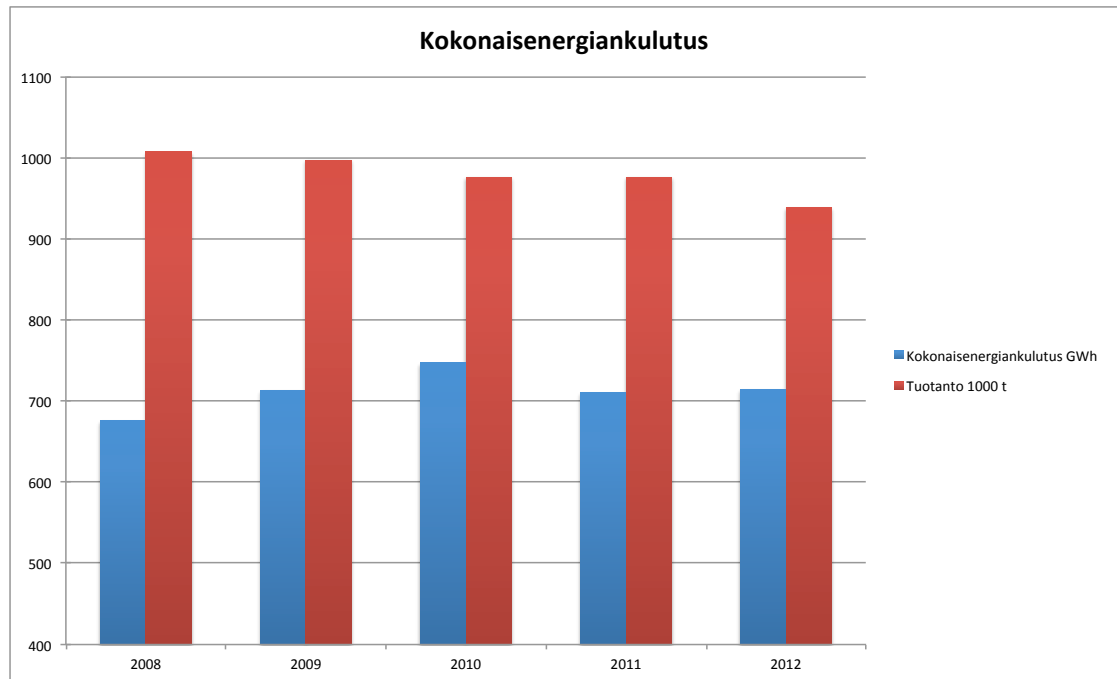
on rakennettu 1980-luvun alussa, tuon jälkeen meijerin tuotantomäärät ovat kuitenkin kasvaneet, ja myös kylmätehon tarve on kasvanut. Laitosta onkin ajoittain päivitetty vastaamaan kylmäntarvetta. Kylmäntarpeen määrittäminen oli taas ajankohtaista, kun vanhaa tekniikkaa korvataan uudella.

2 Valio Oy

2.1 Valio Oy:n tuotanto ja energiankäyttö

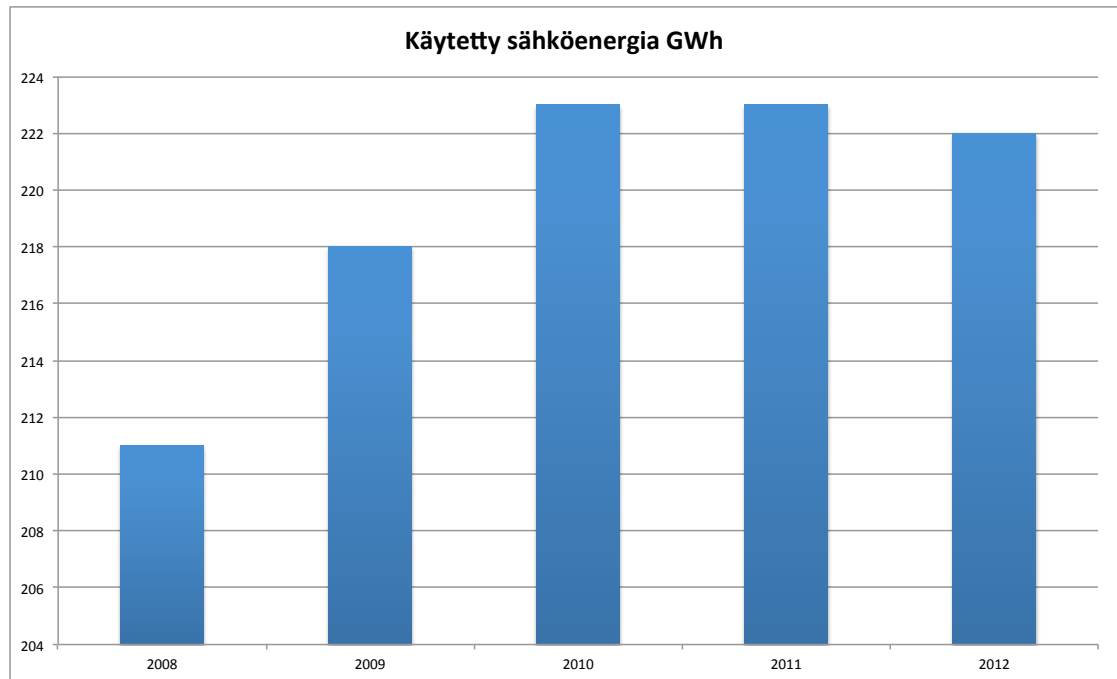
Valio on Suomen suurin maidonjalostaja, joka on toiminut maidontuotannon parissa lähes 110 vuotta. Valion omistajakunta muodostuu 18 osuuskunnasta, joihin kuuluu vuoden 2012 toimintakertomuksen mukaan 7900 maidontuottajaa. Valio-konsernin liikevaihto vuonna 2012 oli 2 mrd. €, ja liikevaihto kasvoi edellisvuodesta 3,7 %. Liikevaihdosta noin 36 % muodostui viennistä sekä tytäryhtiöiden toiminnasta. Valion suurimmat vientimarkkinat ovat Venäjällä. Valio Venäjän liikevaihto kasvoi 10 %, ja koko ulkomaiden liikevaihto kasvoi 4,7 %. Valion toiminta tuotti kirjanpidollista voittoa vuonna 2012 noin 53 miljoonaa euroa. (Tilinpäätös ja toimintakertomus. 2012.)

Valio Oy:n yritysraportin mukaan konsernin kotimaan toimintojen energiankulutus ja tuotanto on ollut vuosina 2008–2012 kuvion 1 mukainen. Meijeriprosessissa energiaa käytetään pääasiassa höyryn, lämmön ja sähkön muodossa.



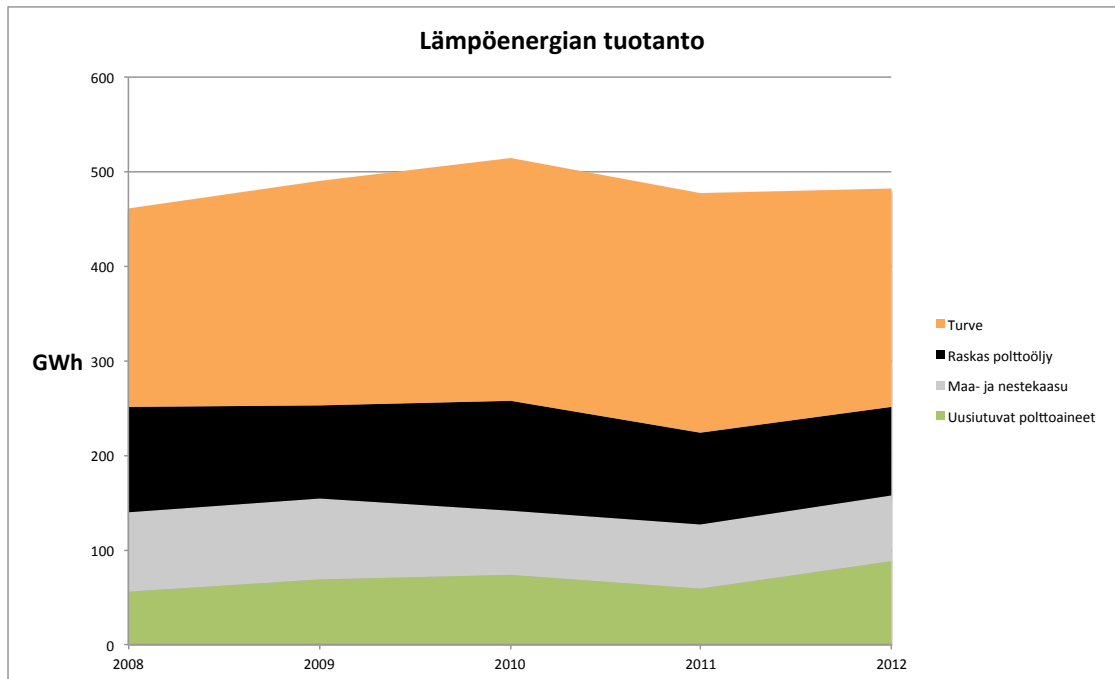
Kuvio 1. Valio Oy, kotimaan toimintojen kokonaisenergiankulutus (Energiankulutus ja päästöt ilmaan 2012, muokattu)

Sähköenergiaa Valion kotimaan toiminnoissa on käytetty kuvion 2 mukaisesti. Sähköenergiaa käytetään pääasiassa prosessilaitteissa sekä tuotteen jäähdytyksessä ja oikean säilytyslämpötilan ylläpidossa.



Kuvio 2. Valio Oy, kotimaan toimintojen sähkönkulutus (Energiankulutus ja päästöt ilmaan 2012, muokattu)

Lämpöenergiaa käytetään mm. jauhemaisten tuotteiden kuivaamiseen, tuotteiden lämpökäsittelyyn, tuotantolinjojen pesuihin sekä kiinteistöjen lämmittämiseen. Kuvioon 3 on koottu Valio Oy:n kotimaan toimintojen lämpöenergian käyttö sekä käytetyt polttoaineet.



Kuvio 3. Valio Oy kotimaan toiminnot, lämmöntuotanto energialähteittäin (Energiankulutus ja päästöt ilmaan 2012, muokattu)

Valtaosa Valion käyttämästä lämmöstä tuotetaan turpeella, mutta uusiutuvan energian käyttö on ollut kasvussa, kun öljyn käyttöä on vähennetty. (Energian kulutus ja päästöt ilmaan, 2012).

2.2 Valio Oy Jyväskylän meijerin tuotanto

Valio Oy Jyväskylän meijerissä valmistettuihin tuotteisiin kuuluvat mm. pastöroidut maidot, kermit ja piimät. Jyväskylään tuodaan maitoa 1100 tuottajalta, joista noin 300 on keskisuomalaisia. Maitoa tuodaan meijeriin vuosittain noin 220 miljoonaa litraa, josta neljännes tulee Keski-Suomen maakunnasta. Jyväskylän meijerin tuotannosta noin 15 % menee vientiin (Laiho-Logrén 2013.)



Kuvio 4. Valio Oy Jyväskylän meijeri B-rakennus

Jyväskylän meijerin tuotanto viime vuosilta on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Valio Oy Jyväskylän meijerin tuotanto 2010–2013 (Jyväskylän meijerin kirjanpito 2014)

Tuotanto	t/a
2013*	196333
2012	193259
2011	200628
2010	196 098
*Vuoden 2013 kulutus tammikuu - marraskuu,	

2.3 Valio Oy Jyväskylän meijerin energiankäyttö

Jyväskylän meijerin energiankäytössä on nähtävissä kasvua lämmön ja veden osalta, mutta sähkönkulutus on pysynyt vakaana.

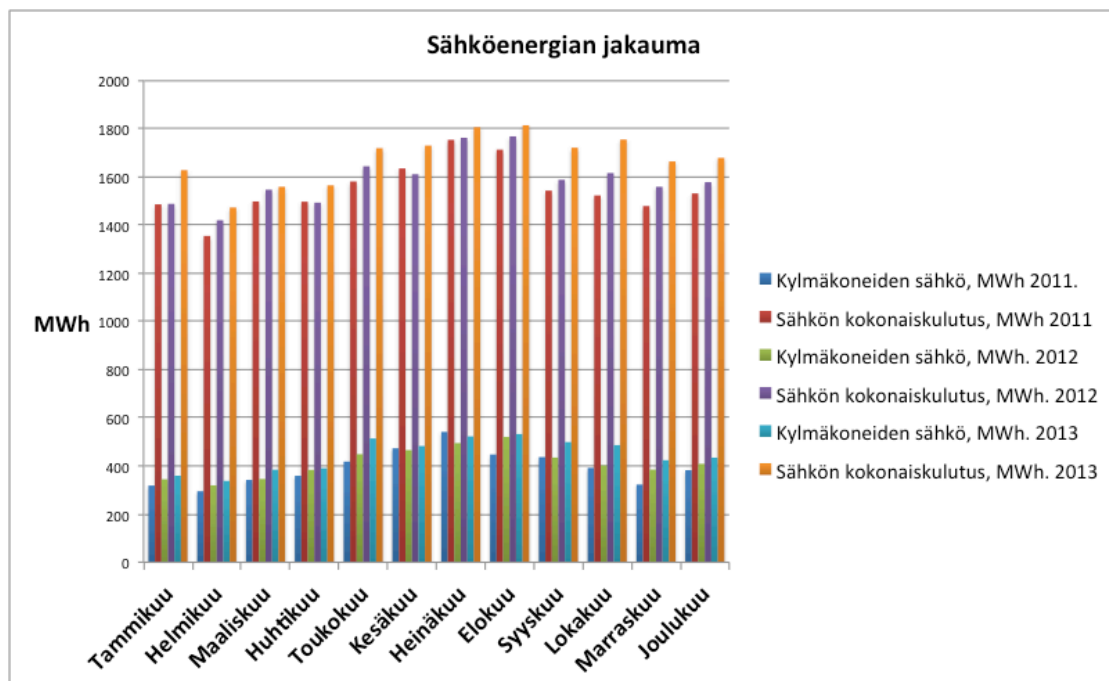
2.3.1 Sähkö

Valio Oy:n Jyväskylän meijerillä sähköenergiaa on viime vuosina käytetty taulukon 2 mukaisesti. Keskimääräinen sähkönkäyttö on ollut noin 18,6 GWh vuodessa.

Taulukko 2. Sähköenergian käyttö ja ominaiskulutus 2010–2013 (Jyväskylän meijerin kirjanpito 2014)

Sähkö	MWh	Ominaiskulutus MWh/t
2013*	18422	0,09
2012	19063	0,10
2011	18583	0,09
2010	18333	0,09
*Vuoden 2013 kulutus tammikuu - marraskuu,		

Kylmäenergian tuotantoon jakeluineen kuluu noin 32 % käytetystä sähköenergiasta. Kuviossa 5 on esitetty sähköenergian jakauma vuosilta 2011–2013.



Kuvio 5. Sähköenergian jakauma 2011–2013 (Jyväskylän meijerin kirjanpito 2014)

Kylmäkoneiden sähköenergiankäytön kulutusjakaumasta on nähtävissä kesäajan vaikutus sähkön kulutukseen.

2.3.2 Höyry ja lämpö

Meijerin höyryn- ja lämmönkulutus viime vuosilta on esitetty taulukossa 3, josta näkyy myös kaukolämmön käyttö. Meijeri on liitetty kaukolämpöön vuoden 2012 lopussa. Kaukolämpöä käytetään pääasiassa kiinteistön tuloilman lämmittämiseen. Höyryä ja lämpöä tuotetaan raskaalla polttoöljyllä kahdessa höyrykattilassa, joilla lämmitetään mm. pastörintiin käytettävää 105 -asteista vettä. Raskaan polttoöljyn käyttö loppuu tulevaisuudessa, joten höyryn ja lämmön tuotantoa joudutaan kehittämään lähivuosina.

Taulukko 3. Höyryn ja lämmön käyttö 2010–2013 (Jyväskylän meijerin kirjanpito 2014)

Höyry + lämpö	MWh	Ominaiskulutus MWh/t
2013*	32694,2	0,17
2012	29393	0,15
2011	28871	0,14
2010	27507	0,14
*Vuoden 2013 kulutus tammikuu - marraskuu,		

2.3.3 Vesi

Meijeriprosessin vedenkulutus on nähtävissä taulukosta 4. Vedenkäyttö on ollut vuosina 2010–2013 kasvussa, kuten ominaiskulutuskin. Suurin osa vedestä käytetään erilaisissa pesuprosesseissa. Kylmäjärjestelmän haihdutuslauhduttimien käyttämän veden osuus kokonaiskulutuksesta on ollut noin 1 %.

Taulukko 4. Vedenkäyttö ja ominaiskulutus 2010–2013 (Jyväskylän meijerin kirjanpito 2014)

Vesi	m ³	Ominaiskulutus m ³ /t
2013*	294580	1,50
2012	298114	1,54
2011	277890	1,39
2010	267655	1,36
*Vuoden 2013 kulutus tammikuu - marraskuu,		

3 Tietoperusta

3.1 Kylmäjärjestelmä

Kylmäkone on laite, jonka ensisijainen tehtävä on siirtää lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan. Lämmönsiirto tapahtuu prosessissa kiertävän fluidin eli kylmäaineen välityksellä. Kylmäkoneen hyötysuhdetta kuvataan

siirretyn lämmön ja siirtoon käytetyn työn suhteella, yhtälön 1 mukaisesti. (Cengel & Boles 2011, 608.)

$$COP = \frac{\dot{Q}_{kylmä}}{\dot{W}_{kompessori}} \quad (1)$$

jossa

COP = hyötysuhde (Coefficient Of Performance)

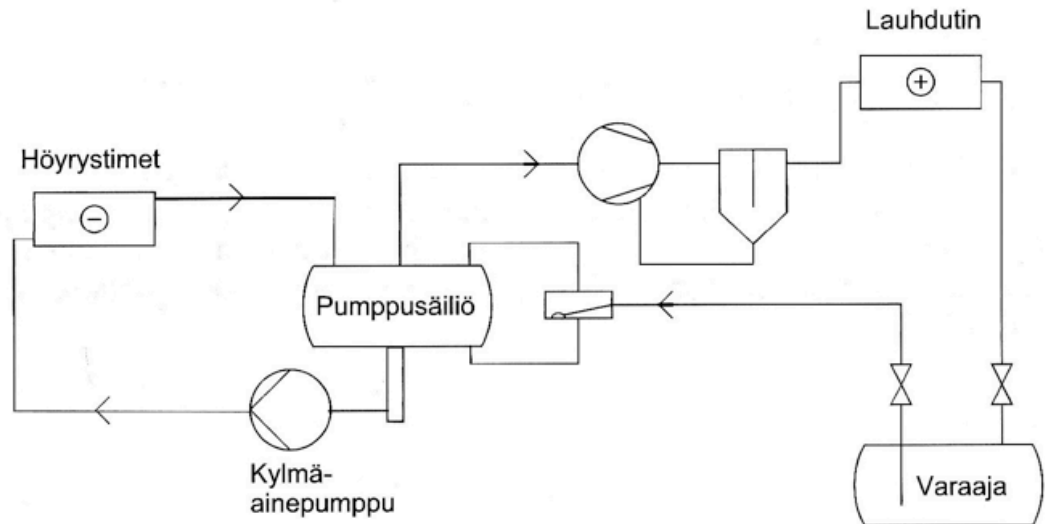
$\dot{Q}_{kylmä}$ = kylmäteho kW

$\dot{W}_{kompessori}$ = kompressorin sähköteho kW

Hyötysuhde voidaan muodostaa myös vuosittaisen tuotetun kylmäenergian ja käytetyn sähköenergian suhteesta, jolloin saadaan vuosikylmäkerroin (SCOP).

Kylmäkoneen energiatehokkaaseen käyttöön vaikuttavaa mm. kompressorin paine-ero. Kompressorien kuluttamaa sähköenergiaa on mahdollista säästää asettamalla kylmäkone toimimaan mahdollisimman korkealla imupaineella ja mahdollisimman matalalla lauhtumispaineella. Nämä vaikuttavat kylmäkoneen hyötysuhteeseen siten, että imulämpötilan nosto parantaa COP-arvoa 3 % astetta kohti. Saman suuruinen parannus COP-arvoon saadaan vastaavasti laskemalla lauhtumislämpötilaa. Toisin sanoen pienentämällä lämpötila- ja paine-eroa kylmälaitos toimii paremmalla hyötysuhteella. (Stoecker 1998, 544-545.)

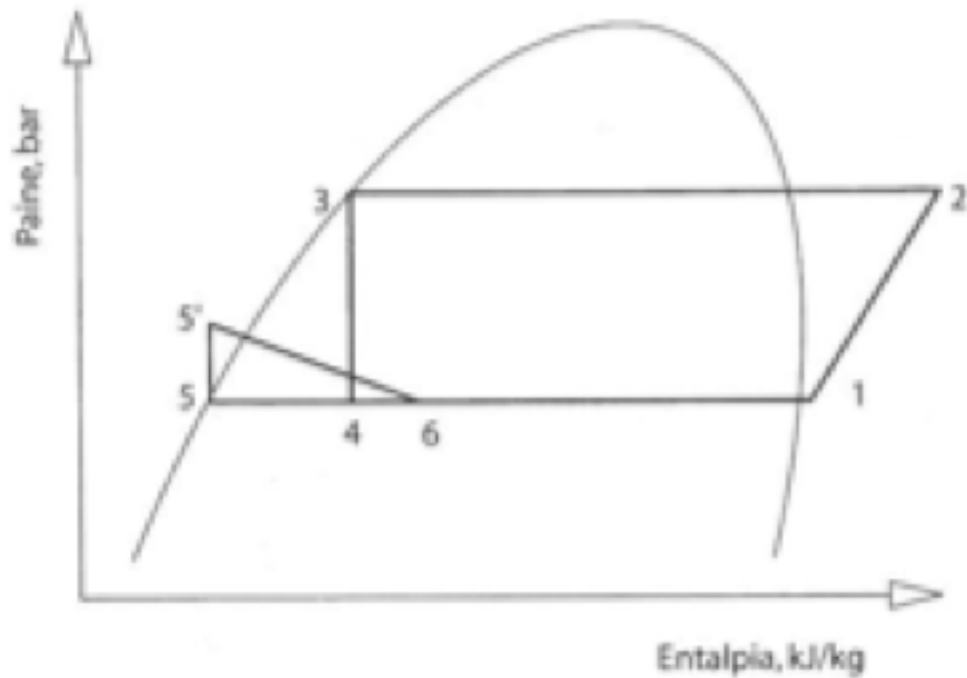
Pumppukiertoisessa kylmälaitoksessa kylmäaineenestettä pumpataan enemmän höyrystimeen kuin siellä höyrystyy. Höyrystimeltä virtaa kaksifaasinen seos takaisin pumppusäiliölle, josta höyry johdetaan kompressorille ja neste takaisin höyrystimelle. Pumppukiertoisen kylmälaitoksen periaatekytkentä on esitetty kuviossa 6.



Kuvio 6. Pumppukiertoinen kylmälaitos (Aittomäki 2008, 287)

Pumpattavan kylmäaineen määrää kuvataan ns. kiertoluvulla, joka ilmaisee pumpatun ja höyrystyneen kylmäaineen suhdetta. Kiertoluku voi olla ammoniakilaitoksissa 2 – 7 riippuen höyrystimen syöttötavasta. (Ashrae Handbook. 2010, 4.1-4.4.)

Kylmäprosessin toimintaa ja tehokkuutta voidaan tarkastella logaritmisella paine-entalpia-tilapiirroksella. Kuvio 7 esittää pumppukiertoisen kylmälaitoksen paine-entalpia-tilapiirrosta .



Kuvio 7. Pumppukiertoisen kylmälaitoksen logaritminen paine-entalpia-tilapiirros (Hakala & Kaappola 2005, 184).

Kuviosta 7 on luettavissa pumppukiertoisen kylmälaitoksen toimintapisteet seuraavasti:

1. kylmäaineen tila kompressorin imuaukossa
2. kylmäaineen tila kompressorin poistoaukossa
3. kylmäaineen tila ennen paineenalennusventtiiliä
4. kylmäaineen tila paineenalennusventtiilin jälkeen
5. kylmäaineen tila ennen kylmäainepumppua
- 5'' kylmäaineen tila kylmäainepumpun jälkeen
- 6 kylmäaineen tila höyrystimen jälkeen

Kylmäaineen tilaan pisteessä 5'' vaikuttaa höyrystimen ja kylmäaineputkiston painehäviö ja pisteeseen 6 vaikuttaa kiertoluku. (Hakala & Kaappola 2005, 184.)

3.2 Kylmäjärjestelmän kemikaalit

3.2.1 Kylmäaine

Teollisissa kylmlaitoksissa kylmäaineena laajasti käytetty ammoniakki R717 kuuluu ns. luonnollisiin kylmäaineisiin. Tämä tarkoittaa sitä, että aine esiintyy jossakin muodossa tai jossakin määrin valmiiksi luonnossa. Ammoniakin ominaisuuksiin lukeutuu mm. pieni nesteen viskositeetti, suuri lämmönjohtavuus sekä suuri höyrystymislämpö (ks. taulukko) 5.

Taulukko 5. Ammoniakin ominaisuuksia (Coolpack 2001, muokattu)

Ammoniakki R717: kyläisen aineen ominaisuuksia				
Lämpötila °C	paine bar (abs)	höyrystymis/lauhtumislämpö kJ/kg	Tiheys kg/m ³ (l)	Tiheys kg/m ³ (g)
-14	2,46	1308	657,3	2,05
-12	2,68	1301	654,7	2,22
-10	2,9	1294	652,1	2,39
-8	3,15	1288	649,4	2,58
-6	3,4	1281	646,7	2,78
-4	3,7	1274	644,0	3,00
23	9,43	1174	654,7	2,22
25	10,03	1166	602,8	7,80
27	10,67	1158	599,8	8,27
29	11,3	1150	596,8	8,78
31	12	1141	593,7	9,30
33	12,75	1133	590,6	9,85
35	13,5	1125	587,4	10,42
37	14,3	1116	584,3	11,03

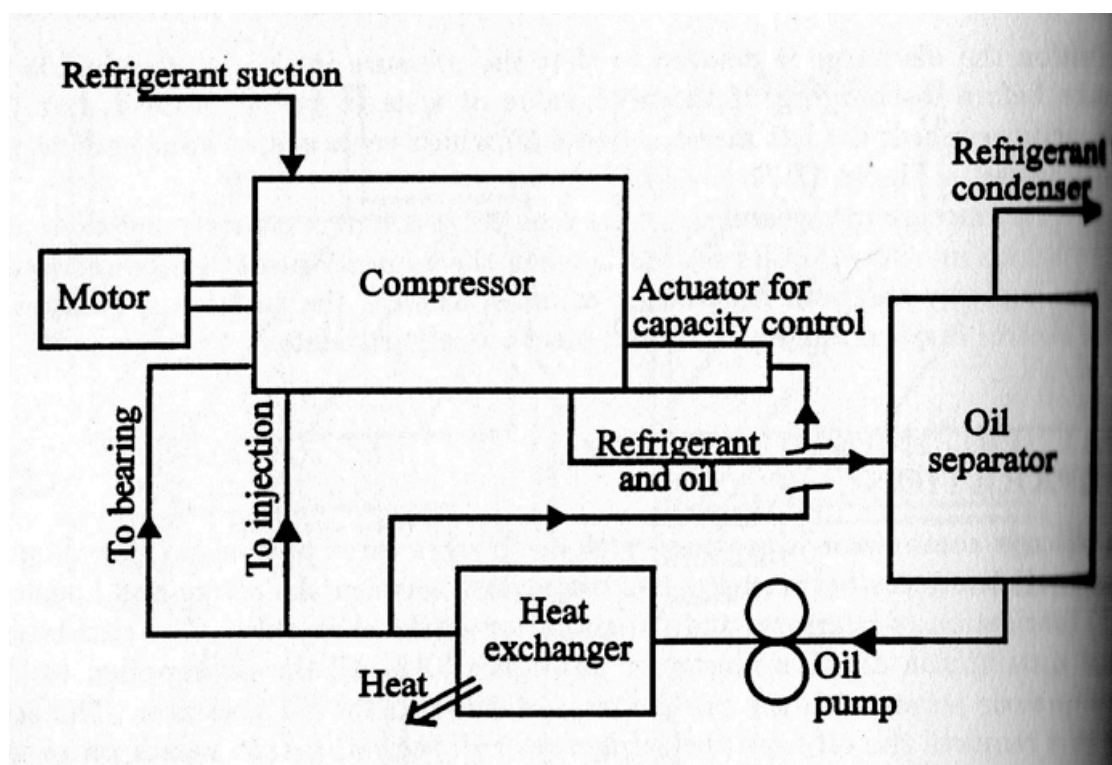
Refrigeration utilities Coolpack 2001 (Ashrae)

Ammoniakin käytön haittana on mm. aineen myrkyllisyys. Lieviä haittoja aiheutuu jo 150–200 ppm:n pitoisuuksilla, tosin voimakkaasti haiseva aine on havaittavissa jo 5–10 ppm:n pitoisuuksilla. Ammoniakki voi muodostaa tietyllä pitoisuudella ilman kanssa räjähtävän seoksen. Ammoniakkilaitoksen konehuone on varustettava vuotojen varalta tehokkaalla tuuletuksella (Aittomäki 2008, 122 - 126).

3.2.2 Voiteluöljy

Voiteluöljyn tarkoitus on ensisijaisesti pienentää kitkaa ja vähentää liikkuvien komponenttien kulumista muodostamalla ohuen kalvon komponenttien pinnalle. Tällöin osien välinen kontakti vähenee ja liikkuvien osien välinen kitka pienenee. (Ashrae Handbook. 2010, 12.1.)

Kuviossa 8 on esitetty öljyn virtaus kylmäjärjestelmässä. Öljyä ruiskutetaan ruuvikompressorin ruuvien väliin sekä laakereille, josta öljy päätyy kuumakaasun mukana öljynerottimeen.



Kuvio 8. Öljyn virtaus kylmlaitoksessa (Stoecker 1998, 144)

Valiolla Jyväskylässä kompressoreiden voiteluöljynä käytetty PAO 68 on syntetinen poly-alfa-olefiini, jonka ominaisuuksia ovat mm. korkea viskositeetti ja vähäinen vaahtoaminen. (Sabroe oil recommendation 2011, 11, 37.)

3.2.3 Kylmäliuokset

Etyleeniglykoli

Öljyä jäähdytetään ulkoisella jäähdytyksellä. Jäähdytykseen käytetään etyleeniglykolipohjaista liuosta, jota jäähdytetään nestejäähdyttimellä. Liuoksella lämmitetään kylmävarastojen sulatuspiiriä, jossa kiertää Freezium-liuos. Etyleeniglykoliliuoksen ominaisuuksia on koottu taulukkoon 6.

Taulukko 6. Etyleeniglykolin aineominaisuuksia (Välilliset kylmälaitokset 2001, muokattu)

Etyleeniglykoli: arvot 41 p% mukaan			
Lämpötila °C	Jäätymispiste °C	Ominaislämpökapasiteetti kJ/kg	Tiheys kg/m ³
-10	-25	3,36	1066
0		3,405	1062
20		3,49	1054
40		3,57	1043
Välilliset kylmälaitokset 2001, 151			

Freezium

Toisiopiirissä virtaavan liuoksen tarkoitus on kuljettaa lämpöenergiaa jäähdytetävästä kohteesta, kuten varastosta. Lämpöenergiaa sitoutuu liukseen, jolloin liuoksen lämpötila nousee. Lämmennyt liuos luovuttaa sitomansa lämpöenergian höyrystimessä höyrystyvään kylmäaineeseen. Liuokselle ominaista on myös huomattavasti vettä alhaisempi jäätymispiste. (Ashrae Handbook. 2010, 13.1.)

Kylmäliuoksena käytetty Freezium on emäksinen kaliumsuolapohjainen lämmönsiirtoneste, jonka lämpötekniset ominaisuudet on koottu taulukkoon 7. (Freezium opas, 1997.)

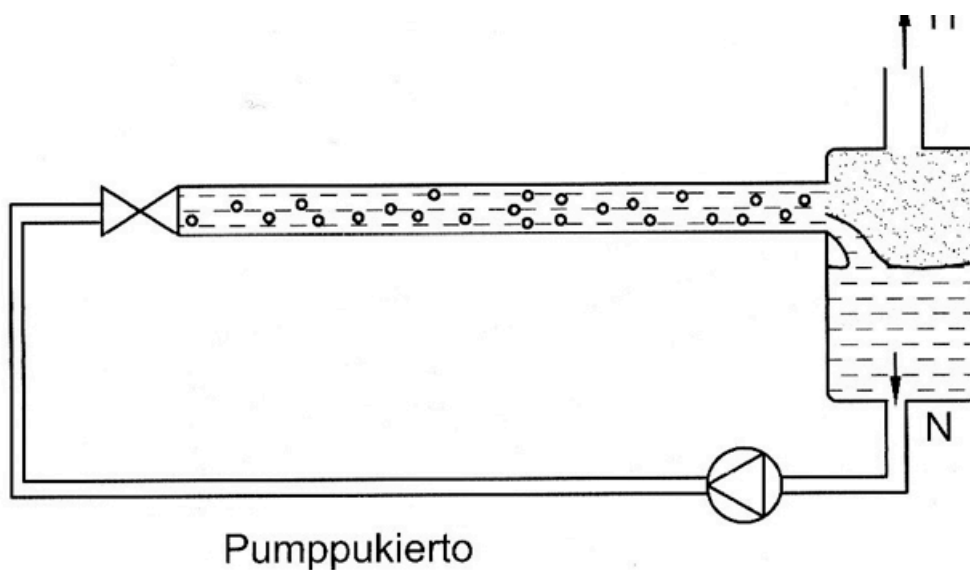
Taulukko 7. Kylmäliuoksen aineominaisuuksia (Freezium-opas 1997)

Freezium: arvot 34 p% mukaan			
Lämpötila °C	Jäätymispiste °C	Ominaislämpökapasiteetti kJ/kg	Tiheys kg/m ³
-10	-25	3,03	1223
0		3,06	1219
20		3,1	1211
40		3,14	1203
Freeziumopas 1997			

3.3 Höyrystin

Höyrystimen tehtävä on siirtää järjestelmään tuotu lämpö kylmäaineeseen. Kylmäainetta pumpataan höyrystimeen alijäähtyneenä nesteenä. Nesteeseen tuotu lämpöenergia saa kylmäaineen kiehumaan, kylmäaineesta osa höyrystyy ja osa jää nesteeksi. Nestehöyryseos virtaa höyrystimestä paluuputkea myöten pumpusäiliölle, jossa faasit erottuvat toisistaan. (Stoecker 1998, 30.)

Pumppukiertoisen höyrystimen virtausperiaatetta on havainnollistettu kuviossa 9.



Kuvio 9. Pumppukierto höyrystimen periaate (Aittomäki 2008, 171)

Kohteessa höyrystimenä toimii mm. neljä jäävesisiiloa, jossa kussakin on viisi putkispiraalia. Kylmäaineesta osa höyrystyy putken sisäpinnalla aiheuttaen veden jäätymistä putken ulkopinnalle. Höyrystymisprosessia ohjataan jään paksuuden mukaan muuttamalla kylmäaineen massavirtaa säätöventtiilein. Jäätä kerrytetään 50 mm paksu kerros putken pintaan, jonka jälkeen sulamislämpöä voidaan hyödyntää tuotantoprosessin jäähdytyksessä. Kuviossa 10 on esitetty jäävesisiilot sekä jääveden sekoittajan sähkökäyttö siilon katolla.



Kuvio 10. Jäävesisiilot, sekoittaja sekä lauhduttajien vesisäiliö

Jäävesisiilojen kokonaiskapasiteetti on noin 280 m³. Siilojen käyttöä ohjataan valvomosta. Käyttäjä merkitsee kirjanpitoon mikä siiloista on käytössä ja mitä siiloa jäähdytetään. Kun siilosta lähtevän veden lämpötila nousee noin 2 °C:een, laitetaan siilo uudelleen jäähdytymään. Kerrallaan voidaan käyttää yhtä ja jäähdyttää kahta siiloa. Automaattinen jäähdytys alkaa klo 20.00 ja päättyy aamulla klo 8.00.

Jäävesisiilojen lisäksi kylmäenergiaa tuotetaan kylmävarastoon. Varastojen jäähdytys tapahtuu kylmäliuoksen avulla, jota jäähdytetään kahdella levylämmönvaihtimella, jotka toimivat höyrystiminä. Pumppukiertoisissa ammoniakkilaitoksissa levylämmönvaihdin ei tarvitse öljynpoistoyhdettä vaihtimen alimmassa

kohdassa. Suuresta nesteen virtausnopeudesta johtuen öljy palautuu levylämönvaihtimesta pumppusäiliölle. (Aittomäki 2008, 182.)

3.4 Pumppusäiliö

Pumppusäiliön tehtävä on erotella höyrystimiltä tulevat kylmäaineen neste- ja höyryfaasit toisistaan, tämä tapahtuu painovoiman ja virtausnopeuden vaikutuksesta. Tiheämpi nestefaasi putoaa hidastuneen virtausnopeuden vuoksi säiliön alaosaan ja kevyempi höyry nousee säiliön yläosaan. Nestemäinen kylmäaine täyttää pumppusäiliöstä noin puolet. Säiliön alaosassa on putkiyhteet kylmäainepumpuille, jotka pumppaavat kylmäainetta höyrystimille. (Ashrae Handbook. 2010, 4.1.)

Pumppusäiliön alaosaan kertyy öljyä, joka on peräisin kompressoreista. Tehokkaista öljynerottimista huolimatta osa voiteluöljystä päätyy kylmäainekiertoon. Öljy aiheuttaa nesteputkien nousuihin painehäviötä, eikä öljy kylmäainetta raskeampana palaudu järjestelmästä kompressorille. Öljy tulee poistaa säännöllisesti pumppusäiliön pohjalta sekä höyrystimistä. (Stoecker 1998, 302.)

Jyväskylän meijerin jäähdytysjärjestelmässä käytetään kuvion 11 mukaista 12 m³ pumppusäiliötä.



Kuvio 11. Pumppusäiliön tilavuus 12 m³, säiliö varustettu pinnankorkeusindikaattorilla.

Öljyä poistetaan pumppusäiliön alaosan öljynerottimesta säännöllisesti. Poistettu öljy korvataan uudella öljyllä, joka pumpataan täyttöpumpun avulla kompressorin öljysäiliöön.

3.5 Kompressorit

3.5.1 Kompressorin toiminta

Höyrystynyt kylmäaine virtaa pumppusäiliön yläosasta kompressorin imuaukkoon saapuessaan höyry on hieman tulistunut, mikä johtuu imuputken aiheuttamasta paine- ja lämpöhäviöstä. Tulistunut imukaasu puristetaan kompressorissa korkeampaan paineeseen, jolloin kaasun lämpötila kasvaa voimakkaasti. (Cengel & Boles 2011, 613–614.)

Ruuvikompressorilla on kiinteä tilavuus- sekä painesuhde. Mikäli imupaine on vakio, on myös paine kompressorin poistoaukossa vakio. Laitoksen poiketessa

kompressorin painesuhteesta syntyy häviö. (Hakala & Kaappola 2005, 155 – 158.)

3.5.2 Kompressorin voitelu

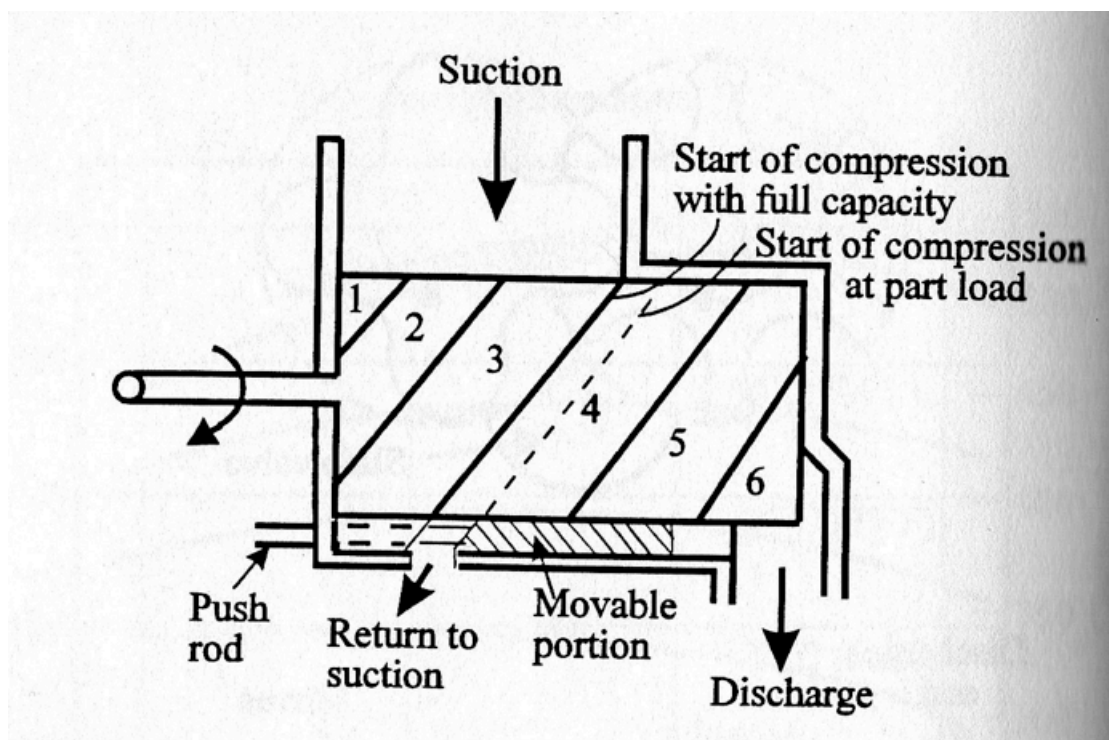
Ruuvikompressorin ruuvien väliin ruiskutetaan öljyä, joka tiivistää ruuvit ja estää mekaanisen kosketuksen ruuvien välillä. Öljy myös jäähdyttää kompressoria ja laskee puristuksen loppulämpötilaa. (Hakala & Kaappola 2005, 155-158.)

Öljyä jäähdytetään ulkoisella nestejäähdytyksellä. Jäähdytysnesteen lämpöä hyödynnetään varaston jäähdytyspattereiden sulatuksessa. Öljynjäähdytykseen käytetty teho voidaan vähentää lauhdutustehosta. (Hakala & Kaappola 2005, 189-191.)

3.5.3 Kompressorin tehonsäätö

Tehonsäätöluisti

Vakionopeudella pyörivän ruuvikompressorin tehoa voidaan säätää ns. säätöluistilla. Hydraulisesti toimiva säätöluisti säätää puristukseen käytettävää ruuvin pituutta. Toimittaessa osakuormalla säätöluisti avaa yhteyden kompressorin imuaukkoon, jolloin osa puristusvaiheessa olevasta kaasusta palautuu imuaukkoon. Luistin avulla tehoa voidaan säätää portaattomasti alueella 10 – 100 %. Säätöluistin toiminta periaate on kuvattu kuviossa 12. (Stoecker 1998, 136-138.)



Kuvio 12. Tehonsäätö, säätöluistilla (Stoecker 1998, 138)

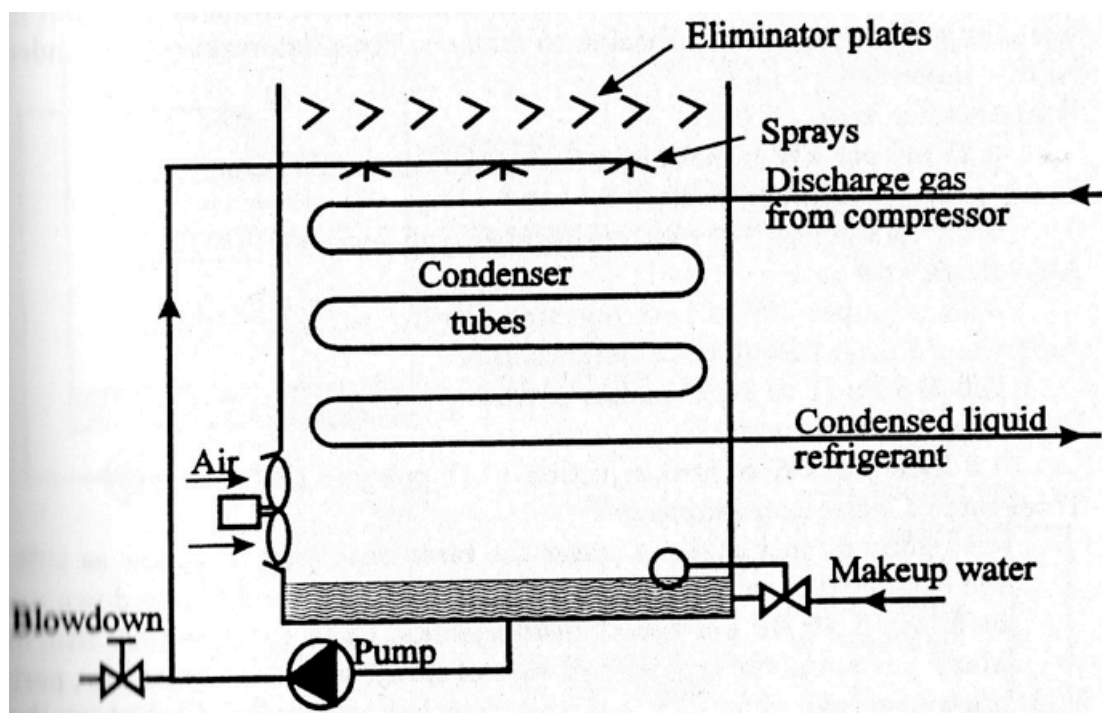
Tehonsäätö pyörimisnopeutta muuttamalla

Ruuvikompressorin tehoa voidaan myös säätää muuttamalla kompressorin pyörimisnopeutta. Tämä tapahtuu tavallisesti taajuudenmuuttajalla. Taajuudenmuuttajan käyttö heikentää ruuvikompressorin hyötysuhdetta pienillä pyörimisnopeuksilla, koska ruuvien väliset sisäiset vuodot lisääntyvät. Pyörimisnopeus säätö on kuitenkin luistisäätöä tehokkaampaa. (Hakala & Kaappola 2005, 155-158).

3.6 Lauhdutin

Lauhduttimen tehtävä on siirtää kuumakaasusta lämpöä ympäröivään fluidiin. Kuumakaasua jäähdytetään, kunnes kaasu nesteytyy luovuttaen lauhtumislämmön fluidiin. Fluidina voi toimia ilma tai neste. Usein teollisissa kylmälaitoksissa käytetään haihdutuslauhduttimia. Haihdutuslauhduttimessa lauhtumista tehostetaan veden avulla. Jäähdyttävän ilman sekaan ruiskutetaan vettä, joka laskee ilman lämpötilaa mahdollistaen matalamman lauhtumispaineen kuin kuivalla

ilmalauhduttimella. Haihdutuslauhduttimen toimintaperiaate on esitetty kuviossa (13). (Stoecker 1998, 263-265.)

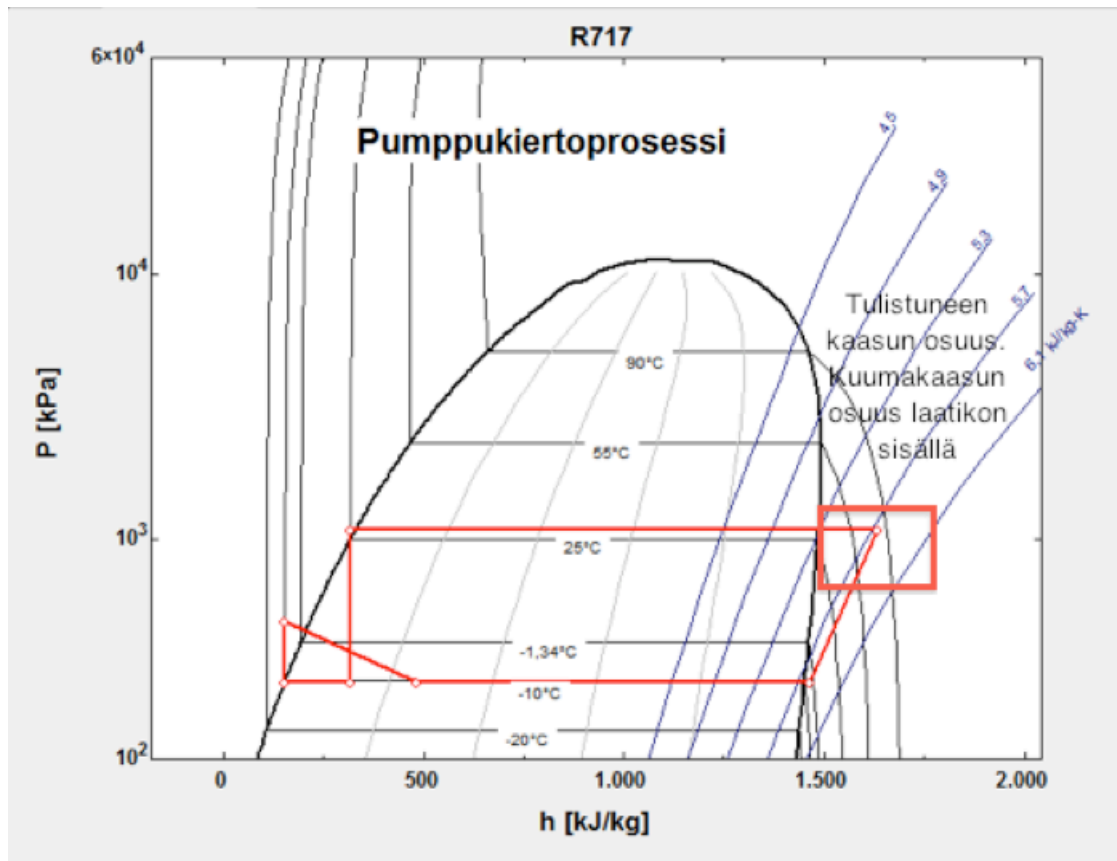


Kuvio 13. Haihdutuslauhduttimen toimintaperiaate (Stoecker 1998, 265)

Lauhduttimilta nesteytynyt kylmäaine johdetaan varaajasäiliöön, jonka tehtävä on tasata kuormitusvaihteluiden aiheuttamaa massavirran muutosta.

Lämmön talteenotto

Kylmälaitoksen toiminnasta syntyy huomattava määrä hukkalämpöä. Suurin osa syntyvästä hukkalämmöstä on matalalämpötilaista lauhtumislämpöä, noin 25 - 35°C. Kompressorilta lähtevä tulistunut kuumakaasu on lämpötilaltaan noin 80 °C. Kuumakaasulla voidaan lämmittää välipiirin kautta käyttövettä. Kuvioon 14 on korostettu kuumakaasun osuus, joka on huomattavasti pienempi, kuin lauhtumislämmön osuus.



Kuvio 14. Pumppukiertoisen kylmälaitoksen logaritminen paine-entalpia-tilapiirros (laadittu EES 2010 -ohjelmalla)

Kylmälaitoksen energiataloutta on mahdollista parantaa ottamalla muutoin hukkaan menevää lauhtumislämpöä talteen. Lämmön talteenoton kannattavuus on tarkasteltava aina tapauskohtaisesti. Lauhtumislämmön talteenottoa tarkasteltaessa on selvitettävä saatavan lauhtumistehon vaihtelut vuorokauden ja viikon aikana ja verrattava niitä lämmityksen tarpeeseen. Matalalämpötilaista lauhtumislämpöä voidaan hyödyntää suoraan tai sen lämpötilatasoa voidaan nostaa lämpöpumpulla. (Aittomäki 2008, 220–221.)

Lämmön talteenottoratkaisuissa on muistettava, ettei kylmälaitoksen ensisijainen tehtävä, jäähdyttäminen, saa häiriintyä. Lauhtumislämpötilaa ei tule lämmön talteenoton takia nostaa tarpeettomasti. Lauhtumislämpötilan nosto lämmön talteenoton vuoksi tulee tarkastaa kannattavuuslaskelmin. (Aittomäki 2008, 223)

3.7 Pumput

Kylmäainetta, jäävettä ja kylmäliuosta kierrätetään järjestelmässä keskipakopumppujen avulla. Kylmäainetta pumpataan neljällä vakiovirtaamapumpulla, kuten jäävettäkin. Pakkasliuosta kierrätetään kahdella vuoroin toimivalla pumpulla, joiden pyörimisnopeutta säädetään taajuudenmuuttajilla. Pumpun tuottama tilavuusvirta voidaan määrittää affiniteettisäännön mukaan yhtälöllä 2.

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2)$$

jossa

\dot{V}_1 = pumpun alkuperäinen tuotto (m³/s)

\dot{V}_2 = pumpun muuttunut tuotto (m³/s)

n_1 = pumpun alkuperäinen pyörimisnopeus (1/min)

n_2 = pumpun muuttunut pyörimisnopeus (1/min)

Vakiovirtaamapumppujen tilavuustuotto saadaan järjestelmään kytketystä virtausmittauksesta. Järjestelmän lämpöteho on laskettavissa yhtälöllä 3.

$$\dot{Q} = \dot{V} \rho c_p \Delta T \quad (3)$$

jossa

\dot{Q} = lämpöteho (kW)

\dot{V} = tilavuusvirta (m³/s)

ρ = virtaavan aineen tiheys (kg/m³)

c_p = ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg)

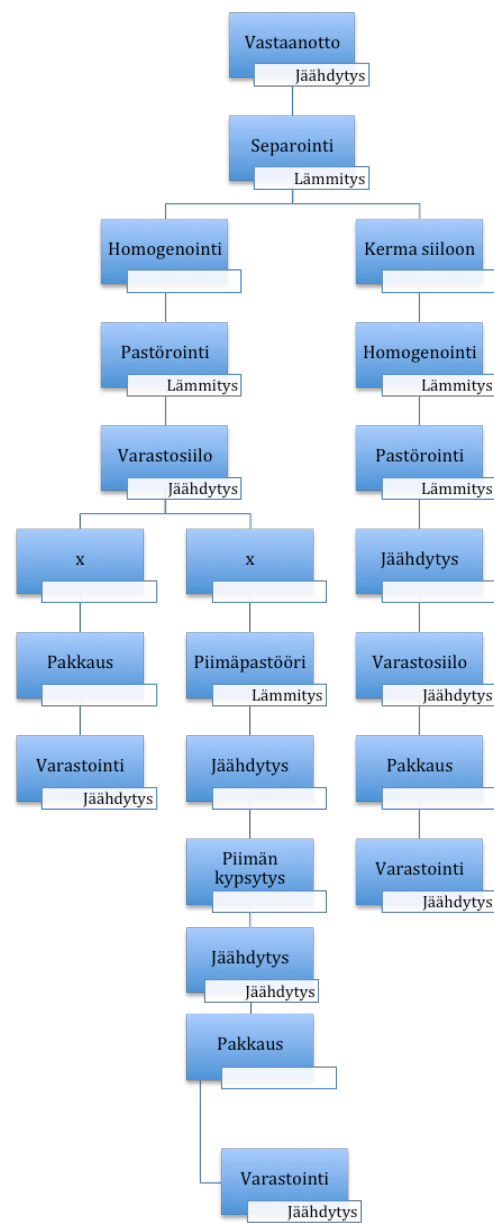
ΔT = meno- ja paluuvirtaaman lämpötilaero.

4 Kylmä- ja lämpöenergian käyttökohteet

4.1 Meijerin valmistusprosessit

Valmistusprosessit

Meijeriprosessi on kuvattu pääpiirteittäin kuviossa 15. Kuvioon on merkitty ne prosessin vaiheet, jossa ulkopuolista lämpöä tuodaan sekä ne, jossa lämpöä poistetaan ulkoisella jäähdytyksellä.



Kuvio 15. Meijeriprosessit lämmitys- ja jäähdytys vaiheineen

Pääpiirteittäin kaikissa prosessin vaiheissa maitotuotetta lämmitetään tai jäähdytetään. Lämpötilalla ja lämmitysajalla on suuri merkitys maidonlaatuun. Erilaiset lämpökäsittelyt ja jäähdytykset vaikuttavat mm. maitotuotteen säilyvyyteen (Jokela, Jaakkola, Huhtanen, Rokka, Korhonen, Salo – Väänänen & Piironen. 1998, 63-74).

Vastaanotto

Raakamaito vastaanotetaan vastaanotto-osastolla, josta maito pumpataan suodattimen, ilmanpoistajan ja jäähdyttimen kautta varastosiiloihin. Vastaanoton yhteydessä raakamaidosta tarkastetaan mm. haju, antibiootit ja bakteerimäärät. Tarkastuksilla varmistetaan, että raaka-aine täyttää hygienialain asettamat terveys- ja laatuvaatimukset. (Milk Works n.d.)

Jyväskylässä vastaanottokapasiteettia on noin 930 m³, joka jakautuu kymmenelle vastaanottosiilolle. Raakamaito vastaanotetaan alle 6 °C:n lämpötilassa ja se jäähdytetään 2–3 °C:seen ennen kuin maito johdetaan varastosiiloon. Vastaanoton jälkeen maitoauton tankki pestään. Aluksi tankki huuhdellaan, minkä jälkeen suoritetaan emäs- sekä happokäsittely. Lopuksi tankille tehdään vielä loppuhuuhdtelu. (Polmio 2014.)

Separointi

Separoinnissa maidosta erotetaan kerma. Tämä tapahtuu mekaanisesti keskipaikoisvoimaa hyödyntäen. Separoattori koostuu sähkömoottorista, vaihteesta, kuulasta ja kuulanaxselista. Kuula koostuu useasta kartiomaisesta levystä, joiden väleissä erottuminen tapahtuu kuulan pyöriessä suurella nopeudella. Rasvaton maito kulkeutuu suuremman ominaispainonsa vuoksi ulkokehää kohti, kun kerma kulkeutuu kohti kuulan pyörimisakselia, näin komponentit erottuvat.

Maito lämmitetään ennen separointia, jotta kerma erottuisi helpommin. Optimaaliset olosuhteet separoitumiselle ovat 45–65 °C. Lämmittäminen tapahtuu pastörintivaihtimen regenerointiosassa, jolloin viileä separoimaton maito lämpiää ja lämpökäsitelty maito jäähtyy luovuttamalla lämpönsä separoitavaan maitoon. (Milk Works n.d.)

Separoinnissa erotettu kerma pumpataan välisäiliöihin, joista kerma johdetaan pastöroitavaksi, tämän jälkeen kerma jäähdytetään. Jäähdytetty kerma johdetaan varastosiiloihin, joissa on mahdollista vielä tehdä lisjäähdytystä, joka tapahtuu siilon vaipassa ja sekoittajassa virtaavan jääveden avulla. Varastosiilojen kapasiteetti on yhteensä noin 120 m³. (Polmio 2014.)

Homogenointi

Homogenoinnissa maitoon jäljelle jäänyt rasva pilkkotaan pieniksi halkaisijaltaan noin 1 µm kokoisiksi palloiksi. Jäljelle jäänyt rasva pilkkoutuu, kun lämmin noin 60 °C maito puristetaan suurella paineella homogenisaattorissa olevien pienten reikien läpi. Homogenointi vaikuttaa mm. maidon väriin, viskositeetin ja rasvan tasaisempaan jakautumiseen parantaen maidon makua. (Jokela ym. 1998, 66–67.)

Pastörinti

Homogenisoinnin jälkeen maito pumpataan pastörintivaihtimen regeneroinnin kautta pastöroitavaksi. Pastörinti on lämpökäsittely, jolla pyritään ensisijaisesti tuhoamaan sairauksia ja ruokamyrkytyksiä aiheuttavia bakteereita ja viruksia. Pastörinti vaikuttaa myös pidentävästi maidon säilyvyyteen. Pastörintin jälkeen kuumennetun maidon lämpö otetaan talteen regenerointiosassa ja siirretään pastörintiin saapuvaan virtaan. Lämmöntalteenoton jälkeen maito jäähdytetään jäävedellä takaisin varastointilämpötilaan. (Jokela ym. 1998, 68 – 70.)

Prosessilaitteiden puhdistus

Tuotantolaitteet pestään kirjallisen puhdistusohjeen mukaisesti. Puhdistuksen tarkoitus on poistaa maidon käsittelystä laitteiden pinnoille jäänyt orgaaninen ja epäorgaaninen lika. Tavallisesti laitteet ja putkistot pestään CIP- menetelmällä. (CIP = cleaning in place) tämä tarkoittaa sitä, että putkistot ja laitteet pestään avaamatta niitä. (Milk Works n.d.)

Jyväskylän meijerillä prosessien pesuvesiä varten on 5 säiliötä, jotka ovat tilavuudeltaan noin 20 m³/kpl. Pesuprosessiin kuuluu alkuhuuhdtelu, happo- ja

emäskierrätykset, kylmädesinfiointi sekä loppuhuuhtelu. Kylmädesinfiointi on muutettavissa ajojärjestelyin kuumadesinfioinniksi.

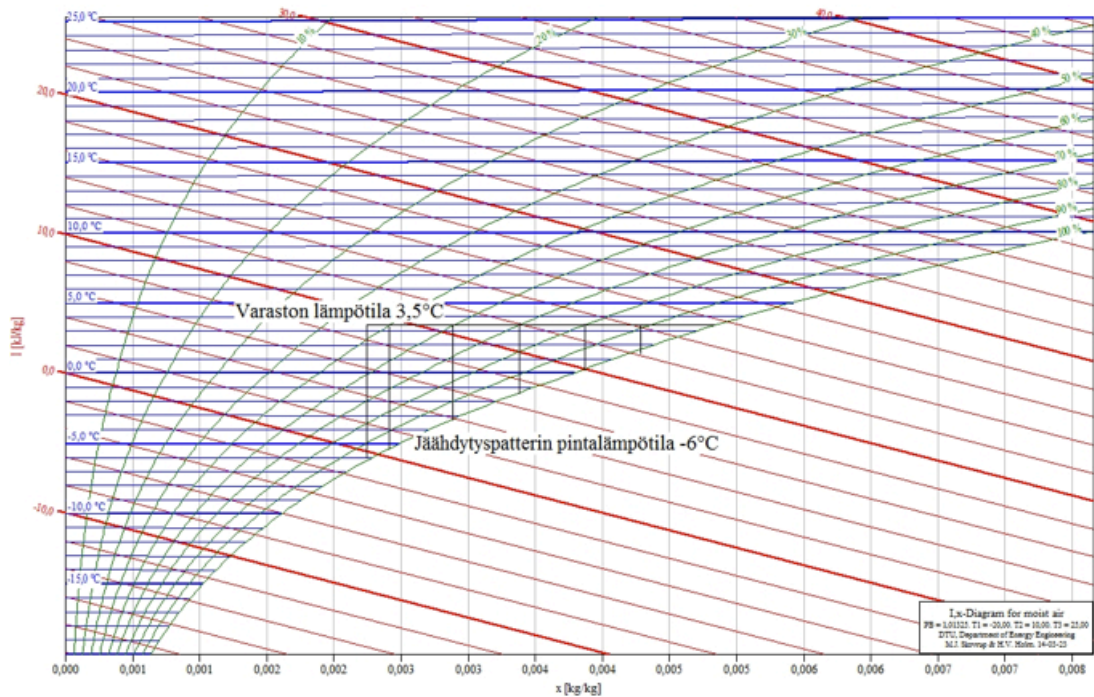
4.2 Varasto

Jyväskylän meijerin kylmävarasto on pinta-alaltaan noin 14 300 m² ja tilavuutta varastossa on noin 89 000 m³. Varastossa säilytetään meijerin valmistamien tuotteiden lisäksi muitakin Valion tuotteita, jotka toimitetaan Keski-Suomen alueen myymälöihin. Varasto jakautuu tuotevarastoon ja ns. robottivarastoon, jossa robotti kerää tilatut tuotteet lavalle tai pienempään laatikkoon jatkotoimitusta varten. Varaston lämpötila pyritään pitämään 3,5 °C lämpötilassa. Maitotuotteiden tyypilliset säilytysolosuhteet ovat Aittomäen (2008, 392) mukaan 2 – 3 °C ja 75–80 % suhteellista kosteutta.

Lämpötilaa hallitaan jäähdytyskonvektorein, joiden lämmönsiirtoaineena toimii Freezium-liuos. Kylmäliuosta pumpataan pyörimisnopeussäädetyin pumpuin, jotka toimivat vuorokäytöllä. Kylmävaraston pohjakuva on esitetty kuvioissa 16. Kuvion vasemmassa yläkulmassa sijaitsee tekninenkeskus, jossa tuotetaan meijerin käyttämä lämpö- ja kylmäenergia.

Kuvio 16. Valio Oy Jyväskylän meijerin B-rakennuksen pohjakuva

Kylmäliuoksen lämpötila jäähdytyskonvektorille tullessa on noin -6 °C. Varaston lämpötilalla 3,5 °C ja suhteellisen kosteuden ollessa yli 47 % tiivistyy ilmassa oleva vesi jäähdytyskonvektoreiden jäähdytyspinnoille. Vesi jäätyy jäähdytyspinnoille pintalämpötilan ollessa alle veden jäätymispisteen ks. kuvio 17.



Kuvio 17. Kostean ilman I,x- kuvaaja (laadittu Coolpack 2001 -ohjelmalla)

Kostean ilman kuvaajasta on nähtävissä ne olosuhteet, joissa jäätä muodostuu jäähdyttävälle pinnolle. Jää on poistettava jäähdytyskonvektorien jäähdytyspatterin pinnoilta, jotta lämmönsiirtyminen ja puhaltimien ilmamäärä ei heikkenisi. Jää poistetaan sulattamalla jäähdytyspatterit kaksi kertaa vuorokaudessa.

Sulatus tapahtuu lämpimällä liuoksella, joka johdetaan jäähdytyspatterin liuoskiertoon avaamalla sulatuspiirinventtiilit ja sulkemalla jäähdytyskierronventtiilit. Sulatuslämpö saadaan kylmäkoneiden öljynjäähdytyspiiristä lämmönvaihtimen avulla.

5 Kylmäntuotannon energiatehokkuus

5.1 Menetelmät

Tutkimustyökaluna työssä käytettiin Motivan mallin mukaista kylmää tehokkaasti-analyysiä. Analyysissä keskitytään kylmäjärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseen katselmoimalla, mittaamalla sekä haastatteleamalla käyttökäyttökuntaa.

Analyysissä kartoitetaan kylmäntuotannon energiatehokkuuden nykytila. Ensimmäisessä resurssit keskitetään kylmäntarpeen vähentämismahdollisuuksien löytämiseen, siis tuotetaan vain välttämätön kylmäenergia. Analyysissä selvitetään, minkä lämpöistä kylmää tarvitaan ja voidaanko lämpötilaa nostaa? Lisäksi selvitetään tehdäänkö kylmä tarkoituksen mukaisesti ja voidaanko kokonaisenergiataloutta parantaa.

KYTE-analyysi, kylmää tehokkaasti, toteutettiin seuraavasti:

- Kerättiin lähtötiedot
- Katselmus paikanpäällä laitospäällikön kanssa
- Laadittiin mittaussuunnitelma
- Suoritettiin mittaukset
- Analysoitiin mittaustulokset
- Laadittiin raportti tuloksista

Lähtötiedoista pystyi määrittämään aiemman sähkö- ja lämpöenergian käytön sekä vedenkulutuksen ja tuotantomäärät. Lisäksi kartoitettiin rakennuksen pinta-aloja sekä tarkennettiin energiankäytön jakaumaa.

Katselmus aloitettiin 13.1.2014 laitospäällikön avustuksella. Tutustuimme kylmäntuotantoon sekä meijerin valmistusprosesseihin sekä kylmävaraston käyttöön ja toimintaan.

Meijerin Computec-automaatiojärjestelmästä saatiin mittaustietoa käytetystä kylmäenergiasta sekä kylmälaitoksen olosuhdetietoja, kuten pumppusäiliön paine ja lauhtumispaine. Automaatiojärjestelmästä saatiin myös ulkoilman lämpöti-

la sekä varaston sisälämpötilat. Mittaussuunnitelma on esitetty liitteessä 1. Mittaustuloksia saatiin kustakin mitattavasta suureesta 17 kpl/vrk.

Kompressorien sähkötehon mittaukset toteutettiin 10.2.–24.2.2014. Mittaukset suoritettiin kahdella Fluke 435-mittarilla, jotka rekisteröivät talteen huippu-, minimi- ja keskiarvotehon kymmenen minuutin ajanjaksoilta.

Automaatiojärjestelmän ja sähkötehon mittausten perusteella määritettiin kompressorien kylmäkertoimet laitetoimittajan toimittamia suoritusarvotaulukoita hyväksikäyttäen (ks. liite 2).

Kylmäkerrointen ja sähkömittausten perusteella määritettiin kylmäntuotto mitausjaksolta 10.2.–24.2.2014. Kylmäntuotto määritettiin myös vuositasolla käyttäen hyväksi vuosikylmäkerrointa (SCOP), joka määritettiin mittaustulosten ja Jyväskylän vuoden 2013 ulkolämpötilojen mukaan.

5.2 Kylmäjärjestelmä

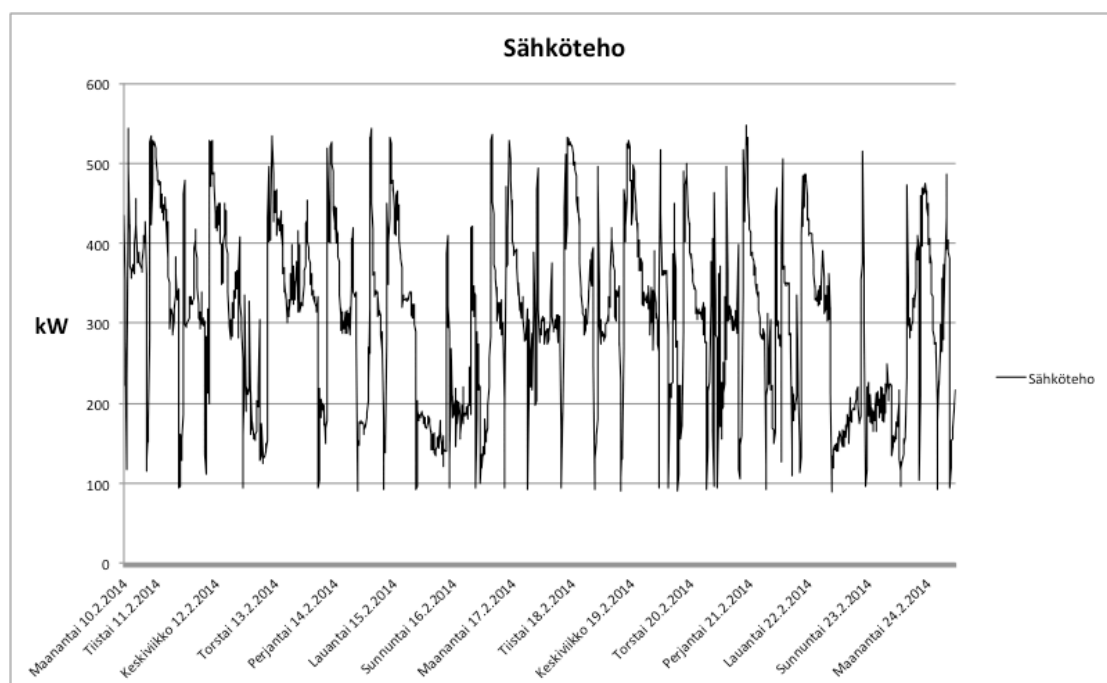
Kylmäntuotanto on toteutettu pumppukiertoisella kylmälaitoksella, jonka kylmäaineena toimii ammoniakki. Kylmälaitoksen pääkomponentit on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Kylmäjärjestelmän pääkomponentit

Kompressorit		Sähkökäyttö	Kylmäteho
JK1	SAB 163HR	400 V, 315 kW, 5,0-100,5 Hz, 570 A 269.6002 1/min. cos ϕ 0,83 η 95 %.	870 kW -10°C/+35°C NH3
No.	137560		
Imutilavuusvirta	1291 m ³ /h		
vm.	2007		
JK2	Howden MK4B WRW 204	380 V, 50 Hz, 283 A, 2930 1/min, cos ϕ 0,92, η ?	430 kW -10°C/+35°C
JK3	Howden MK4B WRW 204	380 V, 50 Hz, 283 A, 2930 1/min, cos ϕ 0,92, η ?	430 kW -10°C/+35°C
JK4	York SAB 202 SF	400 V, 355 kW, 50 Hz, 600 A, 2965 1/min., cos ϕ 0,9 η 95 %.	1200 kW -10°C/+35°C
No.	126156		
Imutilavuusvirta	1804/2171 m ³ /h		
Lauhduttimet			
Baltimore Aircoil	VXC 350 R	Puhallin: 380 V, 50 Hz, 22 kW	Haihdutuslauhdutin 10.1
Ser.	H04-0583	Pumppu: 380 V, 50 Hz, 4 kW	
Baltimore Aircoil	VXC 350 R	380 V, 50 Hz, 22 kW	Haihdutuslauhdutin 10.2
Ser.	H04-0582	Pumppu: 380 V, 50 Hz, 4 kW	
Fincoil	AL-9-H-VS		4 kpl Ilmalauhduttimia varustettu vesisumutuksella
Valm. No.	4780		
Vm.	1978		
mootorit	6x 1,8 kW 700 RPM		
Varaajasäiliö			
Rautavalmiste Oy	A52587		Säiliö on Inspectan tarkastama. Seuraava tarkastus on merkitty Toukokuulle 2015
Valm.No.	11807		
Vm.	1981		
suurin sal. Paine	15 bar		
korkein sis. lämpötila	40°C		
matalin sis lämpötila	(-40°C)		
Tilavuus	8 m ³		
Pumppusäiliö			
Oy Tools AB	A48725		Pumppusäiliö eristetty. Pumppusäiliöstä kylmäainetta pumpataan neljällä 3,9 kW:n pumpulla. Seuraava määräaikaistarkastus on merkitty Lokakuulle 2015
Valm. No.	3177		
Vm.	1978		
suurin sal. Paine	15 bar		
korkein sis. lämpötila	40°C		
matalin sis lämpötila	(- 40°C)		
Tilavuus	12 m ³		
Jäävesitornit			
Valmistaja	Tankki Oy		4 kpl Jäävesitorneja, joissa kussakin 5 putkipatteria jäänmuodostamista varten, sekä sekoittaja
Tilavuus	noin 70 m ³ /kpl		
Sekoitin			

5.2.1 Kompressorien ottotehojen mittaus

Kylmäkompressoreiden JK1 ja JK4 sähkötehon yhteiskäyttö on nähtävissä seuraavasta kuviosta 18, joka on laadittu 10 minuutin mittausjakson pätötehon keskiarvosta. Kuviosta on nähtävissä työviikon luonne. Kylmäkäyttö on arkipäivinä suhteellisen samansuuruista, mutta viikonloppuisin käyttö hieman vähenee.



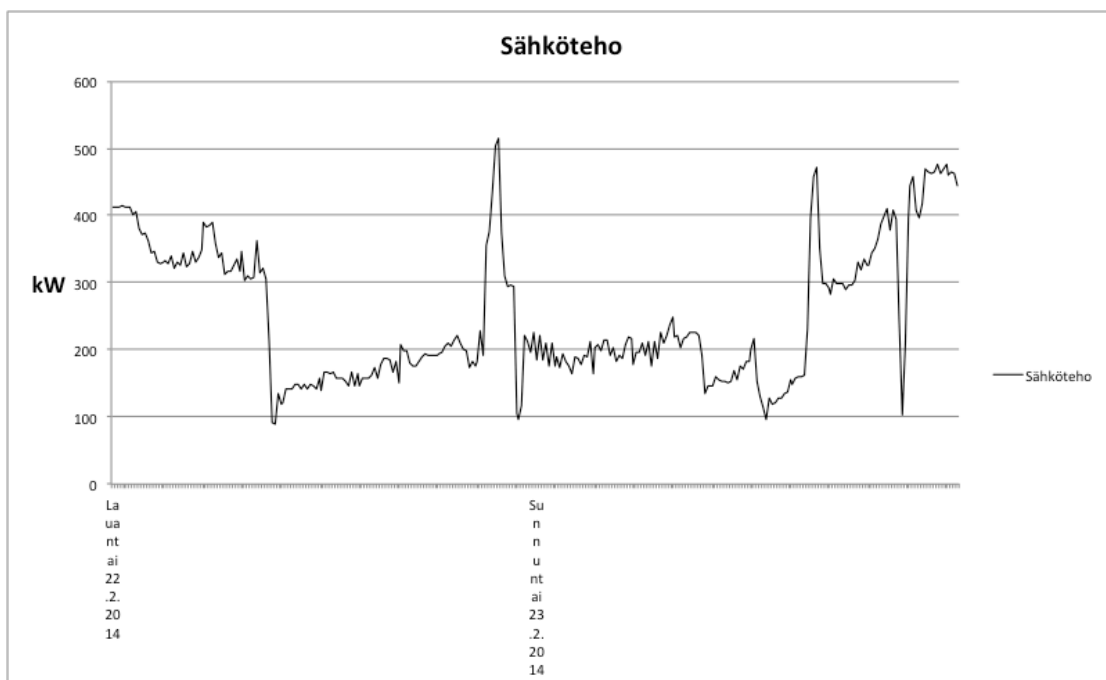
Kuvio 18. Kompressoreiden sähköteho 10.2–24.2.2014

Sähkötehon huippu mittausjaksolla oli noin 520 kW ja alimmillaan 90 kW. Keskimäärin sähköteho pysyi 305 kW:n tasolla. Kompressorit kuluttivat sähköenergiaa mittausjaksolla 103 MWh. Kuviossa 19 on kylmäkompressoreiden tyypillinen arkipäivän ottotehon vaihtelu. Tehopiikit johtuvat jäänvalmistuksesta, jolloin molemmat kompressorit ovat samanaikaisesti päällä.



Kuvio 19. Kompressoreiden sähköteho arkipäivänä

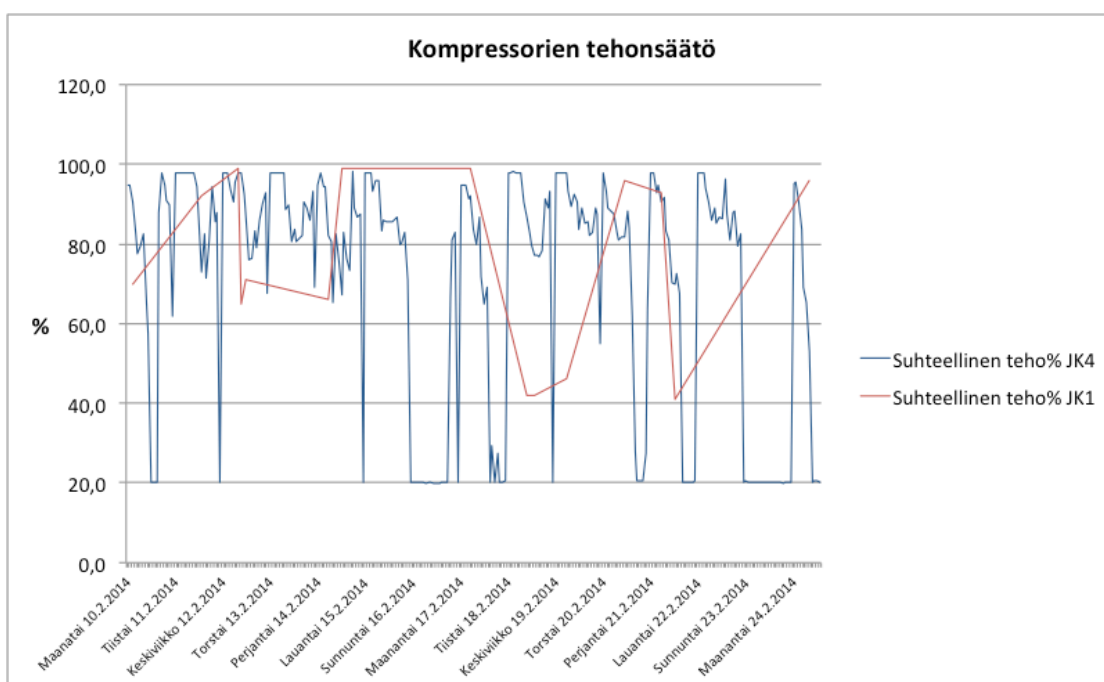
Viikonloppuna meijerin tuotanto on vähäistä suhteessa arkipäiviin. Kuviossa 20 on esitetty kylmäkompressoreiden tyypillinen kuormitus viikonloppuna.



Kuvio 20. Kompressoreiden sähköteho viikonloppuna

5.2.2 Paineet ja olosuhteet

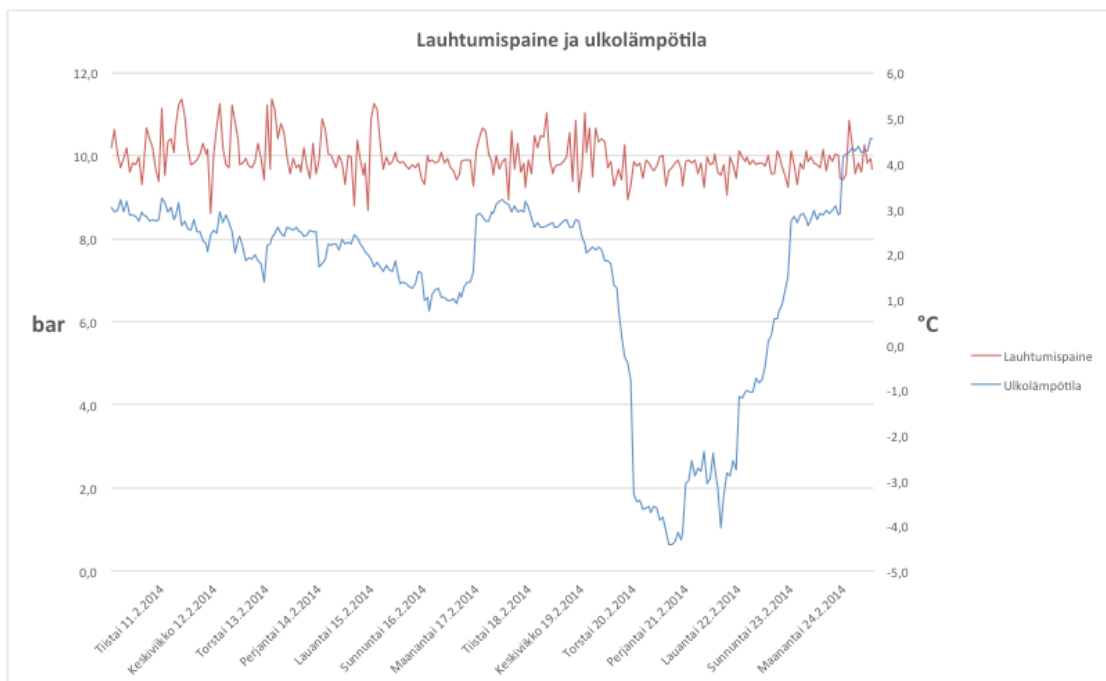
Kylmäkompressoreiden tehonsäädön toiminta on nähtävissä kuviosta 21. JK4:n tehonsäätöluistin asentotieto on kytketty suoraan automaatiojärjestelmään, mutta JK1:n tehonsäätötietoa ei ole kytketty automaatiojärjestelmään. JK1:n suhteellinen teho on kirjattu vihkoon muutaman kerran arkipäivisin. Vihkokirjanpito aiheuttaa tuntuvasti virhettä mittatuloksiin, koska JK1 toimii ns. tehonsäätökoneena. Suhteellinen teho vaihtelee päivän aikana kuormituksen mukaan.



Kuvio 21. Kompressoreiden tehonsäätö

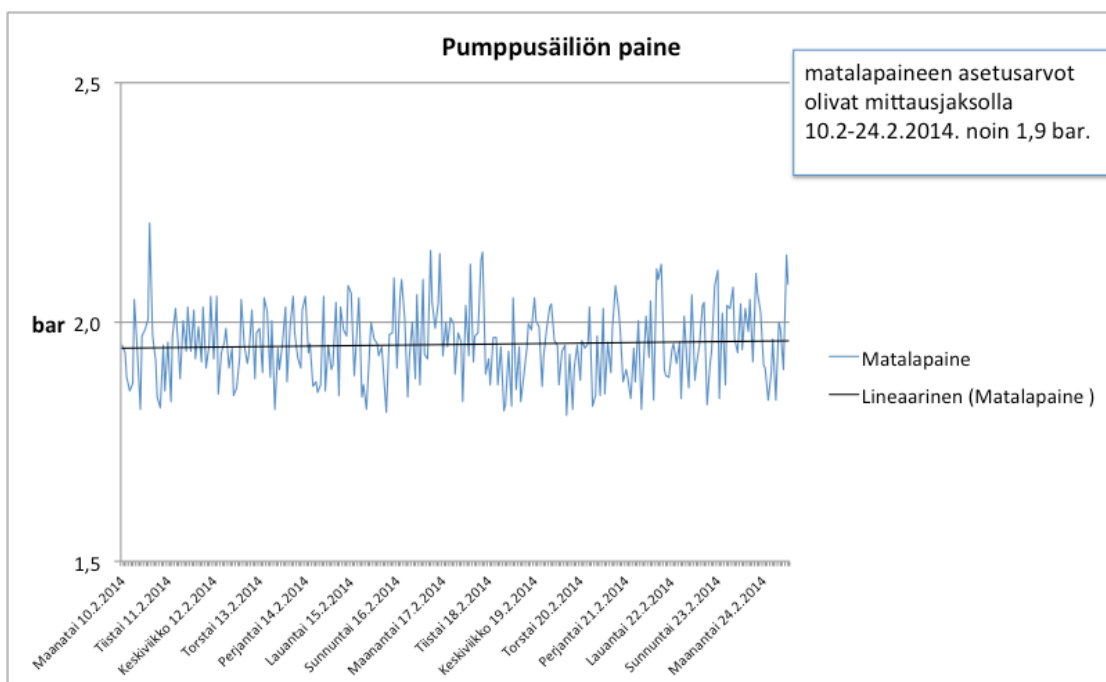
Suhteellinen teho mittausjaksolla kylmäkompressorilla JK1 oli noin 75 % ja JK4:n suhteellinen teho oli 85 %.

Lauhtumispaine ja ulkolämpötila mittausjaksolta 10.2.-24.2.2014 on esitetty kuviossa 22. Lämpötila mittausjaksolla vaihteli 4,5 ja -4,5 °C:n välillä. Lämpötila mittausjaksolla oli keskimääräistä lämpimämpää, keskimäärin 1,4 °C. Lauhtumispaineen asetusarvo mittausjaksolla oli 9,8 bar. Tarkastelujaksolla lauhtumispaine vaihteli 2,8 bar:n sisällä.



Kuvio 22. Lauhtumisaine ja ulkolämpötila

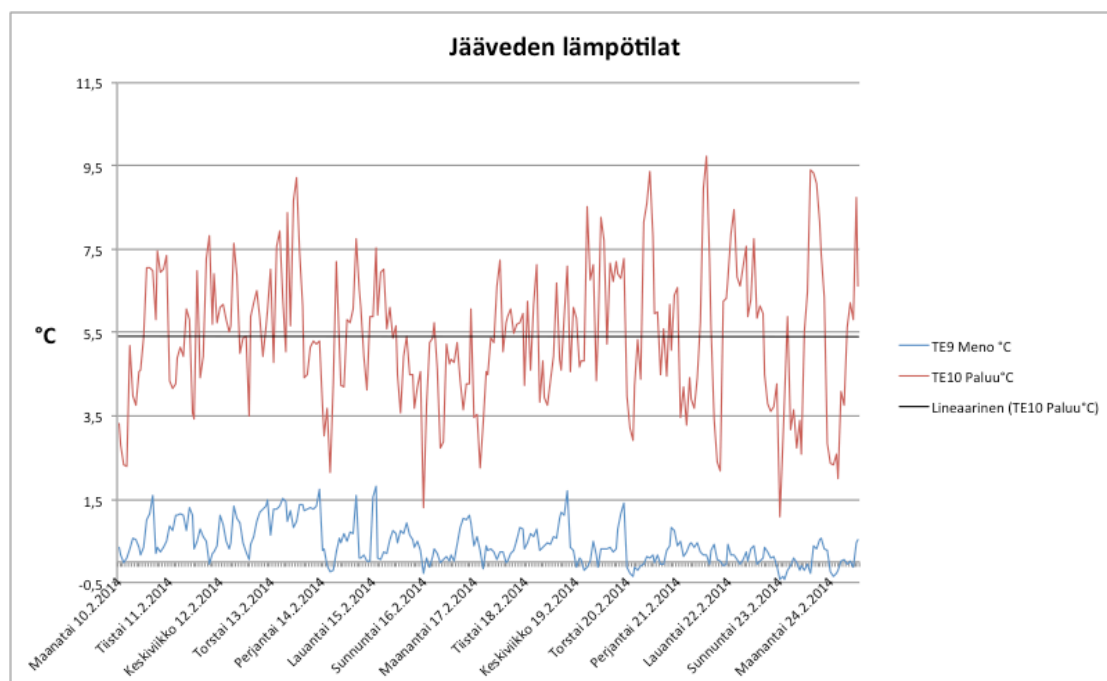
Pumppusäiliön paine pysyi hyvin asetusarvossaan. Pumppusäiliön lämpötila vaihteli jaksolla -10,4 ja -9,6 °C:n välillä. Kuviossa 23 on esitetty paineenvaihtelu pumppusäiliössä mittausjakson 10.2.–24.2.2014 aikana.



Kuvio 23. Pumppusäiliön paine

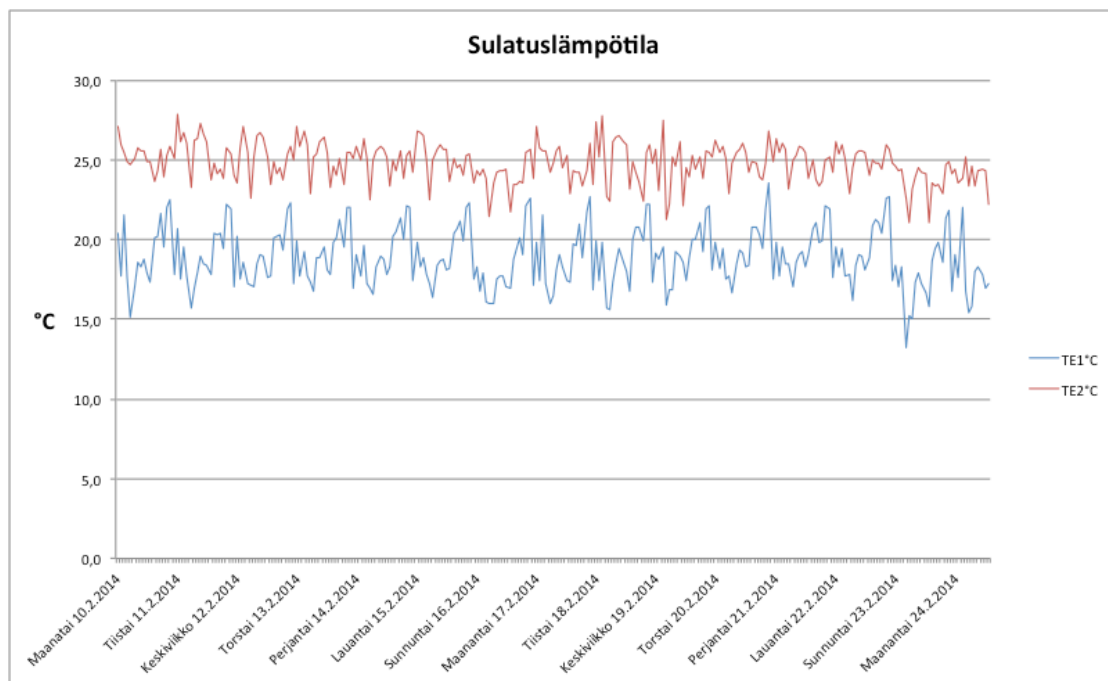
5.2.3 Lämpötilamittaukset

Automaatiojärjestelmästä saatiin mittaustietoa myös kylmän käytöstä. Jääveden, kylmäliuoksen ja sulatuspiirin meno- ja paluulämpötilat sekä varastojen lämpötiloja. Kuviossa 24 on esitetty jääveden meno- ja paluulämpötilat mittausjaksolta.



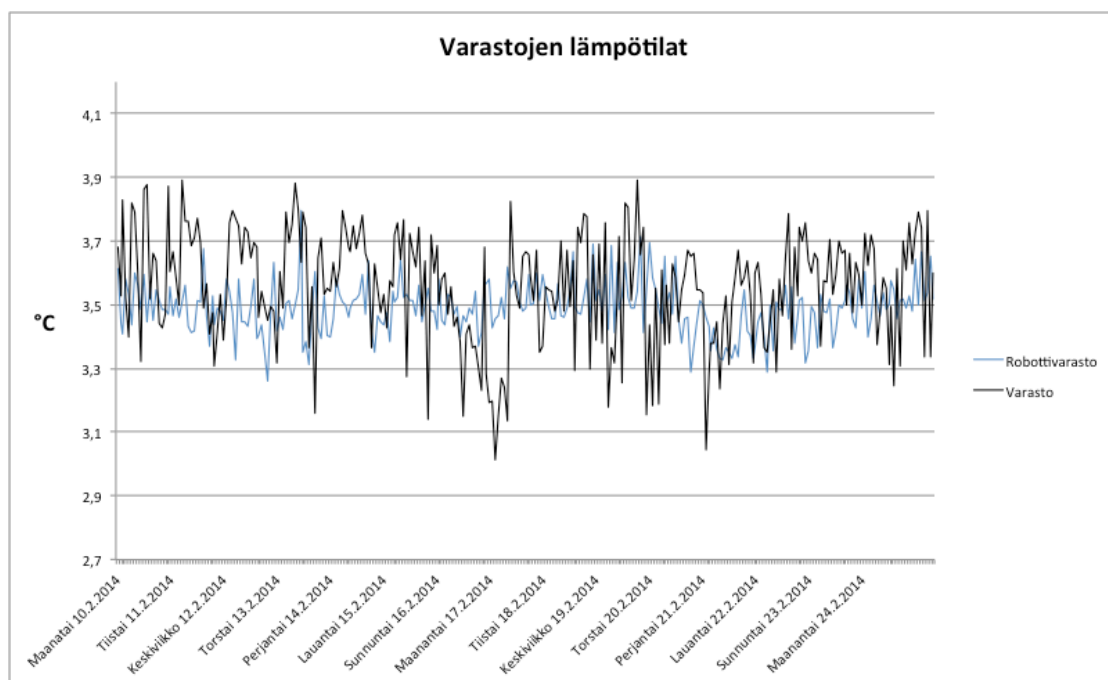
Kuvio 24. Jääveden meno- ja paluulämpötila

Jäähdytyskonvektoreita sulattavan liuoksen lämpötila oli mittausjaksolla korkeimmillaan 27 °C, kun suunnitelman mukainen lämpötila on 15 °C. Sulatuslämpöä on siis tarjolla enemmän kuin sitä talviaikaan tarvitaan. Sulatusliuoksen lämpötilanvaihtelu mittausjaksolta on esitetty kuviossa 25.



Kuvio 25. Sulatusliuoksen meno- ja paluulämpötilä

Varastojen lämpötilat mittausjaksolla 10.2.–24.2.2014 on nähtävissä kuvioista 26. Lämpötila robottivarastossa koostuu 11 mittaustuloksen keskiarvosta ja varaston lämpötila koostuu viiden mittaustuloksen keskiarvosta.

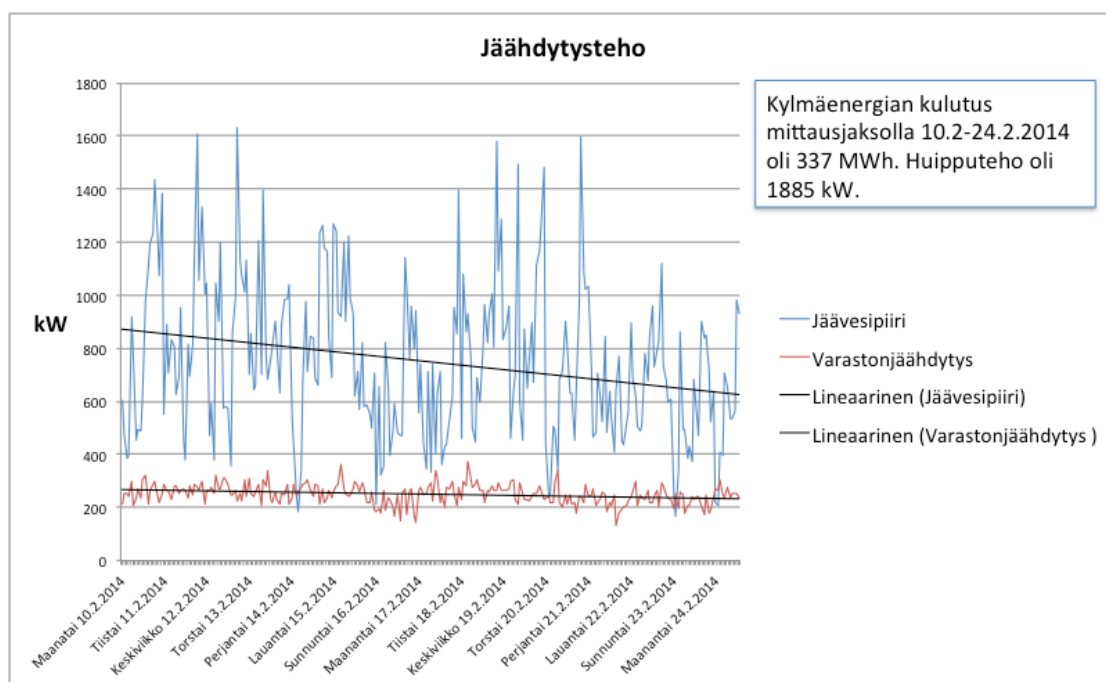


Kuvio 26. Varastojen lämpötila mittausjaksolla

Robottivaraston lämpötila mittausjaksolla oli 3,3–3,8 °C ja varaston lämpötila 3,0–3,9 °C. Lämpötilat pysyttelivät asetusarvojen tuntumassa.

5.2.4 Kylmä- ja lämpöenergian käyttö

Jääveden lämpötila ja virtaama sekä paluueden lämpötilatiedot sekä kylmäliuoskierron lämpötila ja virtaamatiedot mittausjaksolta 10.2.–24.2.2014 siirrettiin automaatiojärjestelmästä Excel-tiedostoon, jolla laadittiin kuvio 27. Kuvio 27 kuvaa jääveden käyttötehoa ja varaston jäähdytystehoa.

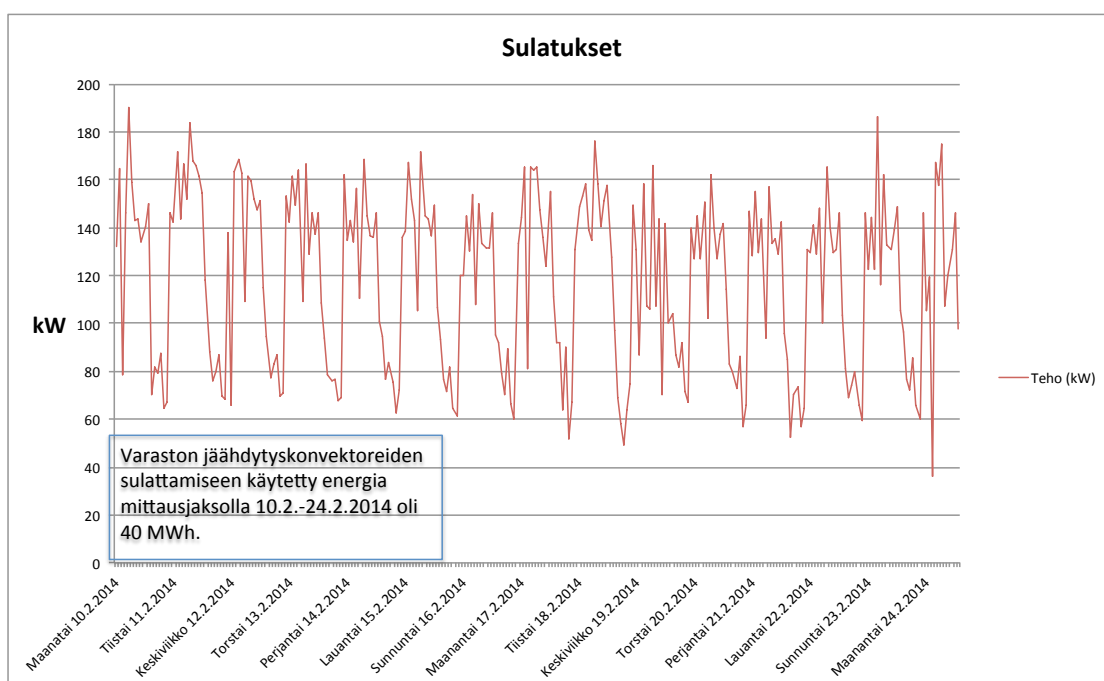


Kuvio 27. Jäähdytysteho mittausjaksolta

Jokaisesta mittaotannasta laskettiin lämpöteho käyttäen yhtälöä 3 sivulta 27. Varaston jäähdytyspiirissä ei ollut virtausmittausta, mutta virtaamaa pystytään arvioimaan hyvin affiniteetti lakia hyödyntäen. Varaston jäähdytyspiirin virtaama on laskettu yhtälöllä 2 sivulta 27 ja tulos on sijoitettu yhtälöön 3, jolloin myös varaston jäähdytysteho on saatu laskettua.

Mittausjaksolla 10.2.–24.2.2014 varaston jäähdyttämiseen kului kylmäenergiaa 84 MWh ja jäävettä käytettiin 253 MWh.

Varaston jäähdytyskonvektorit sulatetaan kahdesti vuorokaudessa. Sulatuksiin käytetty energia on samaa luokkaa arkena ja viikonloppuna. Mittausjaksolla 10.2.–24.2.2014 sulatuksiin käytettiin lämpöä noin 40 MWh, joka on lähes puolet varastosta poistetusta lämpöenergiasta. Sulatusteho on nähtävissä kuviosta 28.



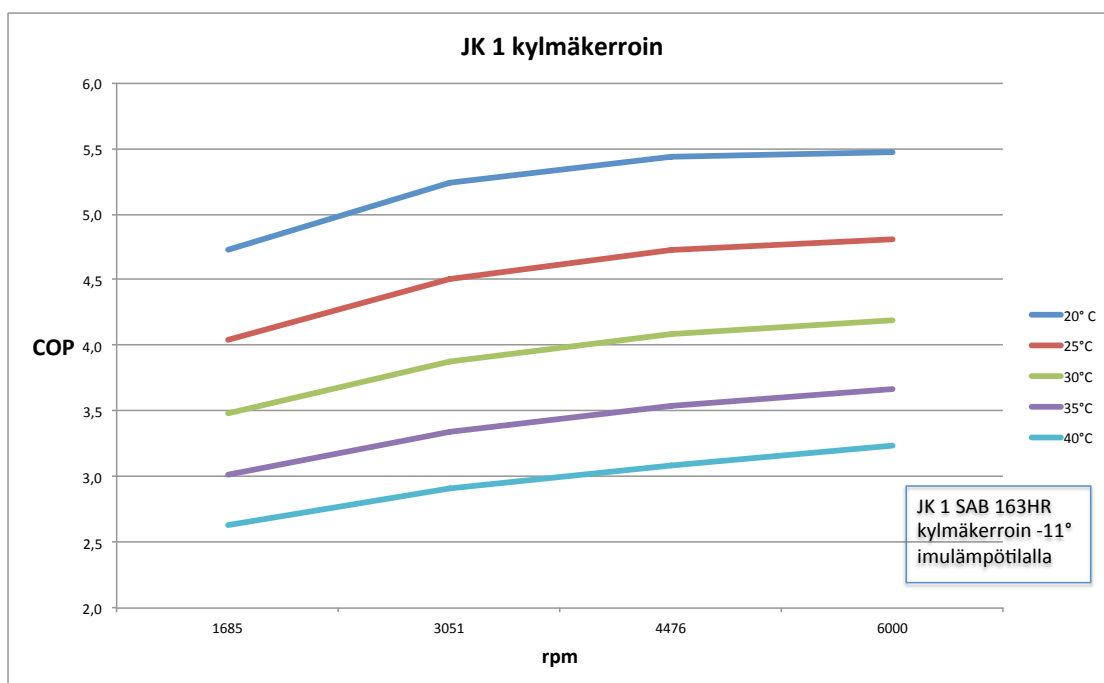
Kuvio 28. Sulatusteho mittausjaksolla

Sulattavaa Freezium-liuosta pumpataan virtaamalla 5,3 dm³/s paine-erolla 130 kpa. Jäähdytyskonvektoreiden sulatusteho on laskettu yhtälöllä 3.

5.3 Tulokset

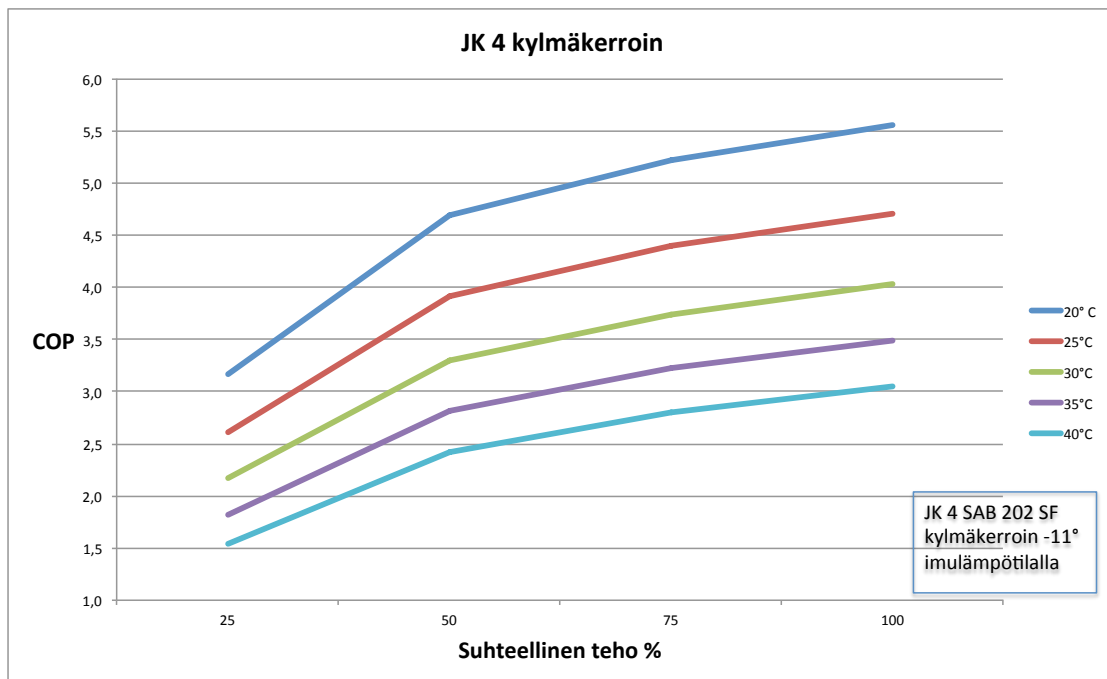
5.3.1 Kylmäkerroin

Mittausjakson 10.2.–24.2.2014 mittautustietojen perusteella laadittiin kompresso- reiden matalapainepuolelle pysyvyys, jota hyödynnettiin vuosikylmäkertoimen (SCOP) määrittämisessä. Lauhtumislämpötilan pysyvyys määritettiin Jyväskylän Nenäinniemen sääaseman huippulämpötilojen sekä kiinteän asetusarvon perus- teella. Kuviot 29 ja 30 on määritetty Johnson Controlsin Sabroe MatchMaster COMP1-ohjelman versiolla 23.00 default-lähtötiedoilla. Kuvioista on nähtävissä kylmäkertoimen selvä heikkeneminen pienillä osatehoilla toimittaessa.



Kuvio 29. JK 1 kylmäkerroin höyrystyslämpötilalla -11°C.

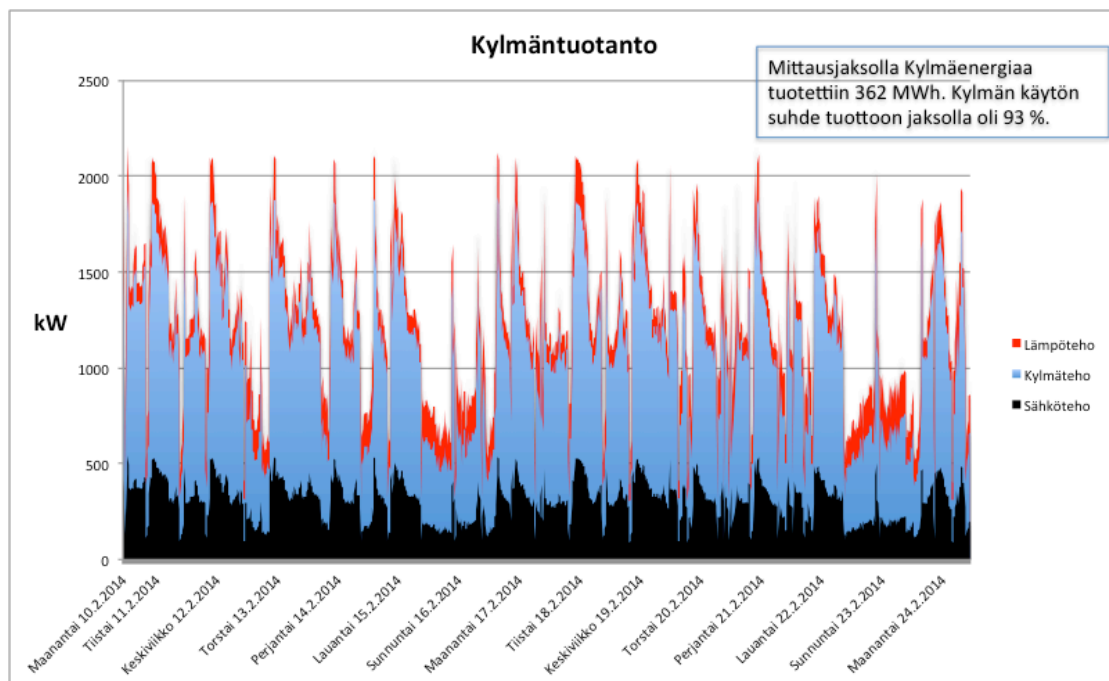
Jäähdytyskompressorin JK1 vuosikylmäkertoimeksi määritettiin 4,5. Seuraavaa kuvio 30 esittää kylmäkompressorin JK4 kylmäkerrointa eri olosuhteissa. Kausi- kylmäkertoimeksi JK4:lle saatiin 4,3. Kylmäkertoimet on määritetty 27 °C:n lauhtumislämpötilassa ja suhteellisen tehon arvoilla 85 %.



Kuvio 30. JK 4 kylmäkerroin höyrystyslämpötilalla -11°C.

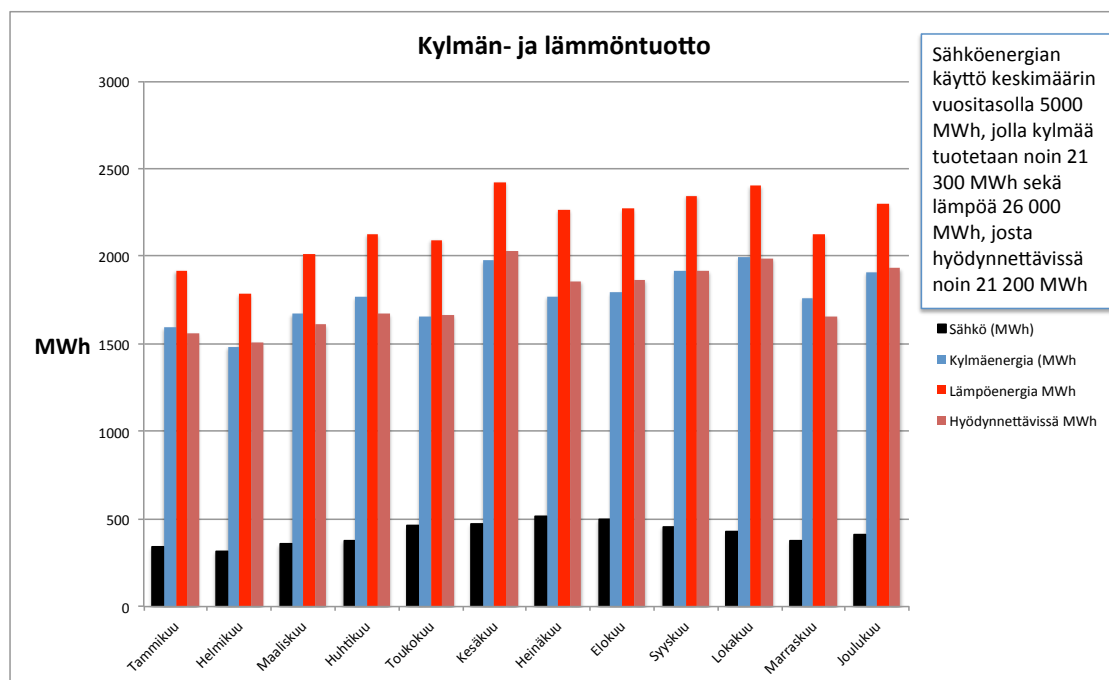
5.3.2 Kylmäntuotanto

Mittausjaksolla 10.2.–24.2.2014 kylmäntuotto oli 362 MWh ja kulutus 337 MWh. Kuviossa 31 on esitetty kylmätehonvaihtelu mittausjaksolla. Kylmäteho on laskettu yhtälöllä 1 sivulta 13.



Kuvio 31. Kylmäntuotanto 10.2.-24.2.2014

Vuositasolla meijerin kylmäjärjestelmän kylmän- ja lämmöntuotto on kuvion 32 mukainen. Kuviosta 32 on nähtävissä mm. lämpömäärä, joka vuosittain hyödynnetään meijerin käyttöveden ja jäädytyskonvektorien sulattamiseen.



Kuvio 32. Kylmän- ja lämmöntuotto vuositasolla

Kylmäjärjestelmän keskimääräinen kylmäkerroin on noin 4,2 ilman jäähdytyskonvektorien sähkönkulutusta. Tuotetulle kylmäenergialle muodostuu hinnaksi nykyisellä sähköhinnalla 14,80 €/MWh.

5.3.3 Kylmätehon lisätarpeen selvitys

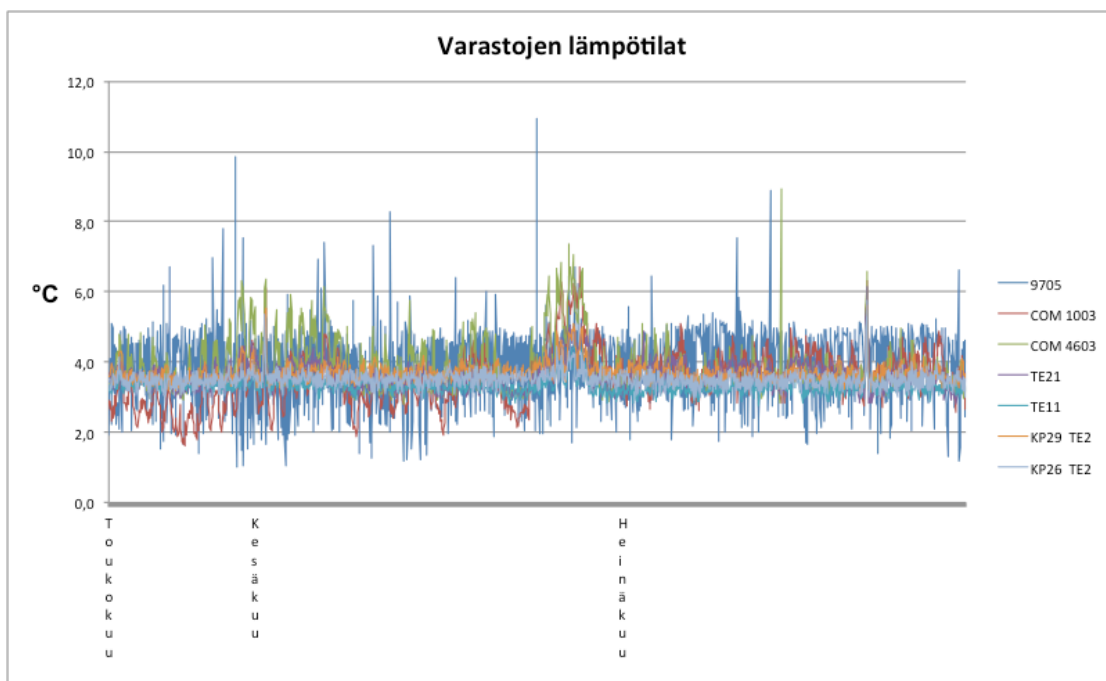
Kylmäjärjestelmän vanhimmat kompressorit JK2 ja JK3 ovat sivun 36 taulukon 8 mukaiset Howden-merkkiset avo-ruuvikompressorit, joiden kylmäteho on arviolta noin 430 kW/kompressori. Kylmäteho on arvioitu sähkökäytön ja kompressorin hyötysuhteella 90 % sekä kylmäkertoimella 3. Kompressorikohtaisia tehotaulukoita ei ollut saatavilla internetistä. Laitteiden kylmäteho tuleekin varmistaa kylmälaiteurakoitsijalta.

Kylmätehon arviointi

Tällä hetkellä kylmäteho on mitoitettu seuraavasti:

- varaston jäähdytys 1100 kW
- jäävedentuotanto 970 kW

Kuviossa 33 on kylmävaraston lämpötilakuvaaja ajalta 20.5.–28.7.2013.

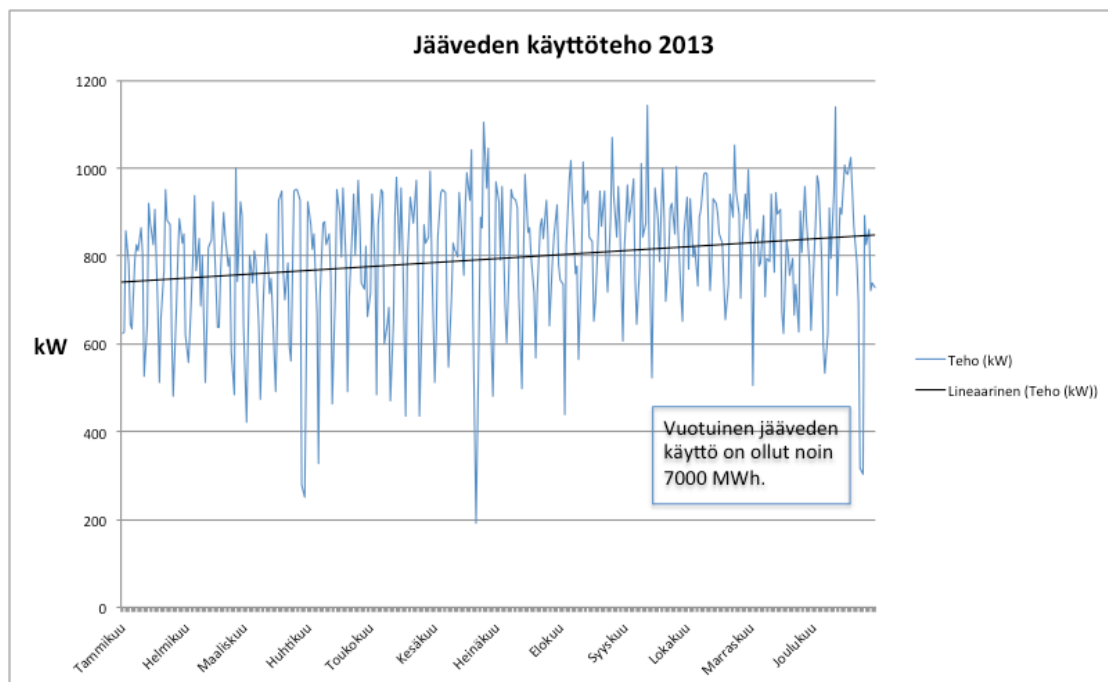


Kuvio 33. Varastojen lämpötilat kesältä 2013

Lämpötila nousee jaksolla jopa 11 °C:seen mittauksen 9705 alueella, arvo on 7 °C yli asetuksen. Lisäksi lämpötila nousee 6,8 °C:seen COM 1003- ja COM 4603-alueella, ollen lähes 3 °C asetusarvon yläpuolella. Kesäkuun lopussa näkyvä lämpöpiikki johtuneen samalle ajanjaksolle osuneesta laiteviasta, jonka aikana lämpötila ehti nousta normaalia korkeammaksi.

Varastoa jäähdytetään liuksella, jonka lämpötehoa ei kyseiseltä ajanjaksolta ollut käytettävissä. Lämpötilakuvaajasta on kuitenkin havaittavissa ajoittaista kylmätehon puutosta vallitsevaan kuormitukseen nähden tai muita käyttöhäiriöitä, kuten avoimia ovia tai normaalia lämpimämpää tuotevirtaa.

Jääveden käyttötehoa kuvaava kuvio 34 on laadittu päivittäisen mittaustiedon mukaan vuodelta 2013. Mitta-arvoja oli vain yksi/vrk, tarkemman kulutusanalyysin tekemiseksi tarvittaisiin mittatiedot joka tunnilta.



Kuvio 34. Jääveden käyttöteho 2013

Jääveden käyttöteho on ollut keskimäärin noin 800 kW ja korkeimmillaan hieman alle 1200 kW. Alimmillaan jääveden käyttöteho on ollut 190 kW ja vuotuinen jäähdytysenergia on ollut noin 7000 MWh.

Toimenpide-ehdotus

Jääveden käyttötehon ja käytetyn energian perusteella kompressoriteho on riittävä jääveden tuotantoon. Käyttöhenkilökunnan haastatteluiden perusteella jäävettä tarvittaisiin kuitenkin enemmän kesäaikaan. Jäävedenkäytön ongelma saattaa olla automatiikassa tai riittämättömässä siilokapasiteetissa. Päiväaikaan käyttöhenkilökunta käynnistää jäänvalmistuksen käsin. Automatisoimalla jääveden valmistus voitaisiin välttyä tilanteilta, joissa jäävesisiilot ovat tyhjästä inhimillisestä virheestä johtuen. Jääveden käytöstä on mahdollista saada tarkempi kuva vuoden 2014 aikana, mikäli jäävesiraportit tallennetaan viikoittain.

Kun jäähdytyskompressorit JK2 ja JK3 korvataan yhdellä uudella kompressorikoneikolla on käyttövarmuuden ja riittävän lauhtumistehon varmistamiseksi kannattavaa mitoittaa uuden kompressorin kylmäteho vastaamaan maksimis-

saan JK2 ja JK3 yhteistä kylmätehoa eli noin 900 kW:n. Vanhojen kompressoreiden mitoitus on varmistettava kylmäurakoitsijalta.

Vikatilanteen sattuessa JK1:n kohdalle tulisi tehonsäätö toteuttaa joustavasti uudessa kompressorissa, esimerkiksi taajuudenmuuttajan avulla. Lisäksi uuden kompressorin on oltava yhteensopiva vanhan järjestelmän (UNISAB 2) kanssa.

Kylmäjärjestelmää päivitetään lähitulevaisuudessa mm. pumppusäiliön osalta. Tässä vaiheessa on kannattavaa valita myös mahdollisimman energiatehokkaat kylmäainepumput ja sähkökäytöt sekä tarkistaa putkiston riittävyys vallitsevalle kuormitukselle. Lisäksi on syytä kiinnittää huomiota riittävään automaatioon sekä mittauksiin. Järjestelmän myöhempi tehostaminen helpottuu huomattavasti, kun järjestelmästä on saatavissa riittävästi historiatietoa.

6 Toimenpide-ehdotukset

6.1 Laskentaperusteet

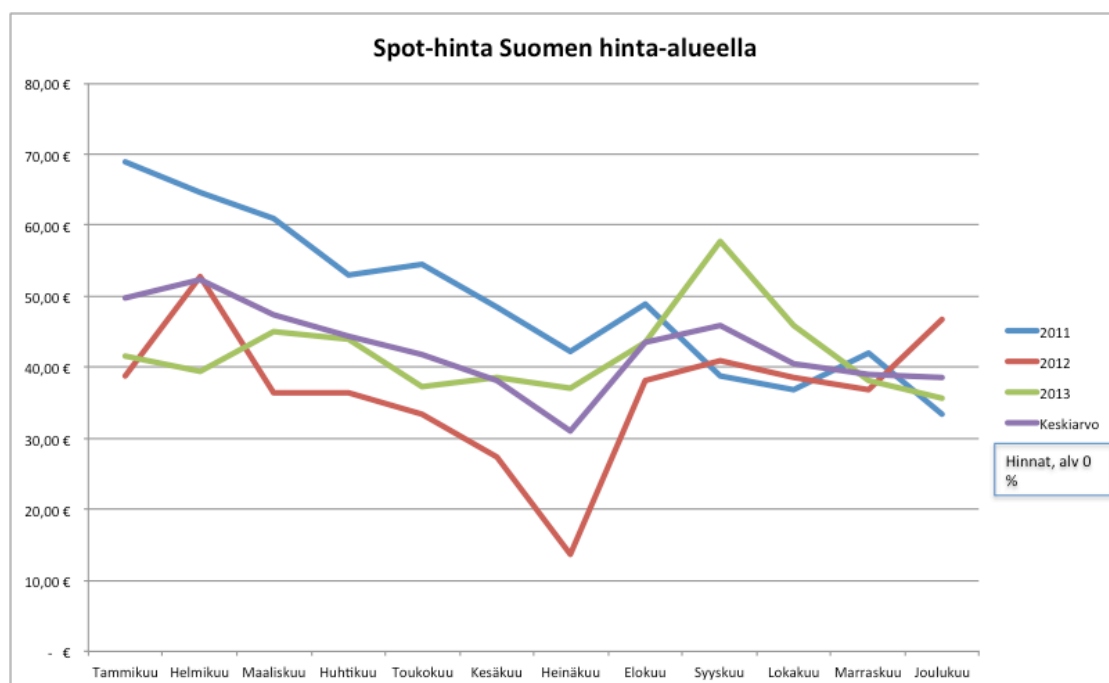
Toimenpide-ehdotukset ja suorat takaisinmaksuajat vaikutuksineen on laskettu taulukon 9 tiedoilla.

Taulukko 9. Laskentaperusteet

Laskentaperusteet	
Sähkön hinta €/MWh	63,02 €
Lämmön hinta €/MWh	(x)
Veden hinta €/m ³ (ilman jätevesimaksua)	1,63 €
Veden hinta €/m ³	4,50 €
Kylmäkerroin (SCOP) JK1	4,5
Kylmäkerroin (SCOP) JK4	4,3

6.1.1 Sähkön hinta

Sähkön hinta on muodostettu Nord Poolin toteutuneen spot-hinnan kolmen vuoden keskiarvon sekä Jyväskylän Energian sähkönsiirtohinnan summana. Kuviossa 35 on kuvattu spot-hinnan kehitystä vuosilta 2011–2013.



Kuvio 35. Nord-poolin toteutuneet spot hinnat viimevuosilta.

6.1.2 CO₂ -päästöt

Päästökertoimet eri energiajakeille on taulukon 10 mukaiset. Taulukko on laadittu Motivan CO₂- päästöjen laskentaohjeen perusteella (Yksittäisen kohteen CO₂ päästöjen laskentaohjeistus ... 2004).

Taulukko 10. CO₂ päästökertoimet

keskimääräinen päästökerroin	kgCO ₂ /MWh
Sähkö	210
Raskas polttoöljy	279
Puuperäiset polttoaineet	0

6.2 Sulatuksenohjausmuutos

Sulattamalla jäädytyskonvektorit vain tarvittaessa pystytään vähentämään sulatukseen tarvittavaa lämpö määrää sekä kylmävarastoon tulevaa ylimääräistä lämpökuormaa. Osa sulatukseen käytettävästä energiasta päätyy varastoon, sillä kaikki lämpö ei poistu sulaveden mukana, ks. luvut 4.2 ja 5.2.4. Sulatuksia voisi muuttaa ohjelmallisesti siten, että talviaikaan sulatusten määrää vähennetään esimerkiksi yhteen kertaan vuorokaudessa, jolloin saavutetut säästöt ovat taulukon 11 mukaiset.

Taulukko 11. Sulatusten optimointi

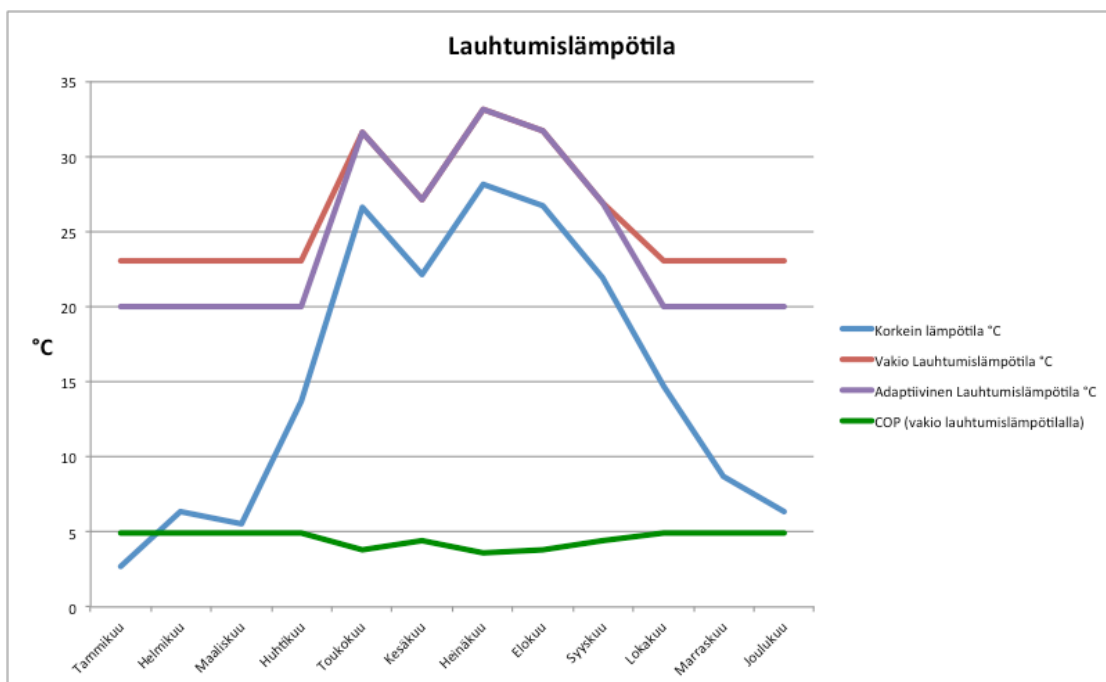
Sulatusten optimointi			
	Säästö MWh	Säästö €	CO ₂ vähenemä t/a
Kompressoreiden sähköstä	66,67	4 201,34 €	14

Sulatusten optimoinnin investointi olisi noin 1000 € kertaluontoisena ohjelmointityönä, jolloin takaisinmaksuajaksi jäisi 0,24 vuotta.

6.3 Adaptiivinen paineensäätö

Teollinen kylmälaitos toimii valtaosan vuodesta samalla imupaineella (-11 °C), mutta korkeapaine on riippuvainen ulkoilman lämpötilasta ja kosteudesta. Optimoimalla korkeapaineen asetus vallitsevan ulkoilman lämpötilan ja kosteuden mukaan, voidaan kompressoreiden käyttämästä sähköenergiasta säästää noin 5

%, (ks. luku 3.1 sivulta 13) sekä kuvio 36. Adaptiivisella lauhtuspaineen säädöllä vuotuiset säästöt ovat taulukon 12 mukaiset.



Kuvio 36. Lauhtumislämpötila

Taulukko 12. Adaptiivinen lauhtumispaineensäätö

Adaptiivinen lauhtumispaineensäätö			
	Säästö MWh	Säästö €	CO2 vähenemä t/a
Kompressoreiden sähköstä	251	15 799 €	53
yht:		15 799 €	53

Paineensäädön optimointi maksaa itsensä takaisin noin puolessa vuodessa, kun investoinnit ovat 8000 €. Investoinnista 5300 € koostuu säätölaitteista ja antureista.

6.4 Tulistuslämmön lisähyödyntäminen

Käyttöveden lämmöntarve tulisi täytettyä kokonaan, mikäli JK4 kytkettäisiin tulistuksen talteenottovaihtimeen. Lämmönvaihtimia on 2 kpl, jotka ovat käytännössä poissa käytöstä. Vaihtimet on kytketty JK2 ja JK3 kuumakaasulinjoihin. Vaihtimien teho ei kuitenkaan riitä, joten jouduttaisiin hankkimaan uusi ks. 3.6. Tulistuslämmön talteenoton lisääminen JK4 kompressorille säästää vuositasolla taulukon 13 mukaisesti.

Taulukko 13. Tulistuslämmön lisähyödyntäminen

Tulistusvaihtimen kytkentä			
	Säästö MWh	Säästö €	CO2 vähenemä t/a
Kompressoreiden sähköstä		- €	
Käyttöveden lämmöstä	856	76 098 €	239
yht:		76 098 €	239

Tulistuslämmön lisähyödyntämisen on arvioitu maksavan investointinsa takaisin noin 0,6 vuodessa 50 000 € investoinnilla. Investoinnista noin puolet koostuu uudesta lämmönvaihtimesta ja loppu asennustyöstä ja tarvikkeista. Tulistuslämmön poisto kuumakaasusta vähentää myös tarvittavaa lauhdutustehoa. Taulukkoon 14 on koottu parannustoimien takaisinmaksuajat sekä niiden vaikutukset.

Taulukko 14. Säästöpotentiaali

Nykyinen kulutus	Säästöpotentiaali		Kokonaisinvestointi
		%	
Lämpöenergia MWh/a			
29 393,00	856	2,9	50 000,00 €
2 613 037,70 €	76 098,40 €	2,9	
Sähköenergia MWh/a			
20 101,00	317	1,6	9 000,00 €
1 266 767,96 €	20 000,45 €	1,6	
Vedenkulutus m³/a			
298 114,00	0	0,0	
1 341 513,00 €	- €	0,0	
Kulutukset yhteensä	Säästöt yhteensä		Investoinnit yhteensä
5 221 318,66 €	96 098,85 €	1,84	59 000,00 €

6.5 Jatkoselvitykset

Alustavaa tutkimusta tehtiin myös jääveden paluulämmön hyödyntämisestä. Jääveden paluulämpötila on keskimäärin noin 5°C, joten siinä on riittävästi jäähtymisvaraa lämpöpumpun hyödynnettäväksi. Vuosittainen lämmönsaanti olisi noin 6200 MWh, jolla vallitseva lämmöntarve katettaisiin moninkertaisesti. Toisaalta 320 kW:n lämpöteholla toimivalla lämpöpumpulla sähköenergian kokonaiskäyttö kasvaisi noin 300 MWh vuodessa huolimatta lämpöpumpun jäähdyttävästä vaikutuksesta (ks. liite 3. LP- mitoitus). Investoinnin takaisinmaksuaika on yli 4 vuotta, jos investointi on 320 000 €.

7 Pohdinta

Opinnäytetyön ensimmäisenä tavoitteena oli kartoittaa Valio Oy Jyväskylän meijerin B-rakennuksen jäähdytysjärjestelmän nykytila sekä kartoittaa mahdollisia energiansäästötoimia. Laskennalliset energiansäästöt ovat noin 96 000 €, ja vaadittava investointi olisi noin 60 000 €. Investointi maksaisi itsensä takaisin noin 0,6 vuodessa. Toimenpide-ehdotusten toteuttaminen vähentäisi myös laskennallisia hiilidioksidipäästöjä noin 300 t/a.

Toinen tavoite oli selvittää kylmätehon lisätarve, kun vanhoja kylmäkompressoreita korvataan uudella tekniikalla. Haastattelujen perusteella kylmätehoa kaittattaisiin hieman lisää, mutta tarkempaan lopputulokseen päästäneen vuoden kuluttua mikäli raportit jääveden ja kylmäliuoksen käytöstä tallennetaan riittävän tarkasti automaatiojärjestelmään. Jos vanhat kylmäkompressorit korvataan yhdellä uudella, tulisi kompressori mitoittaa korkeintaan yhtä suureksi kuin vanhat kompressorit yhteensä, ottaen kuitenkin huomioon riittävä lauhdutusteho.

Tutkimusmenetelmänä KYTE-analyysi toimi hyvin Valio Oy Jyväskylän meijerissä. Mittausten epätarkkuus ja etenkin mittausarvojen suhteellisen pieni määrä toivat työhön jonkin verran virhettä. Mittausarvoja olisi pitänyt olla käytettävissä

vähintään yksi/tunti, kun niitä oli käytettävissä vain 17/vrk. Kylmäaineen pumppaamista höyrystimiin olisi voitu tarkastella enemmän ja mahdollisesti suorittaa lämpötilan ja paineen mittauksia, joiden perusteella olisi voitu säätää höyrystimet toimimaan optimaalisesti. Saaduilla mittaustuloksilla päästiin kuitenkin riittävään tarkkuuteen, kun päätetään mahdollisista tehostamistoimista.

Työssä onnistuttiin kartoittamaan nykyinen energiankäyttö ja löydettiin joitakin säästömahdollisuuksia. Kylmätehon lisätarpeen määrittäminen ei kuitenkaan onnistunut nykytiedoilla, mutta tulevaisuudessa tehontarpeen määrittäminen tulee helpommaksi, mikäli automaatiojärjestelmän raportit tallennetaan riittävän usein, esimerkiksi kerran viikossa. Nykyään automaatiojärjestelmästä tallennetaan kylmäsäilytystilojen lämpötilaraportit kerran viikossa, joten samalla kertaa voitaisiin tallentaa myös kylmäliuos- ja jäävesiraportit.

Toimenpide-ehtouksia toteutettaessa päästään lähemmäksi tavoitetta, joka energiatehokkuussopimukseen on kirjattu. Paikallisesti säästöt ovat noin 2 %, mutta niihin päästään suhteellisen pienillä investoinneilla. Investointipäätös ja lisäselvitykset jäävät yrityksen itsensä päätettäväksi. Opinnäytetyö on esitelty Valio Oy Jyväskylän meijerin edustajalle 21.3.2014.

Lähteet

Aittomäki, A. 2001. Välilliset kylmälaitokset. suunnittelu ja rakentaminen. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Energia- ja Prosessitekniikka. Tampere.

Aittomäki, A. 2008. Kylmätekniikka. 3. p. Helsinki: Opetushallitus.

Ashrae Handbook. 2010. American Society of Heating, Refrigeration and air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta.

Cengel, Y. & Boles, M. 2011. Thermodynamics an engineering approach. 7.ed. New York: McGraw-Hill Companies.

Elintarviketeollisuuden toimenpideohjelma. 2008. Energiatehokkuusopimukset. Viitattu 11.2.2014. http://www.energiatehokkuusopimukset.fi/midcom-serveattachmentguid-1e002df1fcff21402df11e0bc5bf90fbba3271b271b/elintarviketeollisuuden_toimenpideohjelma-pdf.

Energia. 2014. Työ- ja elinkeinoministeriön internetsivut. Viitattu 10.4.2014. <https://www.tem.fi/energia>.

Energian kulutus ja päästöt ilmaan. 2012. Yritysvastuuraportti 2012. Valio Oy:n internetsivut. Viitattu 21.3.2014. <http://www.valio.fi/yritys/vastuullisuus/yritysvastuuraportti2012/ymparistovastuu/#osio-5>.

Freezium opas. 1997. Vesi Tekno Oy. Viitattu 10.2.2014. <http://www.vesitekno.fi/index.php/tuotteet/freezium>.

Hakala, P. & Kaappola, E. 2005. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.

Jokela, M., Jaakkola, S., Huhtanen, P., Rokka, T., Korhonen, H., Salo – Väänänen, P. & Piironen, V. 1998. Keskeisten alkutuotantotehtäjäiden ja prosessoinnin vaikutus maidon laatuun. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 41.

Laiho-Logrén, E. 2013 Valokeilassa. 19.9.2013. Jyväskylän Energia-yhtiöiden asiakaslehti. Viitattu 28.1.2014. <http://www.jenergia-lehti.fi/index2.php?id=12&type=4&articleId=4936>.

Milk Works. N.d. Oppimateriaali Hämeen ammatti-instituutin sivustolla. Viitattu 22.1.2014. <http://portal.hamk.fi/portal/page/portal/HAMI/Milkworks/Oppimateriaali>, käsittely meijerissä.

Polmio, K. 2014. Projektihenkilö. Valio Oy. Haastattelu 20.1.2014.

Sabroe oil recommendation. 2011. Valintaopas. Johnson Controls. Viitattu 10.2.2014.

http://cis.sabroe.com/fileadmin/sabroe_fileadmin/filer/documentation/Oil_recommendation/SelectingLubricatingOil2011.04.pdf.

Stoecker, W F. 1998. Industrial Refrigeration Handbook. 2. ed. New York. McGraw-Hill Companies.

Tilinpäätös ja toimintakertomus. 2012. Valio Oy internetsivut. Viitattu 21.3.2014.

<http://www.valio.fi/yritys/yritystieto/tilinpaatos-ja-toimintakertomus/>.

Yksittäisen kohteen CO₂ päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂ päästökertoimet. 2004. Motiva. Viitattu 27.3.2014.

http://www.motiva.fi/files/209/Laskentaohje_CO2_kohde_040622.pdf.

Seurantamittaukset Computec Comsystem 2000 järjestelmästä

Kerätään seuraavat mittaukset raporttipohjalle, josta luvut kerättävissä Excel-taulukkoon ajalta 10.2-24.2.2014.

Kylmäkoneet:	yks.	osoite		huom
Lauhtumispaine	bar	15803	(0/0)	
Taajuusmuuttaja 1	%	15821	(0/0)	
Taajuusmuuttaja 2	%	15921	(0/0)	
Pumppusäiliö:				
Matalapaine	bar	16601	(0/0)	
Kompressorit:				
Suhteellinen teho JK4	%	16605	(0/0)	
Sulatuspiiri				
TE1	°C	15609	(0/0)	
TE2	°C	15610	(0/0)	
Varastojen jäähdytys (Frezium):				
TE1	°C	15603	(0/0)	
TE2	°C	15604	(0/0)	
Paine-erot PE1	?	15601	(0/0)	
Paine-erot PE2	?	15602	(0/0)	
Pumppu 1 suht. Nop.	%	15617	(0/0)	
Pumppu 2 suht. Nop.	%	15618	(0/0)	
Jäävesisiilot:				
TE9	°C	5701	(0/0)	
TE10	°C	5702	(0/0)	
Vesivirtaama	l/s	7908	(0/0)	
Ulkolämpötila:				
Tekninen keskus	°C	5301	(0/0)	
Varastojen lämpötilat:				
Varasto:				
1.	°C	1003	(0/0)	
2.	°C	1005	(0/0)	
3.	°C	1004	(0/0)	
4.	°C	4603	(0/0)	
5.	°C	4602	(0/0)	
Robottivarasto:				
TE 11	°C	14801	(0/0)	
TE 12	°C	14802	(0/0)	
TE 13	°C	15001	(0/0)	
TE 14	°C	15002	(0/0)	

TE 20	°C	15203	(0/0)	
TE 21	°C	15202	(0/0)	
kp 22 TE1	°C	27201	(0/0)	
kp 23 TE1	°C	27202	(0/0)	
kp 24 TE1	°C	27401	(0/0)	
kp 26 TE1	°C	26802	(0/0)	
kp 29 TE1	°C	27002	(0/0)	

Sähkötehomittaukset:

Toteutetaan 10.2-24.2.2014

Mitataan kahdella Fluke 435 mittarilla

Lisäksi analyysiin käytettiin historiatietoja pidemmältä ajalta, kuten jääveden virtaama ja lämpötila edellisvuodelta sekä varastojen lämpötiloja kesältä 2013.

Kompressori koneikko						Sähkökäyttö	Kylmäteho
JK4	York SAB 202 SF				400 V, 355 kW, 50 Hz, 600 A, 2965 1/min., cos ϕ 0,9 η 95 %.	1200 kW - 10°C/+35°C	
No.	126156						
Imutilavuusvirta	1804/2171 m ³ /h						
Suoritusarvot imulämpötilalla -12°C							
Lauhtumislämpötila °C							
tehonsäätöluistin asento (%)	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C		
kylmäteho (kW), sähköteho (kW), COP							
25	288,0	280,7	272,8	264,5	255,5		
	95,6	112,9	131,9	152,1	173,5		
	3,0	2,5	2,1	1,7	1,5		
50	575,9	561,3	545,7	528,9	511,0		
	128,5	149,6	172,1	195,4	219,1		
	4,5	3,8	3,2	2,7	2,3		
75	863,9	842,6	818,3	793,4	766,5		
	173,0	199,6	227,3	255,3	282,9		
	5,0	4,2	3,6	3,1	2,7		
100	1151,8	1122,7	1091,4	1057,8	1021,9		
	216,1	248,1	281,1	313,8	345,5		
	5,3	4,5	3,9	3,4	3,0		
Arvot imukaasun 5 K tulistuksella ja kuumakaasun lämpötilalla 80°C							

Suoritusarvot imulämpötilalla -10°C						
Lauhtumislämpötila °C						
tehonsäätöluistin asento (%)	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	
kylmäteho (kW), sähköteho (kW), COP						
25	312,4	304,7	296,3	287,3	277,8	
	94,3	111,7	131,0	151,8	173,9	
	3,3	2,7	2,3	1,9	1,6	
50	624,9	609,3	592,6	574,7	555,5	
	127,6	149,1	172,4	196,8	221,9	
	4,9	4,1	3,4	2,9	2,5	
75	937,3	914,0	888,9	862,0	833,3	
	172,5	199,8	228,9	258,8	288,8	
	5,4	4,6	3,9	3,3	2,9	
100	1249,8	1218,6	1185,2	1149,3	1111,0	
	215,9	249,1	284,0	319,2	353,8	
	5,8	4,9	4,2	3,6	3,1	

Arvot imukaasun 5 K tulistuksella ja kuumakaasun lämpötilalla 80°C

Suoritusarvot imulämpötilalla -8°C						
tehonsäätöluistin asento (%)	Lauhtumislämpötila °C					
	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	
kylmäteho (kW), sähköteho (kW), COP						
25	338,5	330,2	321,2	311,7	301,5	
	93,0	110,3	129,8	151,2	174,0	
	3,6	3,0	2,5	2,1	1,7	
50	677,0	660,4	642,5	623,4	603,0	
	126,6	148,3	172,2	197,7	224,0	
	5,3	4,5	3,7	3,2	2,7	
75	1015,6	990,6	963,7	935,0	904,4	
	171,7	199,7	229,9	261,4	293,2	
	5,9	5,0	4,2	3,6	3,1	
100	1354,1	1320,8	1285,0	1246,7	1205,9	
	215,4	249,4	285,9	323,5	360,8	
	6,3	5,3	4,5	3,9	3,3	
Arvot imukaasun 5 K tulistuksella ja kuumakaasun lämpötilalla 80°C						

JK 4		
Vuotuiset keskiarvot(arvio):		COP
Pumppusäiliön lämpötila °C	-11	4,3
Lauhtumislämpötila °C	27	
Säätöluistin asento %	85	

COP lineaarisella interpoloinnilla (-10°C/25°C) ja (-10°C/30°C) sekä 3 % säännöllä arvoihin (-11°C/27°C)							
	0,01164					0,01164	
75	4,5	4,3	4,2	4,1	3,9	3,8	0,1358
80	4,5	4,4	4,2	4,1	4,0	3,8	
85	4,6	4,4	4,3	4,2	4,0	3,9	
90	4,6	4,5	4,4	4,2	4,1	4,0	
95	4,7	4,6	4,4	4,3	4,2	4,0	
100	4,8	4,6	4,5	4,3	4,2	4,1	
	25	26	27	28	29	30	

Kompressorikoneikko		Sähkökäyttö	Kylmäteho
JK1	SAB 163HR	400 V, 315	870 kW - 10°C/+35°C
No.	137560	kW, 5,0-	
Imutilavuusvirta	1291 m ³ /h	100,5 Hz,	
vm.	2007	570 A	
Suoritusarvot imulämpötilalla -12°C			

Lauhtumislämpötila °C						
Pyörimisnopeus (%)	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	
kylmäteho (kW), sähköteho (kW), COP						
25	199,1	194,3	189,4	184,5	179,4	1685 rpm
	43,8	49,6	56,1	62,9	70,0	
	4,5	3,9	3,4	2,9	2,6	
50	398,2	388,6	378,9	369,0	358,9	3051 rpm
	78,7	89,3	101,2	114,0	127,5	
	5,1	4,4	3,7	3,2	2,8	
75	597,4	583,0	568,4	553,5	538,3	4476 rpm
	113,4	128,1	144,5	162,1	180,4	
	5,3	4,6	3,9	3,4	3,0	
100	796,4	777,3	757,8	738,0	717,7	6000 rpm
	150,1	168,1	187,8	208,5	229,7	
	5,3	4,6	4,0	3,5	3,1	
Arvot imukaasun 5 K tulistuksella ja kuumakaasun lämpötilalla 80°C						

Suoritusarvot imulämpötilalla -10°C						
Lauhtumislämpötila °C						
Pyörimisnopeus (%)	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	
kylmäteho (kW), sähköteho (kW), COP						
25	216,1	210,9	205,7	200,4	195,0	1685 rpm
	44,0	50,6	57,3	64,7	72,2	
	4,9	4,2	3,6	3,1	2,7	
50	432,1	421,9	411,5	400,9	390,1	3051 rpm
	79,8	90,5	102,6	116,2	130,2	
	5,4	4,7	4,0	3,5	3,0	
75	648,2	632,8	617,2	601,3	585,1	4476 rpm
	115,7	129,2	145,9	164,4	183,4	
	5,6	4,9	4,2	3,7	3,2	
100	864,2	843,8	822,9	801,8	780,2	6000 rpm
	153,2	169,1	189,1	211,2	233,4	
	5,6	5,0	4,4	3,8	3,3	
Arvot imukaasun 5 K tulistuksella ja kuumakaasun lämpötilalla 80°C						

Suoritusarvot imulämpötilalla -8°C						
Lauhtumislämpötila °C						
Pyörimisnopeus (%)	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	
kylmäteho (kW), sähköteho (kW), COP						
25	234,1	228,6	223,1	217,4	211,7	1685 rpm
	44,7	51,6	58,5	66,2	74,4	
	5,2	4,4	3,8	3,3	2,8	
	468,2	457,3	446,2	434,8	423,3	

50	80,1	91,6	103,9	117,8	132,9	3051 rpm
	5,8	5,0	4,3	3,7	3,2	
75	702,3	685,9	669,2	652,3	163,5	4476 rpm
	115,1	130,3	147,2	166,0	186,5	
	6,1	5,3	4,5	3,9	0,9	
100	936,4	914,5	892,3	869,7	846,7	6000 rpm
	151,7	170,1	190,5	212,9	237,0	
	6,2	5,4	4,7	4,1	3,6	
Arvot imukaasun 5 K tulistuksella ja kuumakaasun lämpötilalla 80°C						

JK 1		
Vuotuiset keskiarvot(arvio):		COP
Pumppusäiliön lämpötila °C	-11	4,5
Lauhtumislämpötila °C	27	
Säätöluistin asento %	75	

COP lineaarisella interpoloinnilla (-10°C/25°C) ja (-10°C/30°C) sekä 3 % säännöllä arvoihin (-11°C/27°C)							
	0,00388					0,00776	
75	4,8	4,6	4,5	4,3	4,2	4,1	0,1358
80	4,8	4,6	4,5	4,4	4,2	4,1	
85	4,8	4,7	4,5	4,4	4,2	4,2	
90	4,8	4,7	4,5	4,4	4,3	4,2	
95	4,8	4,7	4,6	4,4	4,3	4,3	
100	4,9	4,7	4,6	4,4	4,3	4,3	
	25	26	27	28	29	30	



BITZER Output data

Created on : 13.03.2014 14:33:41



Table of content

Project survey.....	3
Compressor Selection: Compact Screw Compressors CS.....	4
Application Limits.....	5
Result.....	6
Technical Data: CSH9563-160Y.....	7
Compact Screw Compressors CS.....	8



BITZER Software v6.4.0 rev1076

Valio
Jyväskylän meijeri
LP

13.03.2014 / All data subject to change.

3 / 8

Project survey

Selected compressors

Compact Screw Compressors CS

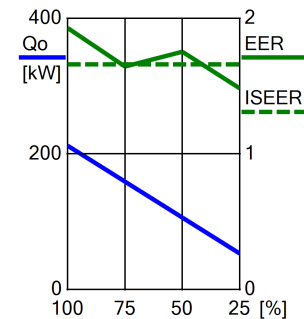
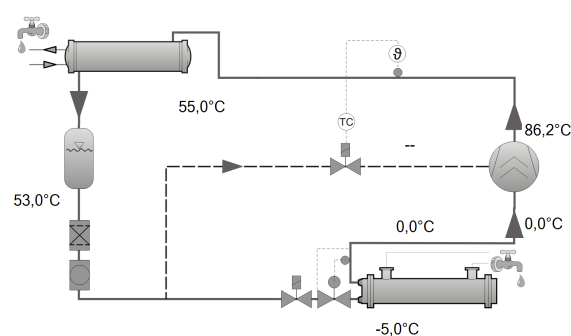
1x CSH9563-160



Compressor Selection: Compact Screw Compressors CS

Input Values

Compressor type	Screws, compact CSH/CSW
Refrigerant	R134a
Reference temperature	Dew point temp.
Calculation mode	manually
Application type	Chiller, water cooled
Weighting	0,03 / 0,33 / 0,41 / 0,23
Liq. subc. (in condenser)	2,00 K
Suct. gas superheat	5,00 K
Useful superheat	100%
Operating mode	Standard
Power supply	400V-3-50Hz
Additional cooling	Liquid Injection LI
Max. discharge gas temp.	110,0 °C
ΔT in condenser (variable)	5,00 K



Overview

ISEER: 1,66

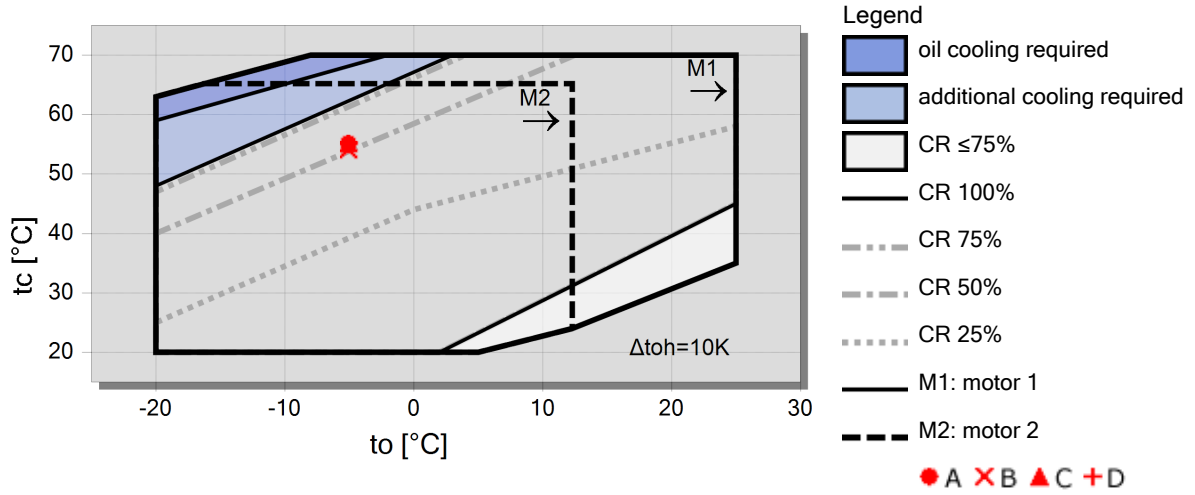
	100%				75%				50%				25%			
	Qe	Pe	EER	Ratio	Qe	Pe	EER	Ratio	Qe	Pe	EER	Ratio	Qe	Pe	EER	Ratio
Evaporating SST	-5,00	°C			-5,00	°C			-5,00	°C			-5,00	°C		
Water inlet temp.	50,0	°C			50,0	°C			50,0	°C			50,0	°C		
Total	212	kW	110,0	kW	1,93	W/W	--	%	159,1	kW	96,3	kW	1,64	W/W	--	%
CSH9563-160	212	kW	110,0	kW	1,93	W/W	--	%	159,1	kW	96,3	kW	1,64	W/W	--	%



Application Limits

CSH9563- 160

Standard





Result

ISEER: 1,66

	100%		75%				50%			
Evaporating SST	-5,00 °C		-5,00 °C				-5,00 °C			
Water inlet temp.	50,0 °C		50,0 °C				50,0 °C			
Compressor	Total	CSH9563- 160	Total	CSH9563- 160		Total	CSH9563- 160			
Capacity steps	100%	100%	75%	75%	over 75%	under 75%	50%	50%	over 50%	under 50%
Runtime	--	--	--	--	82,8 %	17,16 %	--	--	50,0 %	50,0 %
Capacity Control		100%			75%	50%			100%	0%
Condensing SDT	55,0 °C	55,0 °C	54,0 °C	54,0 °C	54,1 °C	53,1 °C	55,0 °C	55,0 °C	55,0 °C	--
Cooling capacity	212 kW	212 kW	159,1 kW	159,1 kW	167,9 kW	116,7 kW	106,1 kW	106,1 kW	212 kW	--
Evaporator capacity	212 kW	212 kW	159,1 kW	159,1 kW	167,9 kW	116,7 kW	106,1 kW	106,1 kW	212 kW	--
Condenser Capacity	322 kW	322 kW	255 kW	255 kW	267 kW	199,9 kW	161,0 kW	161,0 kW	322 kW	--
Ratio	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Power input	110,0 kW	110,0 kW	96,3 kW	96,3 kW	99,1 kW	83,1 kW	55,0 kW	55,0 kW	110,0 kW	--
Current (400V)	180,6 A	180,6 A	160,1 A	160,1 A	164,2 A	140,7 A	90,3 A	90,3 A	180,6 A	--
COP/EER	--	1,93	--	--	1,69	1,40	--	--	1,93	--
EER	1,93	1,93	1,64	1,64	--	--	1,75	1,75	--	--
Mass flow	6219 kg/h	6219 kg/h	4606 kg/h	4606 kg/h	4868 kg/h	3342 kg/h	3110 kg/h	3110 kg/h	6219 kg/h	--
Operating mode	--	Standard	--	--	Standard	Standard	--	--	Standard	Standard
Liquid temp.	53,0 °C	53,0 °C	--	--	52,1 °C	51,1 °C	--	--	53,0 °C	--
Oil volume flow	1,67 m³/h	1,67 m³/h	1,64 m³/h	1,64 m³/h	1,65 m³/h	1,62 m³/h	0,84 m³/h	0,84 m³/h	1,67 m³/h	--
Discharge gas temp. w/o cooling	86,2 °C	86,2 °C	--	--	94,3 °C	108,3 °C	--	--	86,2 °C	--

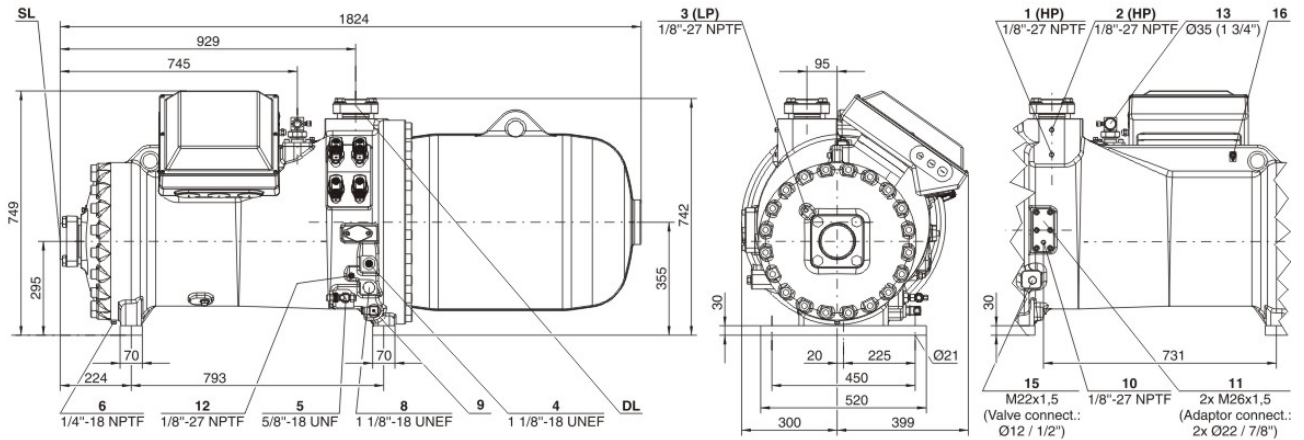
25%

Evaporating SST	-5,00 °C			
Water inlet temp.	50,0 °C			
Compressor	Total	CSH9563- 160		
Capacity steps	25%	25%	over 25%	under 25%
Runtime	--	--	25,0 %	75,0 %
Capacity Control			100%	0%
Condensing SDT	55,0 °C	55,0 °C	55,0 °C	--
Cooling capacity	53,0 kW	53,0 kW	212 kW	--
Evaporator capacity	53,0 kW	53,0 kW	212 kW	--
Condenser Capacity	80,5 kW	80,5 kW	322 kW	--
Ratio	--	--	--	--
Power input	27,5 kW	27,5 kW	110,0 kW	--
Current (400V)	45,1 A	45,1 A	180,6 A	--
COP/EER	--	--	1,93	--
EER	1,48	1,48	--	--
Mass flow	1555 kg/h	1555 kg/h	6219 kg/h	--
Operating mode	--	--	Standard	Standard
Liquid temp.	--	--	53,0 °C	--
Oil volume flow	0,42 m³/h	0,42 m³/h	1,67 m³/h	--
Discharge gas temp. w/o cooling	--	--	86,2 °C	--



Technical Data: CSH9563-160Y

Dimensions and Connections



Technical Data

Technical Data

Displacement (2900 RPM 50 Hz)	615 m ³ /h
Displacement (3500 RPM 60 Hz)	742 m ³ /h
Weight	1270kg
Max. pressure (LP/HP)	19 / 28 bar
Connection suction line	DN 100
Connection discharge line	76 mm - 3 1/8"
Oil type R134a/R407C/R404A/R507A/R407A	BSE170 (Standard)

Motor data

Motor voltage (more on request)	380-415V -50Hz
Max operating current	280.0 A
Starting current (Rotor locked)	436.0 A Y / 1364.0 A D
Max. Power input	155,0 kW

Extent of delivery (Standard)

Enclosure class	IP54
Oil heater	300 W (Standard)
Oil separator	Standard
Oil filter	Standard
Discharge gas temperature sensor	Standard
Start unloading	Standard
Capacity Control - 4-step	100-75-50-25% (Standard)
Capacity Control - infinite	100-25% (Standard)
Built-in check valve	Standard
Motor protection	SE-E1 (Standard), INT69VSY-II(Standard for 660-690V)
Oil charge	30,0 dm ³

Available Options

Oil level switch	min / max OLC-D1-S (Option)
Discharge shut-off valve	Option
Suction shut-off valve	Option
Shut-off valve for ECO with muffler	Option
Liquid injection with integrated nozzle	Option
Bridges for DOL start	Option
Vibration dampers	Option



Compact Screw Compressors CS

Reference points for evaporating and condensing pressures:

Connection positions 1 (HP) and 3 (LP) on the compressor (see dimensions). The pressure drop for shut-off valves and check valves has not been taken into consideration. This is the worldwide state of the art for compact screws, as in factory-produced chillers shut-off valves are often omitted and the check valve can also be arranged as an external component in the discharge line. For the sake of the international comparability of performance data, this standard has been adopted for the screw compressors of the CSH/CSW/CSVH series.

ASERCOM certified performance data:

The Association of European Refrigeration Component Manufacturers has implemented a procedure of certifying performance data. The high standard of these certifications is assured by:

- plausibility tests of the data performed by experts
- regular measurements at independent institutes

These high efforts result in the fact that only a limited number of compressors can be submitted. Due to this not all BITZER compressors are certified up to now.

Performance data of compressors which fulfil the strict requirements may carry the label "ASERCOM certified". In this software you will find the label at the respective compressors on the right side below the field "result" or in the print out of the performance data. All certified compressors and further information are listed on the homepage of ASERCOM (www.ASERCOM.org).

Legend of connection positions according to "Dimensions":

- 1 High pressure connection (HP)
- 2 Additional high pressure connection
- 3 Low pressure connection (LP)
- 4 Oil sight glass
- 5 Oil service valve (standard) / connection for oil equalisation (parallel operation)
- 6 Oil drain plug (motor housing)
- 7 CSH only, except CSH6583, CSH6593, CSH95103 and CSH95113: Connection for electro-mechanical oil level switch in case of replacing a CSH.1 by a CSH.3
- 8 Connection for opto-electronical oil level switch (OLC-D1-S) CSVH: integrated into FI control
- 9 Oil heater with sleeve (standard) CSVH: integrated into FI control
- 10 Oil pressure connection
- 11 External oil cooler connections (adaptor optional)
- 11a outlet to oil cooler
- 11b inlet / return from oil cooler
- 12 Oil temperature sensor (PTC) CSVH: integrated into FI control
- 13 Economiser connection (ECO) (shut-off valve optional CSH: with pulsation muffler)
- 14 Threaded hole for pipe support (line for ECO, LI or for FI cooling)
- 15 Liquid injection connection (LI) (CSH: shut-off valve optional)
- 16 Earth screw for housing
- 17 Connection for oil and gas return (for systems with flooded evaporator adaptor optional)
- 18 Oil filter (service connection)
- 19 FI cooling (liquid refrigerant)
- 20 Frequency inverter (FI)

SL Suction gas line
DL Discharge gas line

Dimensions can show tolerances according to EN ISO 13920-B.