

Tero Koskenlaita

# KYLMÄPROSESSIN TOIMINNAN PARANTAMINEN

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


Tammikuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  31.1.2014				
<b>Tekijä(t)</b>  Tero Koskenlaita	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b>  Talotekniikan koulutusohjelma, LVI-tekniikka				
<b>Nimeke</b>  Kylmäprosessin toiminnan parantaminen					
<b>Tiivistelmä</b>  Insinööriydessäni tutkittiin Porvoon jäähallin kylmäprosessia. Prosessin kylmäaineena on ammoniakki. Tavoitteena oli toteuttaa parannus prosessin kylmäainekierto, kompressoreiden ohjaukseen ja tehonsäätöön. Tarkoituksena oli toteuttaa teknisesti käyttövarmempi kylmäprosessi ja taloudellisesti toimiva ratkaisu energiansäästöön.  Kylmäprosessin toiminnassa on olennaista, että järjestelmä on tasapainoinen ja kaikilta kylmäputkiston osin optimaalisesti mitoitettu. Prosessin putkistokaavion tarkastelussa huomio kiinnittyi nesteputkeen, joka yhdistää pisaranerotin ja höyrystimen vaakaputken. Nesteputkimuutos toteutettiin mitoittamalla nestelinja DN100 -putkikoolle.  Yhden kompressorikäyttöä ohjaavaksi valitun ruuvikompressorin pyörimisnopeussäädön ratkaisu toteutettiin taajuusmuuttajalla sekä siihen yhteensopivalla uudentyyppisellä sähkömoottorilla. Muiden kolmen ruuvikompressorin ohjaus toteutettiin muuttamalla logiikkaohjelmaan edellä mainittu kompressori ohjaavaksi muiden porrastaessa tehontarpeen mukaan 100 % tehoportaiden välein.  Kylmäprosessin muutostöiden hankintahinta, vuotuiset käyttökustannukset ja vuotuinen säästövaikutus määriteltiin, sekä niiden perusteella laskettiin koko investoinnin takaisinmaksuaika. Koko muutostyön ja järjestelmän hankintahinnan ollessa 27 500 € hankinta maksaa itsensä takaisin hieman alle neljässä vuodessa. Yhteistyökumppaneiden Johnson Controls Oy ja ABB Oy käyttävät muutoskorjausta, pyörimisnopeussäätöön tehtyä teknisesti ja taloudellisesti toimivaa ratkaisua vertailukohteenaan. Pyörimisnopeussäädön tekninen toteutus on ensimmäinen Suomen jäähalleihin toteutettu ratkaisu ruuvikompressorikäytölle.					
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  Kylmäprosessi, nesteputki, pyörimisnopeussäätö, sähkömoottori, kylmäkerroin, energiansäästö.					
<b>Sivumäärä</b>  68 + 29	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 33%;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b>	<b>URN</b>	Suomi	
<b>Kieli</b>	<b>URN</b>				
Suomi					
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>					
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Pertti Lehikoinen	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  Porvoon kaupunki				

## DESCRIPTION

		<b>Date of the bachelor's thesis</b> 31.1.2014
<b>Author(s)</b> Tero Koskenlaita	<b>Degree programme and option</b> Building Services	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Improving the operation of the cooling process		
<b>Abstract</b> <p>The cold process of Porvoo city ice stadium was studied in my thesis. Liquid ammonia is used as a refrigerant. The target was to perform an improvement for the refrigerant circulation, compressor controls and regulation of cooling power. The function was to put into practice a technically more reliable cold process and an economically running solution for energy conservation.</p> <p>It is essential, that the system is in balance and optimically dimensioned during its running conditions. The liquid tube was focused as a main interest while the pipe diagram of the cold process was examined. The liquid tube connects the drop separator and the horizontal tube of the expansion coil. A modification of the liquid tube was carried out through dimensioning the liquid line as DN100 tube sizing.</p> <p>One control solution of the rotation speed controls, which control the compressor drives was put into action by means of frequency converter and a new type of electric motor compatible for the coupling. The controls of the rest of the three screw compressors were carried out by means of revising the program of the programmable logic. The compressor mentioned earlier was defined as the primary controller while the rest of the compressors alter their power by stepping power levels with 100% steps.</p> <p>The initial cost of the cold process alteration work, annual operation costs and annual saving effect was defined and the payback time of the whole investment was calculated on the basis of these factors. As the alteration work and the system initial cost is 27500 €, the project will pay itself back in slightly less than four years. The partners in cooperation, Johnson Controls Ltd. and ABB Ltd. will take advantage of a rotation speed control based solution, which is both technically and economically functioning, as a point of comparison. This kind of technical execution of the rotation speed control for screw compressor drives is a first solution used in Finnish ice stadiums.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b> Cooling process, fluid tube, rotation speed control, electric motor, cold factor, energy saving.		
<b>Pages</b> 68 + 29	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b> Pertti Lehikoinen	<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Porvoon kaupunki	

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
2	KYLMÄPROSESSIN TEORIA JA HISTORIA .....	2
3	JÄRJESTELMIEN TOIMINNAN KUVAUS .....	4
3.1	Kylmäjärjestelmä .....	4
3.2	Kylmäaine .....	5
3.3	Prosessin kylmäkerroin ja tehokkuus .....	8
3.3.1	COP .....	8
3.3.2	SCOP .....	9
3.3.3	EER .....	9
3.3.4	SEER .....	9
3.3.5	ESEER .....	9
3.3.6	Carnot .....	10
3.4	Kylmäprosessi .....	10
3.4.1	Kompressori .....	11
3.4.2	Lauhdutin .....	13
3.4.3	Uimuri .....	14
3.4.4	Pisaranerotin .....	14
3.4.5	Höyrystin .....	16
3.4.6	Putkisto .....	17
4	TOIMENPITEET .....	18
4.1	Nesteputken valinta .....	19
4.2	Muutostyön valmistelu .....	19
4.3	Nesteputken muutostyö .....	20
4.4	Pisaranerotin muutos .....	24
4.5	Höyrystin muutos .....	25
4.6	Eistäminen .....	26
4.7	Kompressori ohjauksen muutos .....	26
4.8	Sähkömoottorin ja taajuusmuuttajan muutos .....	27
5	TULOKSET .....	30
5.1	Olosuhteiden huomioiminen .....	30
5.2	Nesteputken mitoitus .....	31
5.2.1	Massavirta .....	31

	2
5.2.2 Ominaistilavuus.....	33
5.2.3 Virtausnopeus.....	34
5.2.4 Uuden putkiston paine-ero .....	34
5.2.5 Liuoslämpötilat.....	36
5.3 Kompressoreiden ohjaustavan muutoksen vaikutus .....	40
5.4 Sähkömoottorin ja taajuusmuuttajan muutostyön vaikutukset .....	45
5.4.1 Kylmäkerroin.....	57
5.4.2 Energiansäästö.....	61
6 KUSTANNUKSET, KANNATTAVUUS JA TAKAISINMAKSUAIKA .....	62
6.1 Hankintahinta .....	62
6.2 Käyttökustannukset .....	63
6.3 Kannattavuus ja takaisinmaksuaika .....	63
6.3.1 Vuotuinen säästö .....	63
6.3.2 Takaisinmaksuaika .....	64
7 YHTEENVETO.....	66
LÄHTEET .....	68

## LIITTEET

## 1 JOHDANTO

Porvoon kaupungin omistama Kokonniemen jäähalli on rakennettu vuonna 1987. Hallin viereen rakennettiin vuonna 2005 erillinen harjoitushalli ja samalla uusittiin jäähallin kylmäkoneiston kompressorit sekä mitoitettiin uusi jäähdytyspiiri harjoitushallille. Jäähallin uudenveroinen putkistolinja säilytettiin entisellään. Nykyisin jäähalli sekä harjoitushalli palvelevat Porvoon ja lähiseutukuntien käyttötarpeita.

Insinööriyön aiheena on ammoniakikylmäprosessin toiminnan parantaminen. Työn tavoitteena on osoittaa prosessin toiminnan, kompressorikäytön hyötysuhteen ja kylmäkertoimen paraneminen sekä muutostyöstä saatava energiansäästö. Samalla on odotettavissa teknisesti toimivampi ja taloudellisempi kylmäprosessi.

Kylmäprosessin pääasiallinen tehtävä on tuottaa riittävä kylmäenergia jäähallin ja harjoitushallin ratapiirien kylmäkiertoon tarvitsema kylmä noin 3000 m<sup>2</sup> alalle. Kylmän tuottamisen edellytyksenä on riittävän matalan lämpötilatason saavuttaminen. Kylmäenergian tarve koskee molempien hallien vuosittaista n. 9 kuukauden aikaista käyttöä. Jäähallin kylmäkoneiston kompressorien tehontarve on keskimäärin n 0,5 MW.

Kylmäkoneiston tehontarpeen ollessa suurimmillaan on prosessin toiminta tähän asti ollut ajoittain epävakaata sekä aiheuttanut pahimmillaan turhia käyntihäiriöitä. Asentamalla pisananerottimen ja lämmönsiirtimen väliin uusi kokoluokkaa suurempi putkikoko saadaan tehontarpeelle tarvittavaa virtausvastusta pienennettyä. Näin ollen kylmäainekierto paranee häviöiden jäädessä pienemmiksi.

Kylmäkompressoreita on aikaisemmin ohjattu on/off-säädöllä 75 % :n ja 100 % :n tehoalueella säätämällä korkeapainemagneettiventtiilin kaasun virtausta ruuvikompressorille, jolloin ruuvikompressorin käy huonolla hyötysuhteella toimiessaan vain osateholla. Energiaa hukkaantuu tällä ohjaustavalla huomattavasti häviöihin.

Kompressorin on kylmälaitoksen suurin energian kuluttaja, joten työssäni kompresso-  
reiden käynnin ohjaamiseen ja tehonsäätöön kiinnitetään erityistä huomiota. Insinööri-  
työn aikana suoritetaan parannus prosessin kylmäainekiertoon, kompresso-  
reiden ohja-  
ukseen ja tehonsäätöön. Muutoksilla on kylmäprosessin sähköenergiataloudellisuutta  
parantava vaikutus.

Uusi nesteputki, pyörimisnopeussäätö ja sähkömoottori parantavat energiataloudellisuutta. Uudemmallalla tekniikalla toteutettava pyörimisnopeussäätö tuottaa tarvittavan oikea-aikaisen tehonlisäyksen, silloin kun sitä eniten tarvitaan. Kompressorikäyttöön tehtävällä ohjaustavan muutostyöllä on myös suuri vaikutus energiansäästöön.

Kustannus on hankintavaiheessa kohtuullinen verrattuna sen tuomaan energia säästöön kylmäprosessia käytettäessä. Muutostyön takaisinmaksuaika jää lyhyeksi ja siitä saatava energiansäästö sähkönkäytön kustannussäästön osalta kannattavaksi. /3;4./

## **2 KYLMÄPROSESSIN TEORIA JA HISTORIA**

Suomen ensimmäinen tekojäärata otettiin käyttöön vuonna 1958 Tampereella. Koulukadun varteen ulkoilmaan rakennettu ja sijoitettu jääkiekkorata, jolla ei ollut omaa kylmäkoneistoa. Ratapiirin kylmä otettiin viereisen Pyynikki Oy:n olutpanimon kylmäkompressorien ylimääräisestä jäähdystystehosta. Suomen ensimmäinen jäähalli rakennettiin vuoden 1964 MM-kisojen tarpeisiin Tampereelle.

Lukumäärältään maassamme on noin 250 jäähallia, joiden tarvittava kylmä tehdään kylmäprosessin avulla. Jäähallien keski-ikä Suomessa on noin 15 vuoden paikkeilla. Teoreettisesti katsoen jokaisessa Suomen jäähallissa toimii periaatteeltaan samanlainen kylmäprosessi. Niissä olevien ratapiirien lukumäärä on suurempi kuin hallien lukumäärä, koska useimmissa halleissa on kaksi tai useampia jääkenttiä. /1./

Maassamme käytössä olevien jäähallien kylmä tuotetaan pääsääntöisesti ammoniakki-kylmäkoneiston avulla. Sabroe Finland Oy:n rakentama Porvoon jäähallin kylmäprosessi valmistui vuonna 1997. Peruskorjaus ja uuden harjoitusjäähallin rakentaminen suoritettiin vuonna 2005. Samaan aikaan rakennettiin harjoitusjäähalliin uusi natrium-suolaliuospiiri kentän jäädytykselle Johnson Controls Oy toimesta. Käytännössä uuden ratapiirin lisääminen lisäsi tehontarpeen 500 - 1000 MWh:n vuodessa noin 20 - 30 omakotitalon sähkönkulutusta vuodessa.

Jäähallien hyvä energiatehokkuus on sekä jäähallin käyttötalouden että ympäristön suojelun kannalta tärkeää. Jäähallien käyttökustannuksista suurin osa aiheutuukin juuri

energiakustannuksista. Tehontarvetta ajatellen pienikin energiansäästö on pitkällä aikavälillä huomattava vähennys kasvaviin vuosittaisiin kustannuksiin.

Useimpiin jäähalleihin tehdään jää nykyisin kesällä, tavallisimmin heinäkuun puolivälin maissa tai kuun lopulla. Vuoden korkeimmat ulkoilman lämpötilat keskittyvät juuri tälle ajanjaksolle, jolloin maamme eteläisissä osissa ulkoilman korkeimmat lämpötilat ovat luokkaa  $\geq +30$  °C, eli hallien tehontarve on juuri tällöin suurimmillaan.

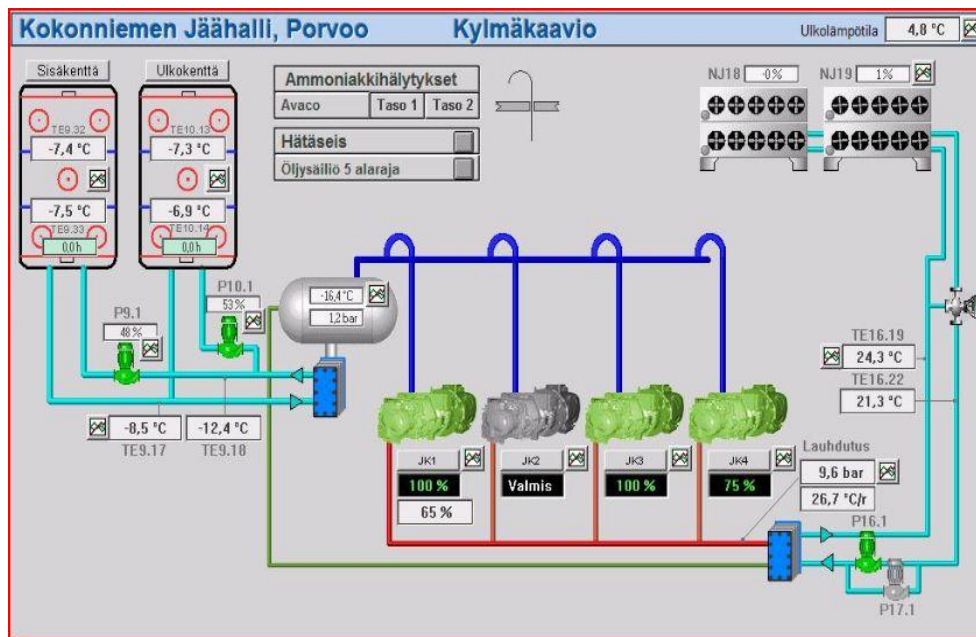
Kaikkein suurin jäähdytyskuorma eli jään tekeminen ajoittuu juuri tälle ajanjaksolle. Kun säät jälleen syksyn tullen viilenevät, pienenee jäähdytyskuorma siten, että suurimman osan vuotta kuorma on suuruusluokaltaan vain noin puolet huippukuormasta. Juuri tällöin koneisto joutuu käymään osatehoisena.

Tällaisissa tilanteissa tulee esiin ruuvikompressorin suuri heikkous eli osatehon huono energianhyötysuhde. Ruuvikompressoria täytyisikin pystyä ajamaan taajuusmuuttajakäytöllä nousevan käyrän mukaan 100 %:n teholla, mikäli halutaan saada paras hyötysuhde irti.

Johnson Controls Oy on toiminut Porvoon kaupungin luotettava yhteistyökumppanina jo Kokoniemen jäähallin ja keskustan tekojääradan rakentamisesta alkaen. Johnson Controls Oy rakentama kylmäprosessi on toiminut pääsääntöisesti hyvin. Uusien energiansäästötarpeiden lisääntyessä käyttäjätarpeen kasvaessa sekä käyttöolosuhteiden muuttuessa vaativammaksi suunniteltu korjaustarve päätettiin käynnistää vuoden 2013 aikana. /3;4./

Kuvassa 1 on esitetty jäähallin prosessin kylmäkaavio.





**KUVA 1. Prosessin kylmäkaavio**

### 3 JÄRJESTELMIEN TOIMINNAN KUVAUS

#### 3.1 Kylmäjärjestelmä

Kylmäteollisuudessa jäädytysjärjestelmät ovat yleisesti kaksiastelaitoksia, eli järjestelmä sisältää matala- ja korkeapainepuolen. Matalapainepuolella höyrystymislämpötila on yleensä  $-35\text{ °C}$  ja korkeapainepuolella noin  $-5\text{ °C}$ . Lauhtumislämpötilana käytetään yleisesti  $+35\text{ °C}$ :n lämpötilaa. Kylmäteho on yleensä 1 - 5 MW ja lauhdutusteho 1 – 6,5 MW.

Perinteisessä kaksiasteisessa kylmälaitoksessa kylmäaineen puristus jaetaan kahteen eri vaiheeseen. Matalapainepuolen kompressorit imevät kylmäainetta matalapainesäiliöstä ja puristavat sen välipaineeseen. Välipaineinen kylmäaine johdetaan välipainesäiliöön, jossa se lauhtuu.

Korkeapainekompressorit imevät kylmäaineen välipainesäiliöstä ja puristavat sen lauhdutusaineeseen. Lauhduttimessa kylmäaineen yllilämpö siirretään ulkoilmaan tai nesteeseen, jossa lauhdutuslämpöä voidaan hyödyntää moniin eri tarkoituksiin.

Matalapainesäiliöstä nestemäinen kylmäaine pumpataan jäähdytettäviin kohteisiin. Tämä jäähdytystapa on niin sanottu suora jäähdytystapa. /3./

Välillisellä jäähdytystavalla lämpö siirtyy jäähdytettävän kohteen kiertävästä lämmönsiirtonesteestä höyrystimen kylmäainesteeseen. Tiloja, joiden lämpötila on alle +2...+16 °C, jäähdytetään yleensä välillisellä jäähdytyksellä. /2./

Vastaavasti Kokkonniemen jäähallin kylmäprosessin korkeapaineiset kompressorit imevät kylmäainekaasua pisaranerottimesta ja puristavat sen lauhduspaineeseen n.16,5 bar. Lauhduttimessa oleva yllämpö siirretään suoraan glykoliliuokseen, nestejäähdyttimessä ulkoilmaan, IV-lämmitykseen, käyttövesiverkoston lämminvesivarajaan, jäänhoitoveden lämmitykseen tai tarvittaessa viereisen tekonurmen sulatusputkistoon. Samalla kylmäaine nesteytyy. Nesteytynyt kylmäaine johdetaan lauhduttimelta uimurin kautta takaisin pisaranerottimeen.

Pisaranerottimessa nestemäinen kylmäaine kierrätetään jäähdytettäviin kohteisiin, kuten tässä tapauksessa ratapiirin höyrystimelle. Jäähallin kylmäprosessin jäähdytystapaa kutsutaan myös välilliseksi jäähdytykseksi.

Kokkonniemen jäähallin välillisessä jäähdytyksessä lämpö siirtyy jäähdytettävän kohteen kiertävästä lämmönsiirtonesteestä höyrystimen kylmäainesteeseen ammoniakki. /3./

### **3.2 Kylmäaine**

Kylmäaine on kylmäkoneistossa lämpöä sitova, siirtävä ja luovuttava aine, jonka lämmönsidonta ja luovutus perustuvat ko. aineen olomuodon muutokseen. Kylmäaine virtaa putkistossa joko nesteenä, kaasuna tai näiden seoksena. Kylmäaineen tärkeimmät tilasuureet ovat tiheys, ominaislämpö, lämmönjohtavuus ja viskositeetti. Näistä ominaisuuksista riippuu, miten hyvin rataputkistossa kiertävä kylmäaineliuos vastaa sille asetettavia vaatimuksia.

Kylmäaineita ei ole valmistettu Suomessa sen jälkeen, kun Kemira Oy lopetti 1990-luvun alussa ammoniakkin valmistuksen. Ennen vuotta 1990 käytettiin yleisesti kylmäaineena fluori-hiilivetyä R22. Sen käyttö on uusien koneistojen rakentamisessa ollut

kuitenkin kielletty jo vuoden 2000 alusta lukien. Vanhojen R22- kylmäkoneiden käyttö loppuu vuoteen 2014 mennessä.

Kylmäaineiden käyttöä koskeva määräys SFS-EN 378 tuli voimaan vuonna 2001. Sen määräykset ovat asennusliikkeitä, suunnittelijoita ja käyttäjiä sitovia, sillä normin voimassaolo on vahvistettu valtioneuvoston päätöksellä. /1./

Ammoniakin käytön lisääntymiseen on johtanut halogenoitujen hiilivetyjen käytön rajoittaminen niiden huonojen ympäristövaikutusten vuoksi.

Tekojäärajojen kylmäaineena käytetään yleisesti teollisuudestakin tuttua ammoniakkaa (R717) tai fluorihilivetyjen seosta R404A. /1;2./

Ammoniakin fysikaalisia ominaisuuksia:

Ominaisuus	R717
Nesteen tiheys (0 °C), kg/m <sup>3</sup>	638,6
Höyrystymislämpötila (1bar abs), ° C	-33,4
Höyrystymislämpö 0 °C:ssa kJ/kg	1263,3
Myrkyllisyys	1.luokan myrkky
Tulenarkuus	1. luokan palava neste
Räjähdysherkyys ilmassa	syttymisraja pitoisuus 13- 26 %
Itsesyttymislämpötila, ° C	650 C
Syöpyvät metallit	Cu, Al, Zn, Mg, pr
Voiteluaine	Mineraaliöljy
Otsonin hajotuskerroin	0
Kasvihuonekerroin (CO <sub>2</sub> =1,0)	0

Ammoniakin liuetessa veteen vapautuu lämpöä. Ammoniakki syövyttää erityisen voimakkaasti kuparia, mutta myös alumiinia, hopeaa ja sinkkiä sekä niiden seoksia. Ammoniakin höyrystymisen ja lauhtumisprosessien lämmönsiirtokertoimet ovat selvästi korkeammat kuin esimerkiksi R404A:n, mikä on ammoniakille selvä etu. Suuren höyrystymislämmön johdosta ammoniakkikoneiston nestejohdon halkaisija on pienempi kuin R404A:n. /1./

Kylmäprosessissa käytettävän kylmäaineen ammoniakin hyviä puolia. /2, s. 123/:

- suuri höyrystymislämpö, joten massavirta ja putkiläpimitat ovat pieniä

- edullisuus
- alhainen viskositeetti, joten painehäviöt ovat pienet
- sisältää hyviä termodynaamisia ominaisuuksia
- soveltuu hyvin käytettäväksi eri lämpötiloihin
- sen pistävä haju varoittaa vuotoista jo 5-10 ppm pitoisuuksilla
- kompressoreiden voiteluöljy ei liukene ammoniakkiin, koska raskaampi öljy painuu pohjalle.

Ammoniakki on kasvihuonevaikutukseltaan vaaraton aine. Kylmäaineen kokonaisvaikutusta kuvaava TEWI-kerroin (Total Equivalent Warming Impact) eli lämmitysvaikutuksen kokonaisvaste ottaa huomioon vuotojen lisäksi myös ne kasvihuonekaasujen päästöt, jotka aiheutuvat koneiston käytön tarvitseman energian tuottamisesta laitoksessa ja aineen hävittämisen energian tuottamisesta, eli ammoniakki ei tuhoa otsonikerrosta eikä edistä ilmaston lämpenemistä. /1./

Puhtaan kylmäainevuodon osuus kasvihuoneilmiöstä jää siten vain muutaman prosentin suuruiseksi kokonaisvaikutuksesta, koska kompressorin energian kulutuksen osuus TEWI-kertoimesta on pieni.

Vastaavasti ammoniakilla on myös joitakin huonojakin ominaisuuksia. Ammoniakki-koneiston rakennemateriaalina on pääasiassa teräs, jonka vuoksi koneisto on rakenteeltaan järeämpi kuin hiilivetykylmäainetta käyttävä samantehoinen laitos.

Ammoniakin tulenarkuudesta, räjähdysherkkyydestä ja myrkyllisyydestä huolimatta kylmäaine R717 on todettu oikein käytettynä sekä käsiteltynä turvalliseksi käyttää jäähallien ja teollisuuden kylmäaineena. Vaikka ammoniakkikaasun ja ilman seos muodostaa syttyvän seoksen, niin seos ei kuitenkaan syty helposti.

Ammoniakin vaarallisuudesta johtuen koneiston rakenteelta vaaditaan korkeampi mitoituspaine kuin esimerkiksi kylmäainetta R404A käytettäessä ja koneiston käyttäjän pätevyysvaatimukset ovat ammoniakilla korkeammat. Hallin vakuutusmaksut ovat niin ikään korkeammat ammoniakkikoneistoa käyttävissä kylmäainelaitoksissa.

Eräät kompressoritehtaat valmistavat samaan runkoon sekä kylmäaineelle R404A että R717 tarkoitettuja koneita. Kylmäaineelle 404A tarkoitettut kompressorit ovat tällöin olleet perinteisesti 15–20 % halvempia kuin ammoniakkikompressorit.

Käyttövarmuuden vuoksi tulisi jäähallissa olla kaksi toisistaan riippumatonta kylmäaineen kiertopiiriä. R404A on todettu olevan suurissakin (max. 650 kW) jäähallien jäähdytysjärjestelmissä hankintakustannuksiltaan rakenteeltaan edullisempi kuin ammoniakkia käyttävä laitos. /1./ Työssäni käsiteltävän jäähallin kylmäprosessin ammoniakkin R717 putkistossa kiertävä määrä on 150 kg.

### **3.3 Prosessin kylmäkerroin ja tehokkuus**

Eri kylmäaineita käytettäessä saadaan samoissa käyttöolosuhteissa saman kokoluokan koneilta erisuuruiset jäähdytystehot ja käyttötehon tarpeet riippuen luonnollisestikin eri kylmäaineilla siitä, mitä kylmäainetta kyseisessä jäähdytysprosessissa käytetään.

Kylmätehon (jäähdytystehon) ja kompressorin käyttötehon (tehontarpeen) suhdetta kutsutaan kuvaavasti kylmäkertoimeksi. Mitä suurempi kylmäkerroin on, sitä pienempi käyttöteho tarvitaan määrätyn suuruisen kylmätehon kehittämiseen. /1./

Sama asia voidaan kertoa toisinkin, eli mitä suurempi on kylmäkerroin, sitä pienempi on sähköenergian kulutus. Kylmäkerroin saadaan laskettua, kun katsotaan käyttömanuaalista kompressorin kylmäteho ja jaetaan se kompressorin käyttöteholla. Mitä suurempi on kylmäkerroin, sen suurempi on myös energiansäästö. Suuremmalla kylmäkertoimella tarvitaan pienempi käyttöteho määrätyn kylmätehon kehittämiseen.

Kompressorilaitosten kylmäkertoimen arvoon vaikuttavat pääasiallisesti höyrystymis- ja lauhtumislämpötilat, laitteiston tyyppi sekä kylmäaine. /1./

Erilaisista lämpö ja kylmäkertoimista sekä siihen liittyvistä käsitteistä voidaan mainita seuraavat.

#### **3.3.1 COP**

COP (Coefficient Of Performance) -merkintää käytetään ilmaisemaan esim. ilmalämpöpumpun hyötysuhdetta, joka kertoo, kuinka tehokkaasti laitteen kuluttama sähköenergia saadaan muutettua lämpöenergiaksi. COP- arvon mittausta toteutetaan 7 °C läm-

pötilassa. Merkinnällä COP3 tarkoitetaan, että laitteen 1kW ottoteholla saadaan tuotettua 3kW lämpötehoa. /16./

### **3.3.2 SCOP**

SCOP (Seasonal Coefficient Of Performance) ilmoittaa laitteen lämmityskauden lämpökertoimen. SCOP- luku lasketaan eurooppalaisen määrittelyn mukaan aina erikseen määrätylle lämmityskaudelle.

Sovellettavat lämpötilavälit, mitoituslämpötilat ja mitoituskuormat ovat aina lämmityskausikohtaisia. Mitoituksessa Eurooppa on jaettu kolmeen eri ilmastovyöhykkeeseen. Etelä-Euroopan mitoitus perustuu Ateenan, Keski-Euroopan alueen Strasbourg ja Pohjois-Euroopan laskenta Helsingin ilmasto-olosuhteisiin. Laitteiden energiamerkinnällä ilmaistaan laitteen energialuokitus kuuluvalla ilmastoalueelle. Laitteen asennus toteutetaan energialuokituksen mukaisella ilmastoalueella. /3./

### **3.3.3 EER**

EER (Energy Efficiency Ratio) eli hetkellinen kylmäkerroin. EN-14511 standardia käytetään EER-luvun laskennassa. Luku vastaa Standardissa määritettyä koeolosuhdetta sekä laitteiston vastaavaa nimellistehoa. Mitä korkeampi EER luku on, sitä energiataloudellisempi laitteisto on kyseessä. Esimerkiksi lukema 4EER tarkoittaa, että yhdellä sähköverkosta otetulla kilowatilla on tuotettu 4 kilowattia jäähdytystehoa. Hyvänä EER-lukemana voidaan pitää 3,5:tä. /3./

### **3.3.4 SEER**

SEER (Season Energy Efficient Ratio) -luvulla tarkoitetaan jäähdytyksen vuotuista kylmäkerrointa. /3./

### **3.3.5 ESEER**

ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio) -kylmäkerroin ottaa vuotuiset lämpötilat huomioon ja ilmoittaa vuotuisen energiantehokkuuden ja mahdollistaa samalla laitteistojen vertailun. Toisin sanoen mitä korkeampi on ESEER arvo, sitä pie-

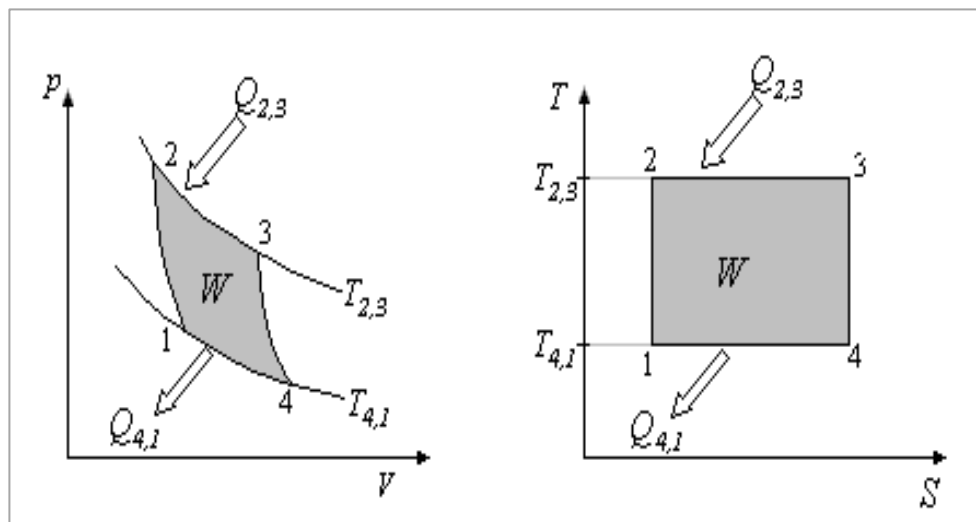
nempi on keskimääräinen energiankulutus ja sitä suurempi on vastaavasti vuotuinen energiansäästö. / 3./

### 3.3.6 Carnot

Carnot-kylmäkertoimen on kylmäkertoimen teoreettinen maksimi. Carnot-kertoimesta käytetään nimeä Carnot-hyötysuhde. Carnot-hyötysuhde määrittelee prosessin hyötysuhteen, joka on suurin mahdollinen kahden lämpövaraston välillä toimivan kierto-prosessin hyötysuhde.

Prosessin suurin mahdollinen hyöty määritellään prosessin täydellisellä palautuvuudella. Tällöin esim. lämmönsiirtojen on tapahduttava vakio- $T$ -tilassa ilman lämpötila-eroa ja koneen on oltava täysin adiapaattinen eli kitkaton. /2, s. 5/:

Luonnollisestikin mitään täydellistä palautuvuutta ei voida toteuttaa todellisilla prosesseissa olevilla koneilla. Carnot-prosessi muodostuu kahdesta isentroopista ja kahdesta isotermistä. /6./ Suurin kylmä ja lämpökertoimen saavutetaan palautuvalla koneella, esim. Carnot-prosessi. /2, s. 5/:Kuvassa 2 nähdään havainnollistettuna Carnot-prosessi  $P, V$  ja  $T, S$  -tasoissa.



**KUVA 2. Havaintokuva Carnot-prosessista (11)**

### 3.4 Kylmäprosessi

### 3.4.1 Kompressori

Nykyisin kylmäprosesseissa käytetään pääsääntöisesti joko mäntä tai ruuvikompresso-reita. Joitain keskipakokompresso-reita on kuitenkin kokeiltu teollisuuden laitoskokei-luissa, mutta ne ovat jääneet lähinnä erikoistapauksiksi.

Useiden rakennettujen järjestelmien hintavertailuissa on todettu, että ammoniakki-koneisto alkaa olla kilpailukykyinen hankintahinnaltaan, jos jäähdytysteho yhtä kyl-mäainepiiriä kohti on  $\geq 350 - 400$  kW. (1) Jäähallin kylmäprosessissa käytettävän ruuvikompressorin ominaisuuksista voidaan todeta seuraavia asioita. /1./

Ominaisuus	Ruuvikompressori
Tehoalue, kW	50 – 2000
Rakenne	avoin
Käyntinopeus, 1/s	50
Tehonsäätö	portaaton
Perushuoltoväli, h	50000

Jäähallin kompressoreina käytetään yleisesti käytettävää Bizer OSKA7471-K 121 kW ruuvikompresso-reita (4 kpl), jotka on mitoitettu erikseen kylmäjärjestelmään soveltu-viksi.

Kylmäprosessin paineet korkeapainepuolella nousevat 35 bar ja matalapainepuolella 26 bar sekä vastaavasti suunnittelulämpötilat korkeapainepuolella yli 120 °C ja mata-lapainepuolella -25 °C. /3./

Koska kylmäaineena käytetään ammoniakkaa, niin kylmäjärjestelmän kompresso-reilta ja laitteilta vaaditaan myös sen mukaista materiaalikestävyyttä.

Kompresso-reiden ohjaus ja tehonsäätö on toteutettu, niin että niiden tehonsäätöä sää-detään kolmella eri PID-säätimellä pääasiallisesti kentälle lähtevän liuoksen lämpöti-lan mukaan. Liian korkea lauhdutinpaine tai liian alhainen imupaine rajoittavat tehoa tarvittaessa. Lisäksi liian nopea imuvirtauksen jäähtyminen estää ramppisäätimen kautta kompresso-reita ottamasta lisää tehoa. Kompresso-rit käynnistyvätkin vasta, kun sisä- tai ulkokenttä tarvitsee lisää jäähdytystä eli ratapumput käynnistyvät vasta, kun imuvirtaus on riittävän kylmä. /4./



Jokaisen kompressorin ohjelmisivulla on useita konekohtaisia viiveasetuksia, mutta tässä tapauksessa ne ovat samoja, koska kaikki neljä hallin ruuvikompressoriakin ovat samaa mallia. Kompressoreille on asetettu 100 %:n tehoporrastus, joka pudotetaan virtarajoitussyistä pois liian korkeasta lauhdutin- tai imupaineesta. Nämä rajat on asetettu tarkoituksella hiukan erilaisiksi joka koneelle, niin etteivät ne putoa pois käytöstä samanaikaisesti. /3; 4; 5./

Kompressoreiden käyttötunnit on ollut tarkoitus tasata siten, että aina kun kaikki koneet pysähtyvät tai vuorokausi vaihtuu, niin ohjelma asettaa koneet käyttötuntien mukaiseen järjestykseen. Vähiten tunteja käynyt aloittaa seuraavassa käynnistystarpeessa ensimmäisenä.

Havaintojen mukaan tuntien tasaus ei ole toiminut odotusten mukaisella tavalla. Kompressoreita pystytään kuitenkin ajamaan myös kiinteällä käyttäjän antamalla järjestyksellä.

Kuvassa 3 Kokkonniemen jäähallin kylmäprosessin kompressori Bitzer OSKA 7471-K



**KUVA 3. Jäähallin kylmäprosessin kompressori JK1**

### 3.4.2 Lauhdutin

Kylmäjärjestelmän lauhduttimeksi voidaan valita joko putki tai levylämmönsiirrin. Lämmönsiirtimien valintaa ohjaa nykyisin taloudellisuus sekä mahdollisimman korkea hyötysuhteen saaminen käytettävälle prosessille. Nykyaikaisissa teollisissa kylmäainesovelluksissa levylämmönsiirrin on syrjäyttänyt lähes kokonaan putkilämmönsiirtimen.

Alfa-Lavalin levylämmönsiirtimiä käytetään monenlaisissa käyttöolosuhteissa, kuten höyrystyksessä, lauhdutuksessa, kaasun jäädytyksessä, lämmön talteenotossa, esilämmityksessä, imukaasulämmönvaihdossa, öljynjäädytyksessä ja ilmastointisovelluksissa.

Nykyaikaisimmissa levylämmönsiirtimissä on monia hyviä ominaisuuksia. /17./

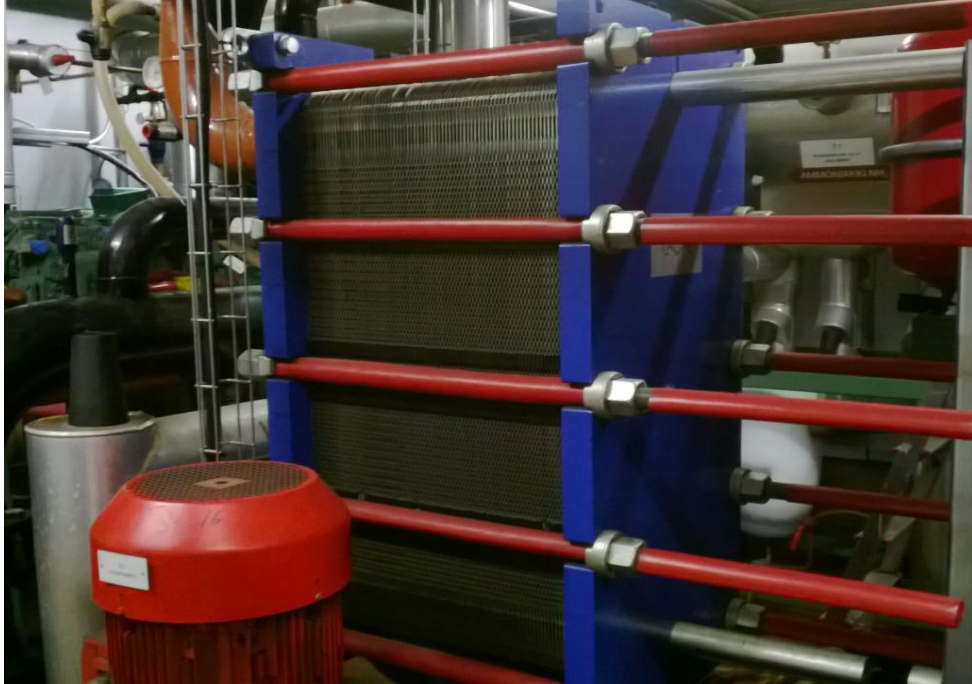
- pieni koko, kevyt ja helppo asentaa
- pieni jäädytysainelataus
- jäätymistä kestävä
- tehokas kosteuden lauhdutus
- suuri lämmön talteenottoteho ja COP- kerroin
- turvallisuusominaisuudet, höyrystimen tehonvalvonta kahden lauhdutuspiirin ansiosta.

Käsiteltävässä jäähallin kylmäprosessissa käytetään levylämmönsiirrintä.

Jäähallin lauhduttimessa kuumakaasu lauhtuu ja luovuttaa lämpöä toisiopuolen virtaavaan nesteeseen, glykoli liuokseen. Lauhtumisen aikana paine pysyy vakiona n.16,5 bar ja lämpötila laskee tulistustilasta verran, jolloin kylmäaine muuttuu takaisin nesteeksi.

Lauhduttimessa oleva ylikuumuus 40 °C siirretään suoraan glykoliliuokseen, nestejäähdyttimessä ulkoilmaan ja samalla kylmäaine nesteytyy. Lauhtumisen aikana glykoliliuokseen siirtynyt ylimääräinen lämpö voidaan tarvittaessa siirtää pakkaskauden aikana viereisen tekonurmikentän sulatusjärjestelmään. Opinnäytetyössäni olen rajannut lauhdutinpiirin opinnäytetyöni ulkopuolelle.

Kuvassa 4 nähdään jäähallin kylmäprosessin lauhdutinyksikkö Alfa-Laval M10-BWREF.



**KUVA 4. Jäähallin kylmäprosessin lauhdutinyksikkö**

### 3.4.3 Uimuri

Uimurilla on tärkeä asema kylmäainekierrossa. Kun nestepinta lauhduttimessa nousee, uimuri lisää lauhduttimelta lähtevää nestekiertoa päästämällä uimurin kautta nestettä pisaranerottimelle menevään putkistoon.

Lauhduksen nestepinnan laskiessa paine n.16,5 bar putoaa uimurin rakenteesta ja ominaisuudesta johtuen. Periaatteessa höyrystyminen alkaa jo nesteputkessa nesteen oman paineen vaikutuksesta. Lauhduttimen korkeapaineuimurin jälkeen paine ja lämpötila vastaavat pisaranerotin painetasoa n.2 bar ja lämpötilatasoa  $-15^{\circ}\text{C}$ . /3./

### 3.4.4 Pisaranerotin

Jäähallin pisaranerotin tilavuus on  $1,40\text{m}^3$ . Käytössä olevan erotinsäiliön koko määräytyy höyrystimien sekä kylmäaineputkiston tilavuuden perusteella. Pisaranerotin toimii kylmäjärjestelmässä nesteen erottimena, ja sen mitoituksessa onkin huomioitava muutamia asioita.

Pisaranerotin on oltava riittävästi kapasiteettia sen höyrystintilavuuksiin nähden, jotta käytännössä vaihteleva kuormitus ei vaikuta laitoksen toimintaan. Toisaalta erot-

timessa on aina kaksi faasia, höyryfaasi sekä nestefaasi. Myös höyrystintilalla on omat vaatimuksensa, jotka määräytyvät kompressorin imemästä kaasumäärästä sekä lämpötilasta. /3./

Kylmäainekaasulla on aina tietty maksiminopeus, jota ei saa ylittää, ettei nestepisaroi- ta pääsisi kaasun mukana kompressorille. Kaasuvirtauksella tulee olla tietty viipymä- aika säiliössä, jotta nestemäinen kylmäaine ehtii pudota takaisin nesteeseen ennen kaa- sun siirtymistä kompressorin imuputkeen. Nopeus määräytyy kylmäaineen ja lämpöti- lan mukaan. Kaasumolekyylille on myös oma minimaikansa. Yleisesti aika määritel- lään noin 3 s, jonka kaasumolekyylin on viivyttävä nesteenerottimessa. Tämä aika määrää myös pisaranerotin säiliön minimipituuden. Samasta syystä säiliössä tulee olla riittävän suuri vapaa pinta-ala ja pituus pisaroiden erottamiseksi. Vapaa pinta-ala saa- daan laskettua, kun tiedetään kompressorin imutilavuusvirta ja suurin sallittu kaasuvir- ran nopeus säiliössä. /3./

Kun tiedetään vapaa pinta-ala sekä tarvittavan nestemäisen kylmäaineen määrä säili- össä, saadaan laskettua tarvittava säiliön tilavuus, halkaisija ja vaippapituus. Pisa- ranerotin mitoitetaan aina tapauskohtaisesti kuormitustarpeesta riippuen.

Pisaranerotin ja höyrystimen välisen paine-ero syntyy pisaranerotin ja höyrys- timen välisestä korkeuserosta m. Laitteiden välinen korkeusero antaa nimen myös pro- sessin vapaakiertonimelle. Vapaakierto on edullinen ja suosittu käyttömuoto jäähallien prosessien kylmäainekierrossa. /3./

Kuvassa 5 jäähallin kylmäprosessin pisaranerotin, nesteputki ja höyrystin.



**KUVA 5. Jäähallin kylmäprosessin pisaranerotin, nesteputki ja höyrystin**

### 3.4.5 Höyrystin

Välillisessä jäähdytyksessä lämpö ns. otetaan jäähdytettävän kohteen lämmönsiirtonesteestä (natriumsuolaliuos), josta lämpö siirtyy edelleen höyrystimessä kylmäkoneiston kylmäaineeseen (ammoniakkiliuos).

Jäähallin jäähdytystapaa kutsutaan myös välilliseksi jäähdytykseksi. Kylmäprosessin höyrystimenä käytetään samaa märkähöyrystin mallia kuin lauhduttimenakin. Myös höyrystinkäytössä vaadittavat ominaisuudet ovat täten samoja kuin lauhdutinpuolellakin. /3./

Höyrystimen rakenteesta johtuen ammoniakkiliuos joutuu kulkemaan höyrystimen tiheästi rypytetyn teräskennon läpi höyrystyen näin neste ja kaasu seokseksi matalassa paineessa. Pisaranerottimelta höyrystimelle virtaava neste  $-15\text{ °C}$  höyrystyy höyrystimessä. Höyrystimen painetaso on sama kuin pisaranerottimenkin n. 2 bar.

Jäähallin kylmäprosessissa pisaranerottimelta tuleva nestemäinen kylmäaine kierrätetään ratapiirin höyrystimelle, jossa lämpö siirtyy jäädytettävän kohteen kiertävästä ratapiirin lämmönsiirtonesteestä.

Mitoitusvaiheessa lämpötiloille mitoitetaan normaalisti pieni lämpötilaero. Nesteputkistosta saadaan näin väljempi tehontarpeen riittämiseksi. Höyrystimen ammoniakkitäyttö  $\text{NH}_3$  kylmäainetäyttö on noin 20- 30 % höyrystimen tilavuudesta.

Kylmäprosessi perustuu aina faasimuutokseen. Muutoksella tarkoitetaan höyrystymisen ja lauhtumisen välistä lämpötilan muutosta. /3; 4; 6./

Kuvassa 6 jäähallin kylmäprosessin höyrystinyksikkö M10-BWREF.



**KUVA 6. Jäähallin kylmäprosessin höyrystinyksikkö**

### 3.4.6 Putkisto

Kylmäprosessin höyrystimen toisiopuolen putkistossa virtaa natriumsuolaliuos, joka jäähtyy ensiöpuolella virtaavan ammoniakkin vaikutuksesta eli luovuttaa lämmön ammoniakkiin. Ensiöpuolella virtaava ammoniakki vastaavasti höyrystyy. /3; 4./

Natriumkloridi (suolaliuos) putkisto koostuu yleensä seuraavista komponenteista.

- putkisto
- pumput
- venttiilit
- anturit ja automatiikka.

Kaksipiirinen suolaliuosverkosto siirtää pumppujen pumppaaman määrän kylmää suolaliuosta ratapiirin putkistoa pitkin jäädytettävään kohteeseen anturien pumpuille välittämän ohjauksen mukaan.

Kompressoreiden ohjausta ja tehonsäätöä säädetään kolmella eri PID -säätimellä pääasiallisesti ratapiirille lähtevän liuoksen lämpötilan mukaan. /3./

#### **4 TOIMENPITEET**

Perehdytään nesteputken valintaan vaikuttaviin tekijöihin. Eli mitä tapahtuu liuospiirin lämpötiloille, kun nesteputken tilavuus kasvaa. Selvitetään lämmönvaihtimen, pisaranerotin ja höyrystimen toimintaa. Muuttuuko kylmäaineen massavirtaus höyrystimelle, kun nesteputken tilavuutta kasvatetaan, sekä mitä tapahtuu kylmäkertoimelle. /13, s. 4/:

Seurataan valvomon logiikkaohjelmasta kompressoreiden käyntiaikoja, mitataan otto-  
tehot sekä verkosta ottama sähköteho, selvitetään hyötysuhde ja tutustutaan mahdollisiin mittausten menetelmiin.

Valmiista prosessista saaduilla mittaustuloksilla ja perehtymisellä prosessikaavion eri piirien toimintaan voidaan tutustua kylmäprosessiin tarkemmin.

Pohditaan uuden pyörimisnopeussäädön sekä sähkömoottorin tuoma hyöty prosessin toiminnalle. Investoinnin takaisinmaksuaika ja muutostyöstä saatava energiansäästö kiinnostavat myös tilaajaa. Jäähallin korjaussuunnitelma nähdään liitteessä 1.

#### 4.1 Nesteputken valinta

Uutta putkistoa suunnitellessa on ensin perehdyttävä prosessin p, h- tilapiirroksen. Putkikoon muutoksen laskemiseksi tulee ensin selvittää kylmäaineen massavirta, jotta laskennassa päästäisiin oikeisiin arvoihin. /10, s. 196/:

Mitoituksessa on myös huomioitava putken tehtävä, lämpötila sekä kylmäaine. Kun kylmäaineena on ammoniakki, kuuluisi putkiston osan aina olla terästä. Jäähallin mitoitettava suora putkiosuus vähentää painehäviöitä käytettävään prosessiin.

Suunnittelua helpottaa, ettei putkiosuudelle ei tarvitse liittää erillisiä käyriä eikä t-haaroja, joten lisääntyviä painehäviöitä ei siitä kautta tule lisää. Kuitenkin nesteputkiston mitoituksen on tarkoitus olla optimaalinen ja riittävä nykyiselle käytettävälle prosessille. /3./

Nesteputken ollessa alimitoitettu painehäviö kasvaa ja imupaine vastaavasti kompressoreissa laskee. Imu- ja lauhtumispaineen suurentuessa kompressorin ottoteho kasvaa, tällöin kylmäkerroin pienenee ja käyttökustannukset kasvavat. Voidaankin päätellä, että uusi suurempi putkikoko pienentää painehäviöitä ja samalla energian kulutus pienenee. Liialla ylimitoituksella vaikutetaan ainoastaan putken hankintahintaan, koska kyseessä on halkaisijaltaan suuri putkikoko. /1./

Nesteputken kautta höyrystimelle tulevan ammoniakkiliuoksen ( $\text{NH}_3$ ) kylmäainetäyttö on toiminnan aikana oikein mitoitettuna noin 20 - 30 % höyrystimen tilavuudesta. Nesteputken paineen häviöksi voidaan sallia 20 kpa aikaisemman 50 kpa:n sijaan. /3./ Yhtenä valmistajalta saatavasta suunnitteluohjelmasta voidaan mainita Danfoss Dir- Calc TM 1.26. Nesteputken mitoitus suunnittelua ja tuloksia nähdään liitteessä 3-4.

#### 4.2 Muutostyön valmistelu

Nesteputken muutostyö aloitettiin sammuttamalla kompressorien käyntiä eli ajamalla prosessin kylmäntuotto alas. Muutostyön valmistelu ja aloittaminen edellytti myös ammoniakkiputkistolinjan tyhjentämistä.

Koska käytönaikainen ammoniakkitäyttö pisaranerotimessa ja putkiosissa on n. 150 kg, vallitseva putkistopaine 8 bar ja pisaranerotimen suurin sallittu käyttöpaine on 15 bar, niin laitoksen tulee olla sammutettuna noin kahden viikon ajan.



Laitoksen ollessa alas ajettuna paine laskee lähelle 2 bar painetta, liuosmäärän pysyessä luonnollisestikin samana. Putkistossa olevan liuksen lämpötilan on hyvä olla muutamien asteen lämpötilassa ennen siirron aloittamista. Tyhjennysvaiheessa liuoslämpötila oli + 1 °C.

Tyhjennysletku liitetään pisaranerotin tyhjennysventtiiliin ja siitä ulkona olevaan kompressoriin, jonka alipaineella imetään laitoksessa oleva ammoniakki ulkotilassa olevaan 0,76 m<sup>3</sup> säiliöön. Samalla tarkkaillaan, että ulkona olevan tyhjennyssäiliön paine ei pääse nousemaan liian korkeaksi, koska pisaranerotimesta höyrystymällä poistuva ammoniakki kehittää paineen noustessa lämpöä. Lämpötilaero ulkona vallitsevaan 24 °C lämpöasteeseen on kuitenkin merkittävä, joten tyhjennettävän säiliön paineen nousun turvallisena rajana voidaan pitää 10 bar painetta.

Pisaranerotimessa oleva kuumakaasu imetään lopuksi samaan säiliöön, samaa menetelmää käyttäen. Siirron aikana kuumakaasun lämpötila nousee helposti yli 70 °C lämpötilan vallitsevasta paine-erosta johtuen. Kylmäaineen siirron aikana kohoavaa säiliön painetta voidaan laskea jäähdyttämällä sitä erillisellä jäähdytyksellä esim. siihen varatulla vedellä, joka voidaan suihkuttaa säiliön pintaan kätevästi paloletkulla.

Siirron aikana tyhjennyssäiliö toimii lauhduttimena ammoniakki-kaasun muuttuessa jälleen takaisin nesteeksi. Pisaranerotin on tyhjä, kun paine eron osoitin näyttää 0 bar eikä kylmäainetta enää säiliöön siirry. Kompressorin käyntiäänäni muuttuu tasaisemmaksi ja pisaranerotin sekä kompressorin imuletkun painemittari osoittaa 0 bar painetta. Pisaraerotin on ammattisanastolla ilmaistuna vakuudessa.

Pisaranerotin täytetään lopuksi typpikaasulla. Typpitäyttö tehdään kahteen eri kertaan, jolla varmistetaan vaihdettavan putkiyhteen turvallinen poistaminen. Typpitäytön tarkoituksena on estää mahdollisen ammoniakki-kaasun jääminen putkiston osaan ja syttyminen niin ettei mekaanisen työstön aikana mahdollinen muodostuva kipinä muodosta työntekijälle vaaratekijää.

### **4.3 Nesteputken muutostyö**

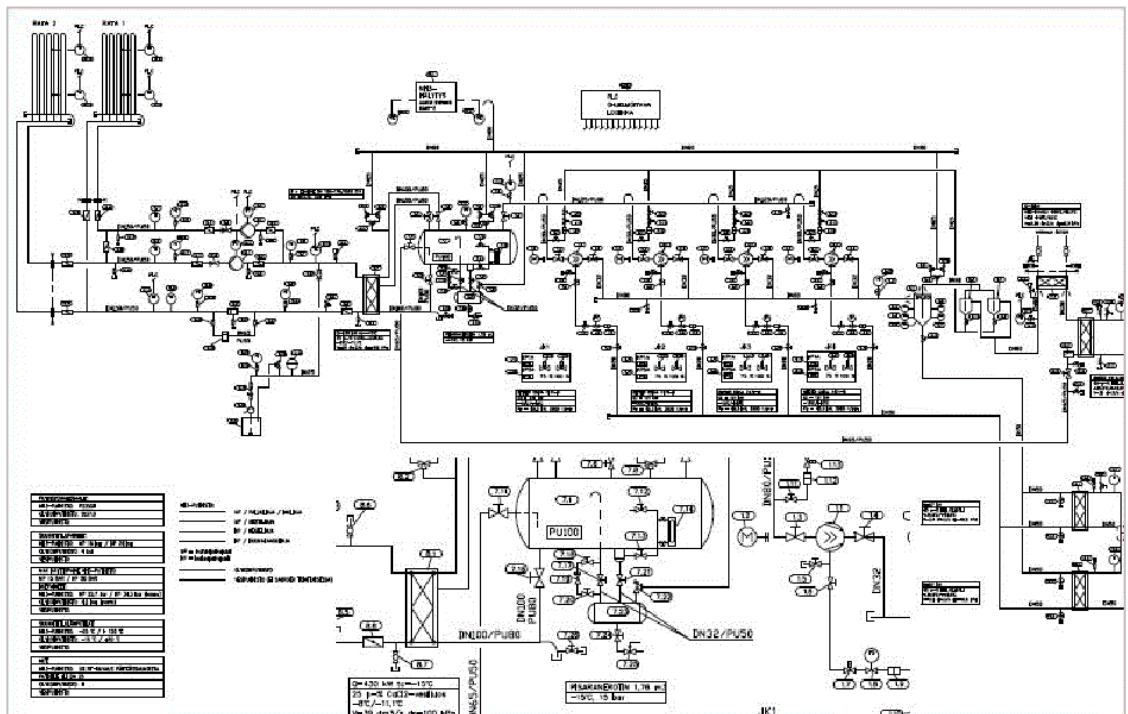
Korjaussuunnitelman mukainen työ aloitettiin poistamalla eristysmateriaali pisaranerotin alaosasta ja nesteputkesta. Nesteputki poistettiin poraamalla pisaranerot-

timen ja putken liitoslaipan ympärille pieniä 8 mm reikiä. Reikä suurennettiin 50 mm halkaisijasta 188 mm halkaisijaksi.

Uusi nesteputki asennettiin siten, että putken yläreuna tuli n. 30 mm säiliön vaipan sisäpinnan yläpuolelle, säiliön ja kiinnityksen rakenteen vahvistamiseksi. Reiän ympäritys puhdistettiin ja valmisteltiin huolellisesti hitsausta varten.

Pisaranerotinsäiliön alapuolella sijaitseva pystysuuntainen nesteputki ja sulkuventtiili vaihdettiin DN 40 koosta suunnitellun mukaiseen DN 100 putki ja sulkuventtiilikoon.

Kuvassa 9 nähdään jäähallin kylmäprosessin putkistokaavio.



**KUVA 9. Nesteputken muutosyökohte, jäähallin putkistokaavio**

Kuvassa 10 sulkuventtiilin karan kiinnittäminen nesteputkeen, liitos höyrystimen linjaan mitoitusvaiheen ja laskelmien jälkeen.



#### **KUVA 10. Nesteputken ja muutoskappaleiden kiinnittäminen**

Kiinnittäminen ja kappaleiden yhteensovittaminen suoritettiin työmenetelmän tarkistamisen ja hitsaajan pätevyyden toteamisen jälkeen. Nesteputken hitsausmenetelmänä käytettiin puikkohitsausta. Hitsauksen suoritti Helsingin Painesäiliö Oy WPS no 420. Putken materiaalina käytettiin saumatonta teräsputkea P235GH.

Putkeen asennetun sulkuventtiilin ja putken liitos hitsattiin tig -menetelmällä, WPS no 420 Helsingin painelaitesäiliön toimesta. /12./

Kuvassa 11 nähdään sulkuventtiilin ja nesteputkilinjan sovittaminen ja rakentaminen työkohteessa.



**KUVA 11. Nesteputken ja venttiilin kiinnitys sekä hitsaustyövaihe**

Nesteputken ja pisaranerottimen välinen (puikkohitsaus) pienahitsi tarkastettiin jälkikäteen vuototestauksella paineistamalla putkiliitosväli suojakaasulla. Muut liitokset rakennettiin niin, että ne pystyttiin liittämään päittäisliitoksin. /12./

Muutostyön suoritti Johnson Controls Oy. Putken vaippaliitoksen ja ensimmäisen venttiililiitoksen hitsaustyö tehtiin alihankintatyönä Helsingin Painesäiliö Oy:n toimesta. /3; 6./

Muutokorjauksen jälkeen otetusta kuvasta 12 nähdään eristetty nesteputki käytönaikeisessa toiminnassa pisaranerottimen sekä höyrystimen kanssa.



**KUVA 12. Nesteputki käytönaikaisessa toiminnassa**

#### **4.4 Pisanerottimen muutostyö**

Pisanerottimeen ei tehty muita muutoksia kuin ammoniakkinesteputken laipan liitostokoon muutos, suurentaminen 50 mm halkaisijasta n. 188 mm:n halkaisijaksi.

Vaatimuksenmukaisuusvakuutus nähdään liitteessä 8. Hitsaustyön tarkastusraportti nähdään liitteessä 9. Muutostarkastustodistus, pisanerotin DN100 nesteputkiliitos on liitteessä 10.

Kuvassa 13 nähdään nesteputkiyhteen kiinnitys pisanerottimeen.



**KUVA 13. Pisaranerottimen ja nesteputkiyhteen kiinnitys**

#### **4.5 Höyrystimen muutostyö**

Höyrystimelle ei tehty suoranaisia muutoksia. Pisaranerottimelta tulevan nesteputken putkikoon kasvattaminen DN 40:sta noin 2,5 kertaa suuremmaksi odotetaan parantavan kylmäaineen virtausta höyrystimelle.

Nesteputken kokoluokan kasvattamisen odotetaan parantavan höyrystimen kylmäainekiertoa ja laskevan jäähdytettävän ratapiirin liuoslämpötilojen lämpötilaa. Massavirtauksen odotetaan pysyvän tasaisempana tai lisääntyvän. Lämpötilan tasaisuuden pitäisi näkyä trendikäyrästäöllä tasaisempana liuoslämpötilana sekä paineena.

Liuoslämpötilojen pysyessä tasaisempana ratapiireiltä pumpuille tulevat tehonlisäyspyynnöt tulevat säännöllisempinä väleinä pitäen kompressorien ja prosessin toiminnan vakaana. Teknisesti toimivampi ja käyntihäiriötön prosessi nopeuttaa jäädytysvaiheessa jääpeitteen kasvattamista, vähentää turhia jäädytyspäiviä ja pienentää energiankulutusta.

## 4.6 Eristäminen

Pisaranerotin ja nesteputki eristetään hyväksytyyn koepaineistuksen ja röntgenkuvauksen jälkeen. Eristeenä käytetään mineraalivillaa, joka päällystetään 1 mm vahvuisella alumiinilevyllä. Eristeen paksuutena käytetään 100 mm paksuista eristettä. Imuputkessa oleva venttiili eristetään samaan eristepaksuuteen ja erillinen toimilaite rajataan siististi ulkopuolelle.

## 4.7 Kompressorin ohjauksen muutostyö

Kompressorien ohjaussäätö muutetaan aikaisemmasta tehoporrastuskäytöstä 75 % ja 100 % niin, että pyörimisnopeuslaitteistolla kompressorista JK1 tehdään järjestelmää säättävä kompressorin. Johtokompressorin JK1 säätö perustuu pyörimisnopeussäätöön ja kolmen muun kompressorin säätö on/off-säätöön.

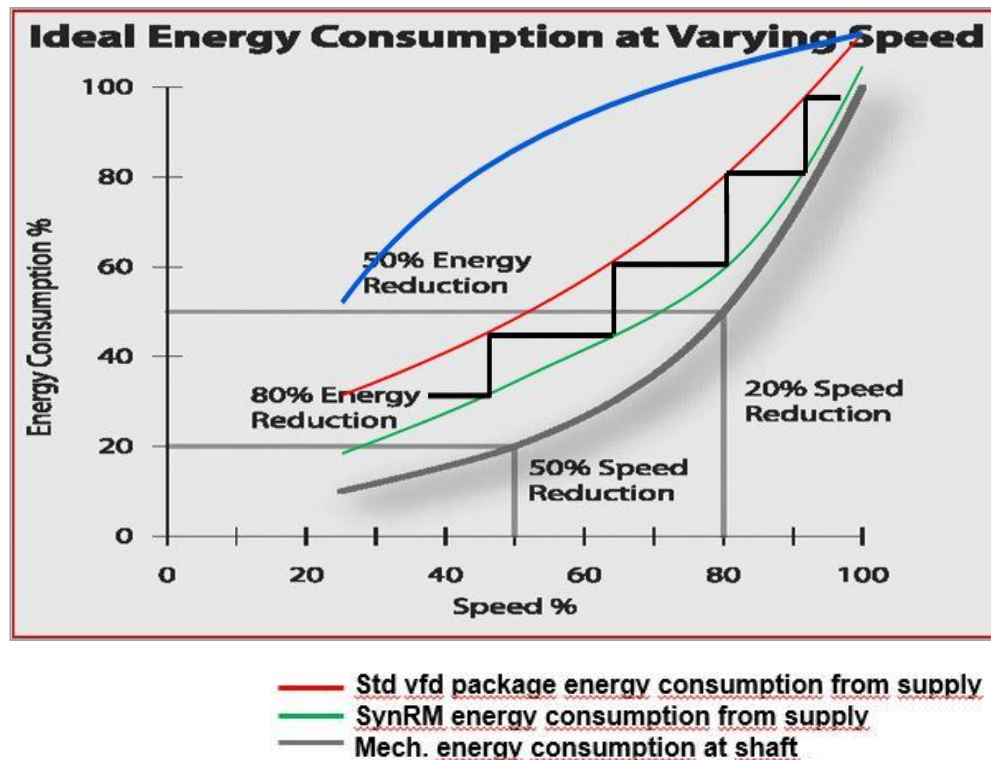
Pyörimisnopeussäätökompressorin ohjautuessa 100 % käynnistyy seuraava vuorossa oleva kompressorin heti 100 %:n teholle ja pyörimisnopeuskompressorin säätyy kuormitusta vastaavaksi vähentäen tehoa, kunnes uusi tasapainopiste on saavutettu. Vastavasti, mikäli järjestelmän tehontarve vähenee, pyörimisnopeuskompressorin pysäyttää sekvenssissä viimeisenä olevan kompressorin pois toiminnasta ja säättää kompressorin uutta tasapainotilannetta vastaavaksi. Tällä säätötavalla koko järjestelmän kylmäkerroin paranee. Säätötavalla saadaan komessoreista maksimaalinen hyöty oikea-aikaisesti. /4./

Toinen merkittävä säästö syntyy, sillä johtokompressorin JK1 moottorin hyötysuhteen odotetaan paranevan n. 3 % vanhaan oikosulkumoottoriin verrattuna. Todellisuudessa ero on varmasti suurempikin, sillä vanhan moottorin hyötysuhde on valmistajan arvioima, mutta uuden SynRM-sähkömoottorin ja taajuusmuuttajan hyötysuhde on mitattu. /4; 8./ Kuvan 14 diagrammi kertoo prosessin säätötavan muutoksesta, jossa sinisen ja punaisen viivojen välissä oleva alue kuvaa säätötavan muutoksesta saatavaa energian säästöä.

Punaisen ja vihreän viivojen välinen alue kuvaa sähkökäytön hyötysuhteen paranemisesta siirryttäessä oikosulkumoottoritaajuusmuuttajakäytöstä SynRM taajuusmuuttajakäyttöön. /8; 9./

## Introduction to SynRM

Very basic idea of SynRM : Better package efficiency



KUVA 14. Prosessin energiansäästö ja hyötysuhteen muutos

### 4.8 Sähkömoottorin ja taajuusmuuttajan muutostyö

Pyörimisnopeussäätö on yksi yleisimmistä tavoista suorittaa liitetyn toimilaitteen pyörimisnopeussäätö. Pyörimisnopeussäädöllä saadaan säädettyä portaattomasti ja oikea-aikaisesti sähkömoottorin toimintaa. Sähkömoottorille tuleva pyörimisnopeussäätö parantaa olennaisesti kompressorin ja sähkömoottorin yhteistä hyötysuhdetta.

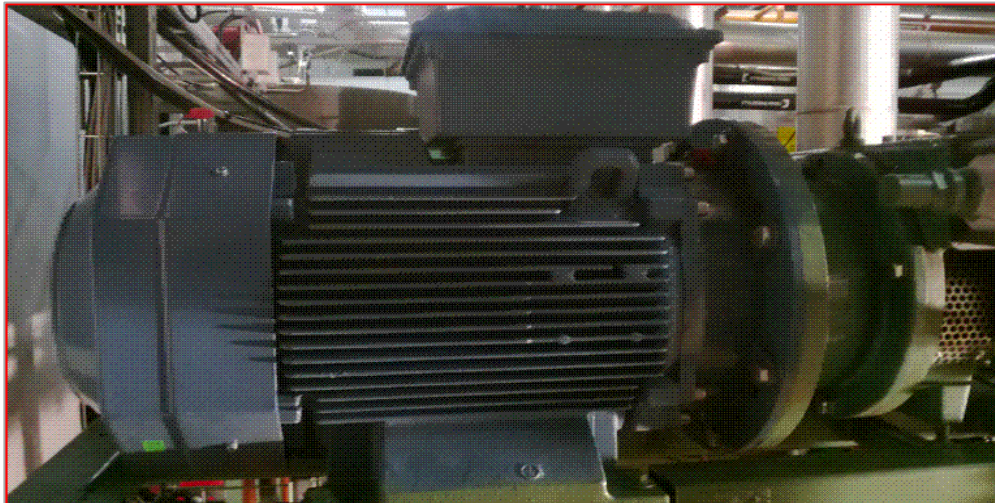
Kompressorien käyntiaikaan ei on/off-säädöllä ole sinänsä merkitystä, koska kompressorien käyntien jaksottaminen saadaan tehtyä myös ohjelmallisesti säätöventtiiliä käyttäen. Kuvassa 15 jäähallin vaihdettava oikosulkumoottori Leroy Somer.





**KUVA 15. Vanha sähkömoottori, oikosulkumoottori Leroy Somer**

Kuvassa 16 jäähallin uusi SynRM-sähkömoottori



**KUVA 16. Synkronireluktanssimoottori ABB 3MLB**

Prosessin toiminnassa ei aikaisemmin käytetty sähkömoottoreiden ohjauksessa taajuusmuuttajia. Toimittajalta Johnson Controls Oy saadun vanhan sähkömoottorin hyötysuhteen arvona voidaan käyttää 0,90. /6./

Ennen uuden IEC 60034- 31: 2010 -standardin muutosta ja voimaantuloa oli mahdollista, että valmistaja saattoi muuttaa oman tuotteen hyötysuhteen mahdollisimman korkean hyötysuhteen omaavaksi. Uuden sähkömoottorin ja taajuusmuuttajan hyötysuhde on yhteensä yli 3 % parempi kuin vanhan sähkömoottorin. ABB:n ilmoittama, mitattu yhteinen hyötysuhde taajuusmuuttajalle ja sähkömoottorille on 0,93 /3000rpm. /8; 9/

Uusitusstandardissa kaikkia valmistajia ja toimittajia sitovat samat kriteerit ilmoittamistaan tuotteista. Taajuusmuuttaja on mittausten perusteella huomattavasti energiatehokkaampi ratkaisu kuin perinteinen kuristusmenetelmällä toteutettu säätötapa.

Säätötapa säästää laitteistoa turhalta rasitukselta, kun käyntihäiriöiden koko ja määrä pienenevät. Laitteen energiankäytön optimointitoiminto varmistaa maksimimomentin ampeeria kohti ja vähentää sähköverkosta otettavan energian määrää. Pyörimisnopeussäätö on huomattavasti tarkempi säätötapa, joten se sopii erinomaisesti jatkuvaa säätöä vaativiin kohteisiin ja käyttötarkoituksiin.

Jäähallissa käytettävä IE4 tason taajuusmuuttaja sekä sähkömoottori ovat uusinta synkronireluktanssimoottoritekniikkaa, jonka erityisenä etuina voidaan mainita mm. korkea hyötysuhde, matalampi käyntilämpötila sekä järkevä takaisinmaksuaika. Lineaarilla pyörimisnopeussäädöllä saadaan tarkempi säätötulos verrattuna muihin epälineaarisiin säätötapoihin. /4./

Pyörimisnopeussäädön tarjous ja muutokset nähdään tarkemmin liitteessä 11.

Kuvassa 17 nähdään SynRM-sähkömoottori ja taajuusmuuttaja ABB ACS880.



**KUVA 17. SynRM-sähkömoottori ja taajuusmuuttaja ACS880-01-145A-3**

## 5 TULOKSET

### 5.1 Olosuhteiden huomioiminen

Jäähallin suhteelliseksi kosteudeksi suositellaan 65 %, ja sisälämpötila on +5° C il-  
mankuivausjärjestelmän ollessa käytössä. Ulkoilman lämpötilan laskiessa nollan ala-  
puolelle hallin sisäilman kuivaustarve vähenee, joten todellinen tarve ilman kuivauk-  
selle on lähinnä huhtikuusta lokakuulle.

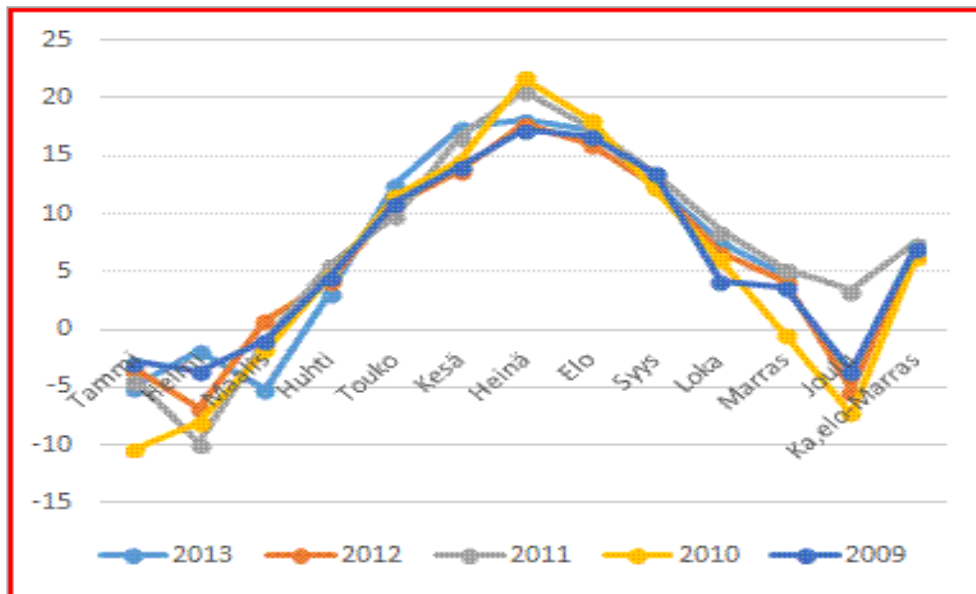
Olosuhteilla on luonnollisestikin suuri merkitys kylmäprosessin käyttöön. Prosessin  
käytön kannalta vuoden 2013 loppukesä osoittautui haasteelliseksi. Ajoittain jopa  
trooppiset olosuhteet sateineen tekivät elokuun alun jäädytysvaiheen ja toiminnan  
haastavaksi. Vuoden keskilämpötila oli ilmatieteen laitoksen vertailulämpötiloista tar-  
kasteltuna keskiarvojen mukaan kuitenkin vain 0,5 astetta vuoden vertailuvuotta 2012  
lämpötilaa korkeampi.

Neljän aikaisemman vuoden keskilämpötilaa vertailtaessa ero kuitenkin tasoittuu alle  
puolen asteen. Joulukuun 2013 erittäin lämpimän kuukauden keskilämpötila jätettiin  
pois mittauksesta, koska lämpötilaa ei työn luovutuksen määräaikaan mennessä saatu  
vertailuun mukaan.

Lämpimät sekä kosteat olosuhteet vaikuttavat olennaisesti kylmäprosessin sähköener-  
gian kulutukseen. Tässä tapauksessa erot lämpötilojen vaihteluissa jäivät kuitenkin  
niin vähäisiksi, ettei lämpötilojen vaikutusta huomaa merkittävämmiin vuosittaisen  
energiakulutuksen seurannassa pidemmän aikavälin jaksolla.

Kylmäprosesseille tehtävillä energiansäästöä parantavilla toimilla on sääolosuhteiden  
muuttuessa lämpimimmiksi energiansäästötoimien valinnoissa ja kylmäprosessienkäy-  
töissä merkittävä sekä ohjaava vaikutus.

Kuvassa 18 nähdään Helsingin kuukausittainen keskiarvolämpötilojen vaihtelut vuosi-  
en 2009 - 2013 aikana. /10./



**KUVA 18. Helsingin keskiarvolämpötilat Tammikuu- Marraskuun 2009- 2013**

## 5.2 Nesteputken mitoitus

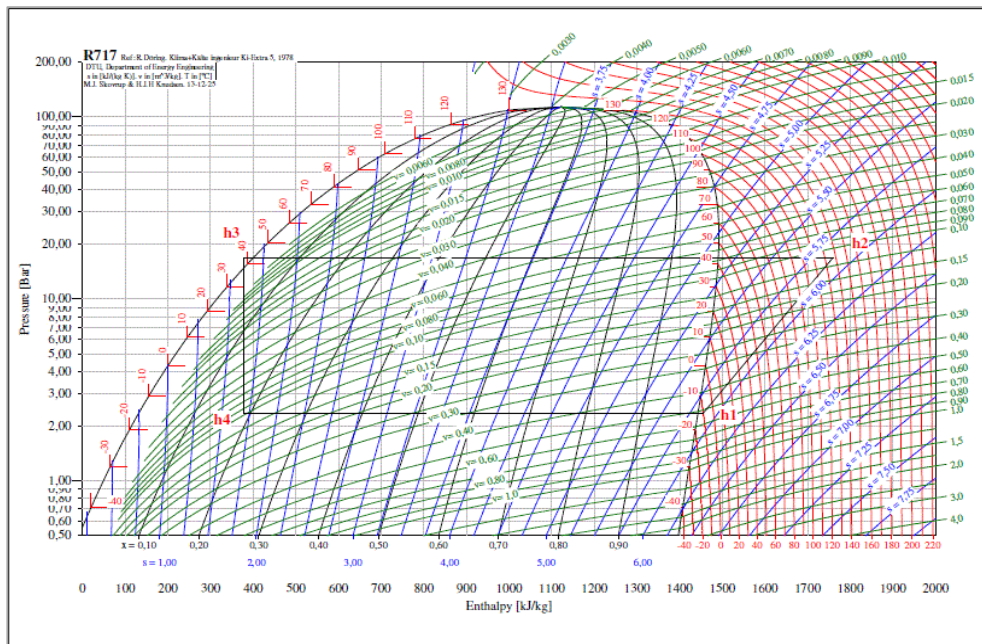
Putkiston mitoitus on yleisesti ajateltuna kompromissi kylmäprosessin putkiston painehäviöistä aiheutuvien energiakustannusten ja hankintakustannusten välillä. Mitoitettavassa nesteputkessa käytetään ohjeellista suositusta virtausnopeuden määrittelyssä. Kylmäprosessin nesteputken virtausnopeutena käytetään 1m/s ja mitoituksessa ohjelmana voidaan käyttää DirCalc TM- laskentaohjelmaa. /5, s. 196/:

### 5.2.1 Massavirta

Putkiston halkaisijan mitoituksessa tulee ensin selvittää putkiston massavirtaus. Massavirtauksen muutosta mallinnettiin tutkimalla prosessin p, h- tilapiirrosta. Massavirta saadaan laskettua höyrystimen tehon kautta, kun tiedetään höyrystimen teho ja p, h-tilapiirroksen oikeat arvot. Oletuksena on että kylmäaineen massavirtaus on koneiston kaikissa komponenteissa sama. /3./

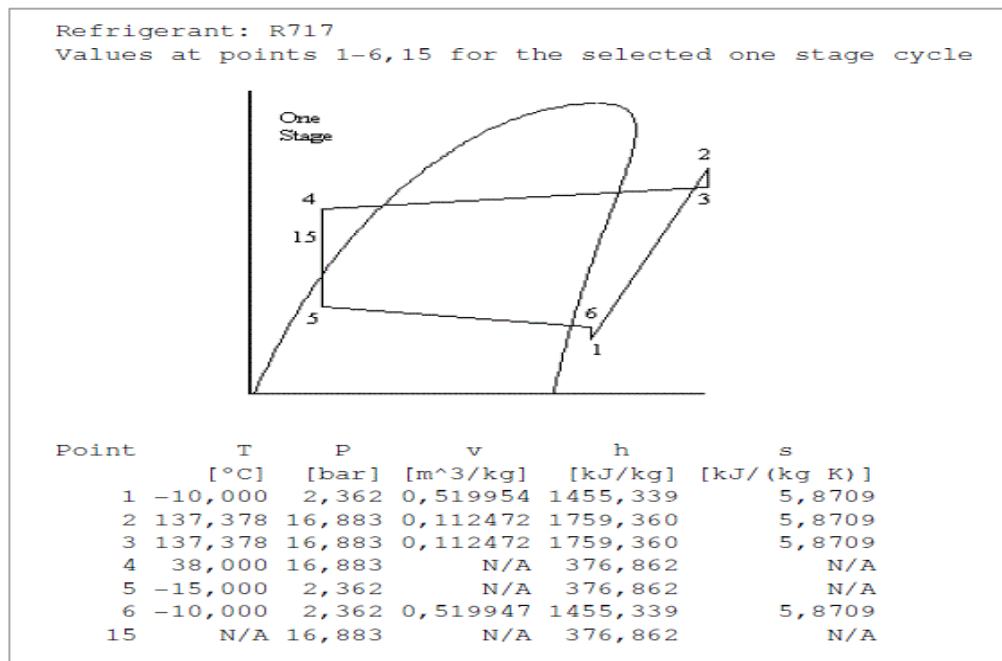
Kylmäkoneistolle tarvittava jäähdytysteho on sama kuin höyrystimen teho. Entalpia-arvot saadaan mallinnettua Coolback -suunnitteluohjelmalla.

Kuvassa 19 nähdään jäähallin höyryprosessin p,h- tilapiirros.



**KUVA 19. Jäähallin höyryprosessi p, h- tilapiirros**

Jäähallin höyryprosessin entalpia-arvot saadaan p, h- tilapiirroksen laskentataulukosta. Tilapiirroksen arvoina käytetään höyrystymislämpönä  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lauhtumislämpönä  $43\text{ }^{\circ}\text{C}$ , alijäähdetyksenä  $5\text{ K}$  ja tulistuksena  $5\text{ K}$ . Kuvassa 20 nähdään jäähallin p, h-tilapiirroksen laskelmat. P, h-tilapiirroksen laskelmat ovat tarkemmin liitteessä 4.



**KUVA 20. Jäähallin höyryprosessi entalpia-arvot**

Alla olevilla esimerkeillä ja kaavoilla voidaan yksinkertaisella tavalla mitoittaa kylmäprosessin putkisto. Jäähallin kylmäprosessin tarvittava massavirtaus saadaan lasketua alla olevalla kaavalla. Höyrystimen teho jaetaan höyryprosessin entalpioiden erotuksella kaavalla 1. /2, s. 78/:

$$q_m = \frac{\Phi}{(h_1 - h_4)} \quad (1)$$

jossa

$q_m$  on massavirtaus, kg/s

$\Phi$  on höyrystimen teho, kW

$h_1$  on höyrystymisen entalpia, kJ/kgK

$h_4$  on lauhtumisen entalpia, kJ/kgK

Syötetyn ja höyrystyvän kylmäaineen suhdetta kutsutaan kiertoluvuksi. (n)-kiertoluku saadaan laskettua, kun tiedetään prosessin tilavuusvirta, joka jaetaan höyrystimen tilavuusvirralla kaavalla 2. /3./

$$n = \frac{q_{v,koko}}{q_{v,höyr}} \quad (2)$$

jossa

$q_{v,koko}$  on laitoksen mitoittava tilavuusvirta, l/s

$q_{v,höyr}$  on höyrystimen tilavuusvirta, l/s

### 5.2.2 Ominäistilavuus

Höyrystimeltä pisaranerotimelle palaava putki sisältää nestettä ja höyryä. Seoksen ominäistilavuus saadaan määriteltä joko taulukoista, laskemalla tai laskentaohjelmalla. /2, s. 262/: Keskimääräinen nesteputken ominäistilavuus voidaan määrittellä kaavalla 3.

$$v = v_n \left(1 - \frac{1}{n}\right) + \frac{v_g}{n} \quad (3)$$

jossa

$v$  on keskimääräinen ominaistilavuus,  $\text{m}^3/\text{kg}$

$v_g$  on höyryn ominaistilavuus,  $\text{m}^3/\text{kg}$

$v_n$  on nesteen ominaistilavuus,  $\text{m}^3/\text{kg}$

$n$  on kiertoluku

Koska kyseessä on kuitenkin vapaakierto, niin ominaistilavuutta voidaan tarkastella prosessin virtauksien suhteesta saadulla kiertoluvulla 1,43. /3/

### 5.2.3 Virtausnopeus

Nesteputken virtausnopeus saadaan laskettua kaavalla 4. /5, s. 196/:

$$v = \frac{\frac{4}{\pi} * q_m * v_1}{d^2} \quad (4)$$

jossa

$q_m$  on massavirta,  $\text{kg/s}$

$v_1$  on kylmäaineen ominaistilavuus,  $\text{m}^3/\text{kg}$

$d$  on putken sisähalkaisija,  $\text{m}$

Nesteputken virtausnopeutena käytetään yleisesti  $1\text{m/s}$ .

### 5.2.4 Uuden putkiston paine-ero

Putkiosuuden paine-eron laskennassa tulee ottaa huomioon virtauksen aiheuttama paine-ero sekä putken hydrostaattinen paine. Virtauksien aiheuttamaa paine-eroa voidaan tarkastella kaavalla 5. /5, s. 196/:

$$\Delta p = \lambda * \frac{l}{d} * \rho * \frac{v^2}{2} + h * \rho * g \quad (5)$$

jossa

$\Delta p$  on paine-ero,  $\text{Pa}$

$\lambda$  on teräksen kitkavastuskerroin

$l$  on putken pituus,  $\text{m}$

$d$  on putken halkaisija, m

$\rho$  on tiheys,  $\text{kg/m}^3$

$v$  on virtausnopeus, m/s

$h$  on korkeusero, m

$g$  on  $9,81\text{m/s}^2$

Kylmäaineen virtaus höyrystimelle kasvaa painehäviön pienenemisen seurauksena. Olennaista on kuitenkin prosessin toiminnalle, että lämpötila pysyy tasaisena, koska ratapiirin liuoslämpötilan anturit lähettävät mittaustiedon prosessin logiikkaohjelmalle. Lämpötilojen muutoksesta tasaisemmaksi näkyy, että kylmäteho riittää myös kauempana olevaan harjoitushalliin.

Teho voidaan laskea faasimuutokset huomioivalla kaavalla 6. /5, s. 196/:

$$\Phi = q_m * \Delta h \quad (6)$$

jossa

$\Phi$  on höyrystimen kylmäteho, kW

$q_m$  on virtaavan aineen massavirta, kg/s

$\Delta h$  on virtaavan aineen ominaisentalpian muutos, kJ/kgK

Nesteputken mitoitusta ja tuloksia Coolback- sekä DirCalc TM -suunnitteluohjelman laskelmat on esitetty tarkemmin liitteissä 3 ja 4.



### **5.2.5 Liuoslämpötilat**

Nesteputken muutostyön vaikutus näkyy trendikäyrästä paluuliuoslämpötilan käyttäytymisestä. Ulkokentän liuoslämpötilan keskiarvomuutos on n. 0,5 °C kylmempi aikaisempaan vuoteen verrattuna. Keskiarvomuutos näkyy selkeämmin paluuliuoksen lämpötiloissa, joissa lämpötilan trendikäyrän liuoslämpötilat on havainnollistettu kahden eri vuoden saman jakson ja kuukauden ajankohtiin, joilla saadaan liuoslämpötilamuutos parhaiten havainnollistettua.

Ratapiirien lämpötilat ovat höyrystimelle palaavan liuoslämpötilakäyrän keskiarvojen mukaan noin 6 % kylmemmät kuin ennen nesteputken kokoluokan muutosta DN 40 kokoluokkaan DN 100.

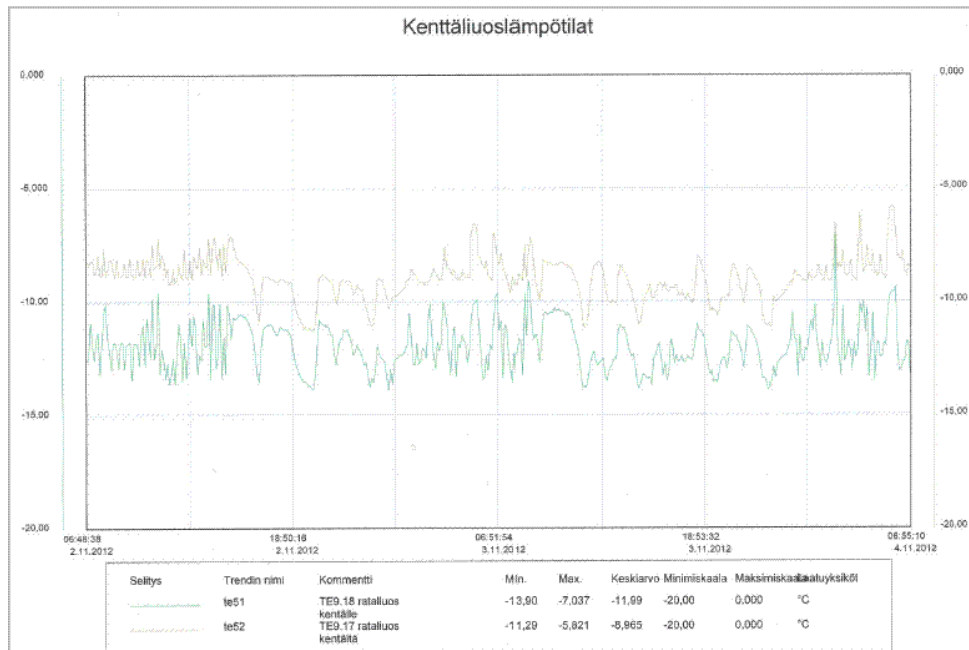
Vuoden 2012 marraskuun vertailuajankohta ja vuoden 2013 ajankohdan liuoslämpötilat ovat keskenään vertailukelpoisia likimain samojen kuormitusolosuhteiden (käyttämäärä, ulkolämpötilat) johdosta. Pidemmän aikavälin tarkastelulla päästään luotettavampaan tulokseen.

#### **5.2.5.1 Liuoslämpötilat nesteputki DN 40**

Liuoslämpötilat saatiin suoraan jäähallin prosessin ohjelman lämpötilamittauksista. Alla olevasta kuvasta nähdään liuoslämpötilojen muutokset prosessin aikajanalla. Trendikäyrästä epätasaisuudesta voidaan päätellä prosessin vaihtelevampi toiminta sekä liuoslämpötilan vaihtelu mittauspisteissä toiminnan aikana.

Liuoslämpötilojen lukemat ovat vertailukelpoisia vuoden 2013 ajankohtaan katsottuna. Vertailu sopii seuraavan vuoden kuukauden lämpötilavaihteluihin ja lukemiin. Paluuliuoksen lämpötilojen muutokset ja suuret vaihtelut näkyvät havainnollistettuna.

Kuvan 18 prosessin ohjauksen lämpötilakäyrä vuodelta 2012 mallintaa menoliuoksen lämpötilavaihtelua.

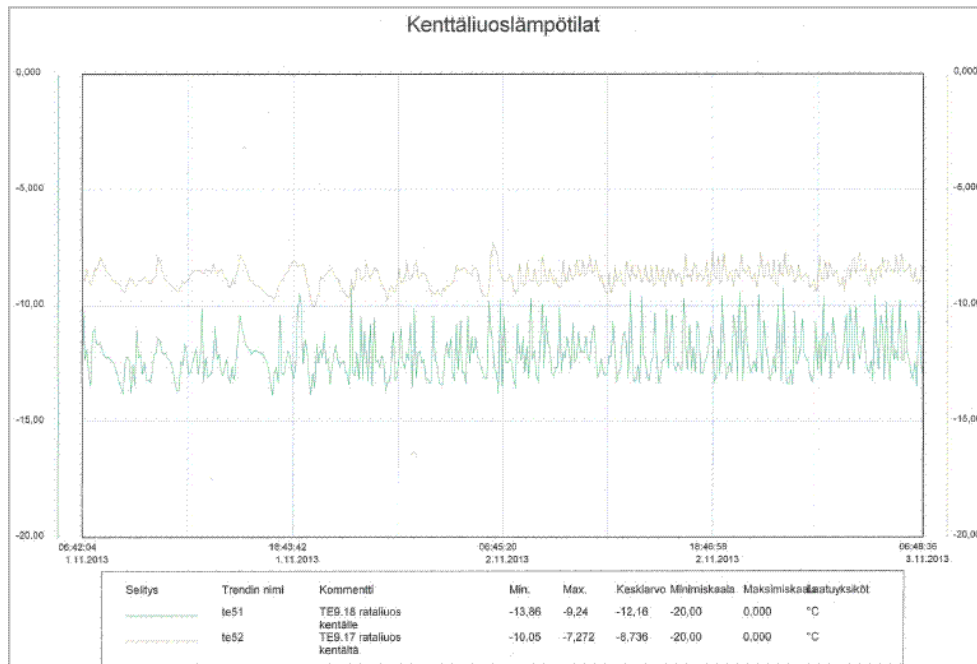


**KUVA 18. Rataliuoksen kenttäliuoslämpötilat marraskuu 2012**

### 5.2.5.2 Liuoslämpötilat nesteputki DN 100

Liuoslämpötilat saadaan suoraan jäähallin prosessin ohjelman lämpötilamittauksista. Trendikäyrästä voidaan suoraan lukea prosessin vakaampi toiminta sekä höyrystimen parantunut teho, jonka voidaan todeta parantaneen toisiopuolelle siirtyvän kylmän siirtymistä, toisin sanoen liuos on kylmempää keskimäärin n. - 0,5° C verran verrattuna edellisen vuoden paluuliuksen lämpötilojen lukemiin. Liuoslämpötilojen lukemia voidaan suoraan verrata edellisen vuoden saman kuukauden ajankohdan lukemiin. Paluuliuksen lämpötilojen muutoksia ja vaihtelut on havainnollistettu alla olevassa lämpötilamittauksessa, lämpötilamittauspisteiden lukemien tasaisuudesta voidaan päätellä prosessin toiminta käytön aikana.

Kuvan 19 prosessin ohjauksen lämpötilakäyrä mallintaa vuoden 2013 korjausmuutoksen jälkeen ratapiirin paluuliuksen lämpötilavaihtelua.



**KUVA 19. Ratapiirin kenttäliuoslämpötilat marraskuu 2013**

Laskelmilla ja mitoitusohjelman tuloksilla on pyritty mallintamaan muutoksia, jotka kuvaavat kylmäaineen kierron paranemista, jolloin lämpö siirtyy tehokkaammin pois jäädytettävästä liuoksesta (natriumsuolaliuos) ja höyrystää kylmäaineen (ammoniaki). Natriumsuolaliuoksesta pois siirtyvä lämpömäärä saadaan laskettua kaavalla 7.

$$Q = m * c_p * \Delta T \quad (7)$$

jossa

Q on lämpömäärä, kJ

m on massa, kg

$c_p$  on ominaislämpökapasiteetti, kJ/ kgK

$\Delta T$  on lämpötilaero, K

Esimerkiksi jäähallin ratapiirissä kiertää jäädytystehoa vastaava pumpun mitoitusvirtaama 35 l/s natriumsuolaliuosta, jonka tiheyden oletetaan olevan 1,20 kg/m<sup>3</sup> ja ominaislämpökapasiteetin 3,2 kJ/kgK sekä lämpötilan heinäkuun käynnistysvaiheen jälkeen 10 °C.

Kun liuos jäädytetään jäädytysvaiheen mitoituspisteessä 3 K saadaan laskettua tarvittava jäädytysteho kaavalla 8. /5, s. 205/:

$$\Phi = q_v * \rho * c_p * \Delta T \quad (8)$$

jossa

$\Phi$  on jäädytysteho, kW

$q_v$  on tilavuusvirta, l/s

$\rho$  on tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  on ominaislämpökapasiteetti, kJ/ kgK

$$\Phi = 0,035 \text{ l/s} * 1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 3,2 \text{ kJ/kgK} * 3 \text{ K} = 400 \text{ kW}$$

Lämpömäärä voidaan laskea kaavalla 9, kun kerrotaan edellisen laskun jäädytysteho ajalla. /5, s. 205/:

$$Q = \Phi * t \quad (9)$$

jossa

$\Phi$  on jäädytysteho, kW

$Q$  on lämpömäärä, MJ

$t$  on aika, s

Kun edellisen laskelman ratapiirin kiertävä suolaliuosmäärä 35 l/s pitää jäädyttää 14 tunnissa, saadaan laskettua esimerkin lämpömäärä. /5, s. 205/:

$$Q = 403200 \text{ W} * 14 * 3600\text{s} = 20 \text{ MJ} = 5,6 \text{ MWh}$$

Nesteputken mitoitusta ja tuloksia Coolback-, sekä DirCalc TM- suunnitteluohjelman laskelmat on esitetty tarkemmin liitteissä 3 ja 4.

### 5.3 Kompressoreiden ohjaustavan muutoksen vaikutus

Kompressoreiden käyntiaikaa seurattiin ensimmäisessä vaiheessa 2013 tammi- helmikuun vaihteessa, jolloin molemmat jäähallit olivat normaalikäytössä. Jaksoksi valittiin 20 päivän pituinen ajankohta, jonka aikana seurattiin kompressoreiden käyntiaikoja sekä niiden käyntiaikapainotusta. Seurantamittauksen alussa kompressoreiden trippimittarit nollattiin. Kuvassa 20 esitellään prosessin kompressoreiden käyttötuntimittarit.

Käyttötuntimittarit					
Kompressorit	Kokonaistunnit	Moottorin voitelu 4800 h	Kompressori Huolto tunnit	Trippi tunnit	
JK1	17554,7 h	17554,7 h	17554,7 h	37,9 h	
JK2	24533,5 h	24533,5 h	24533,5 h	6,6 h	
JK3	16352,1 h	16352,1 h	16352,1 h	21,5 h	
JK4	19303,2 h	19303,2 h	19303,2 h	10,5 h	

Kentälliuos Pumput			Jäähdytys		
Kokonaistunnit	Trippi		Kokonaistunnit	Trippi	
P9.1	45595,4 h	45595,4 h	P16.1	21619,1 h	21619,1 h
P10.1	22772,6 h	22772,6 h	P17.1	21608,5 h	21608,5 h
			NJ18	17041,3 h	17041,3 h
			NJ19	17035,0 h	17035,0 h

**KUVA 20. Prosessin kompressoreiden käyttötuntimittari tiedot**

Seurantajakson loputtua kompressoreiden käyntiaikaa verrattiin 20 päivän ympärivuorokautiseen ajoaikaan. Tuntimittareiden lukemat laskettiin ja käyntiaikaa verrattiin tarkasteltavaan ajankohtaan laskemalla prosentuaalinen käyttöaika seurantajakson aikana (20 päivää). Kompressoreiden käyntiaikaprosentti voidaan laskea kaavalla 10. /15, s. 71/:

$$JK_1 = \frac{t}{\Delta p_v} = \frac{93,4 \text{ h}}{480 \text{ h}} * 100 \% = 19,5 \% \quad (10)$$

$$JK_2 = \frac{t}{\Delta p_v} = \frac{422 \text{ h}}{480 \text{ h}} * 100 \% = 87,9 \%$$

$$JK_3 = \frac{t}{\Delta p_v} = \frac{39,5 \text{ h}}{480 \text{ h}} * 100 \% = 8,2 \%$$

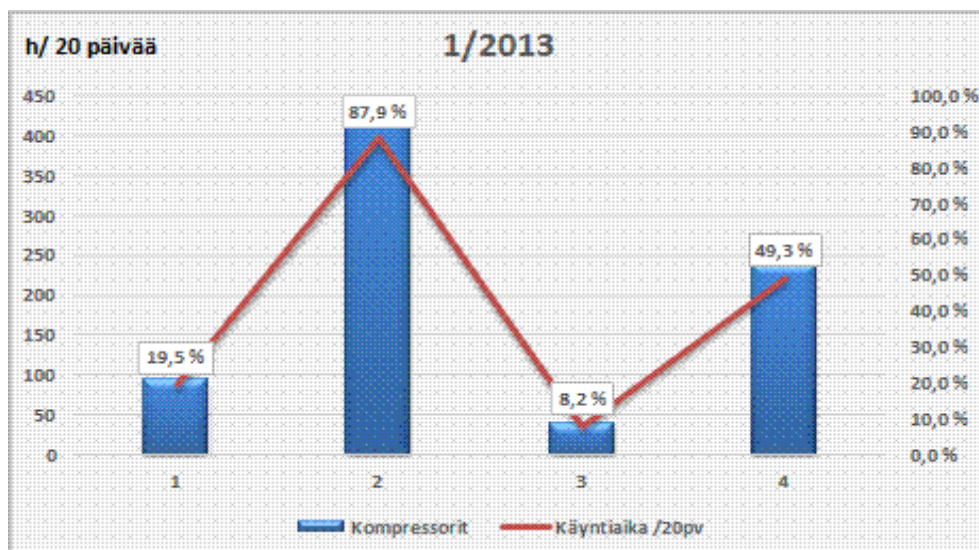
$$JK_4 = \frac{t}{\Delta p_v} = \frac{236,8 \text{ h}}{480 \text{ h}} * 100 \% = 49,3 \%$$

Alla olevassa kuvasta 21 nähdään prosessin kompressoreiden JK1- JK4 käyntiaikapainotukset 29.1- 17.2.2013 väliseltä ajanjaksolta.

Kompressoreiden käyntiaika 29.1 - 17.2.2013 (20 pv)		
Kompressorit	Käyntiaika/h	Käyntiprosentti
JK 1	93,4	19,5 %
JK 2	422	87,9 %
JK 3	39,5	8,2 %
JK 4	236,8	49,3 %

**KUVA 21. JK1- JK4 käyntiaikaprosentit**

Kuvassa 22 nähdään kompressoreiden käyntiaikapainotus 20 päivän jakso graafisesti ilmaistuna ennen ohjaustavan muutostyötä.



**KUVA 22. Kompressoreiden käyntiaikapainotus tammikuu 2013**

Marraskuun aikana suoritettu kompressoreiden ohjaustavan muutostyö ja käyntiaikapainotuksen korjaaminen näkyy muutoksena tasoittuneina kompressoreiden käyntiaikoina. Muutostyö tasaa kompressoreiden käyntiaikoja, jolloin kaikki koneet käyvät toimintakauden aikana suunnilleen yhtä paljon, lukuun ottamatta JK1, joka toimii kylmäprosessia ohjaavana kompressorina. Käyntiaikoja seurattiin 40 päivän jakson ajan ohjauksen ja logiikkaohjelman muutostyön jälkeen. Kompressoreiden käyntiaikaprosentti saadaan laskettua kaavalla 11. /15, s. 71/:

$$JK_1 = \frac{t}{\Delta p_v} = \frac{380 \text{ h}}{960 \text{ h}} * 100 \% = 40 \% \quad (11)$$

$$JK_1 = \frac{t}{\Delta p_v} = \frac{59 \text{ h}}{960 \text{ h}} * 100 \% = 6,1 \%$$

$$JK_3 = \frac{t}{\Delta p_v} = \frac{356 \text{ h}}{960 \text{ h}} * 100 \% = 37 \%$$

$$JK_4 = \frac{t}{\Delta p_v} = \frac{141 \text{ h}}{960 \text{ h}} * 100 \% = 14,7 \%$$

Alla olevassa kuvasta 23 nähdään prosessin kompressoreiden käyttötuntimittarit seurantajakson lopussa.

Käyttötuntimittarit				
Kompressorit	Kokonaistunnit	Moottorin voitelu 4800 h	Kompressorin Huolto tunnit	Trippi tunnit
JK1	18384,3 h	18384,3 h	18384,3 h	867,5 h
JK2	24592,5 h	24592,5 h	24592,5 h	65,6 h
JK3	16708,8 h	16708,8 h	16708,8 h	378,2 h
JK4	19444,4 h	19444,4 h	19444,4 h	151,7 h

Käyttöolosuhteet		Kokonaistunnit		Trippi	
Kenttäliuos	Pumput				
P9.1	46484,0 h	46484,0 h			
P10.1	23240,0 h	23240,0 h			

Jäähdytys		Kokonaistunnit		Trippi	
P16.1	22057,6 h	22057,6 h			
P17.1	22051,1 h	22051,1 h			
NJ18	17243,2 h	17243,2 h			
NJ19	17237,7 h	17237,7 h			

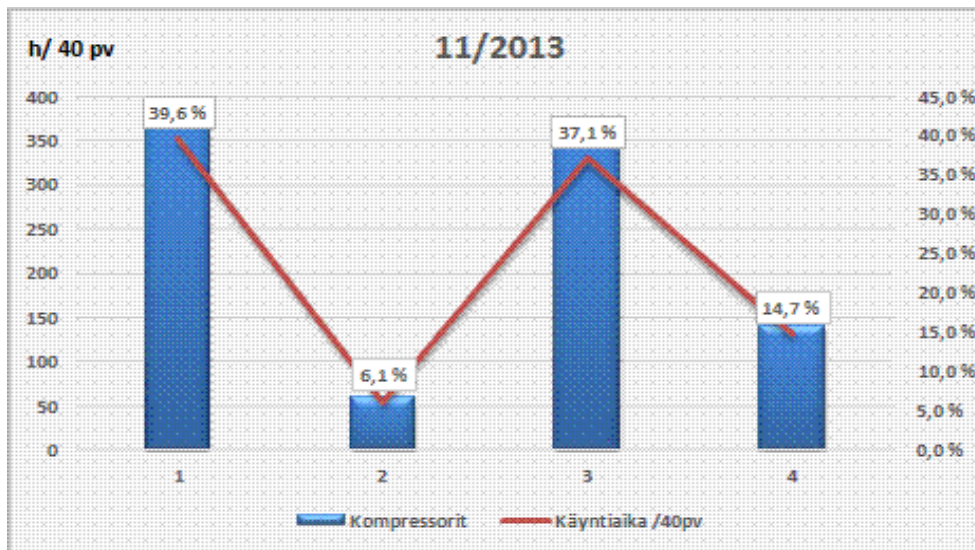
**KUVA 23. Prosessin kompressoreiden käyttötuntimittari tiedot 11/2013**

Alla olevassa kuvasta 24 nähdään prosessin kompressoreiden JK1 - JK4 käyntiaikapainotukset 5.11.13- 12.1.2014 väliseltä ajanjaksolta.

Kompressoreiden käyntiaika 5.11.13 - 12.1.2014 (40 pv)		
Kompressorit	Käyntiaika/h	Käyntiprosentti
JK 1	380	39,6 %
JK 2	59	6,1 %
JK 3	356	37,1 %
JK 4	141	14,7 %

**KUVA 24. JK1- JK4 uudet käyntiaikaprosentit**

Kuvassa 25 nähdään 40 päivän seurantajakso havainnollistettuna kompressoreiden käyntiaikojen painottuminen käyntiaikamuutoksen jälkeen.

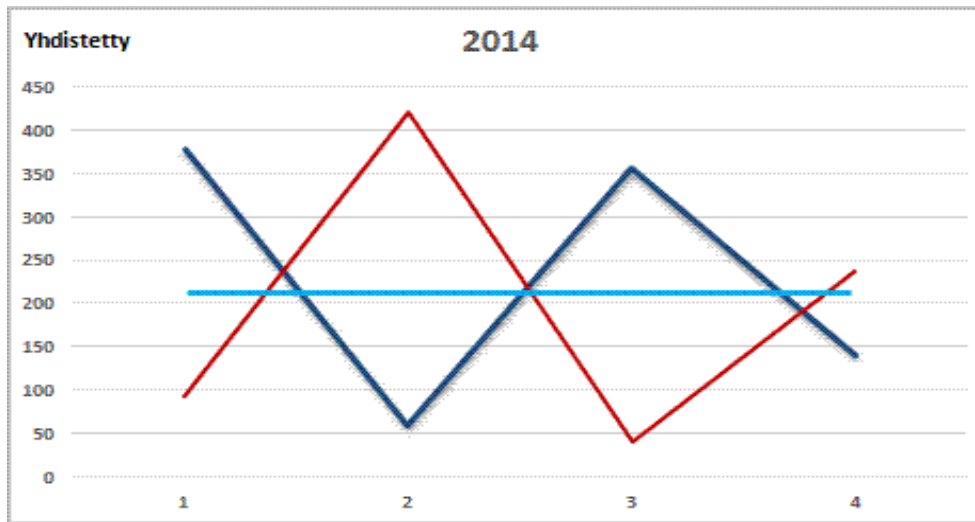


**KUVA 25. Kompressoreiden käyntiaikapainotus marraskuu 2013**

Kun seurantajaksot yhdistetään samaan taulukkoon, niin huomataan, että kompressoreiden ohjauksen muuttuessa JK1 pyörimisnopeussäädöllä järjestelmää säätäväksi kompressoriksi voidaan todeta, että ohjaustavan muutostyö on onnistunut.

Kuvassa 26 nähdään jäähallin kompressoreiden käyntijaksot, punaisella värillä tammi-kuun 2013 ja sinisellä värillä marraskuun 2013 seurantajaksot. Vaaleampi sininen väri kuvaa käyntiaikojen painotuksen tasoittumista vuodelle 2014.





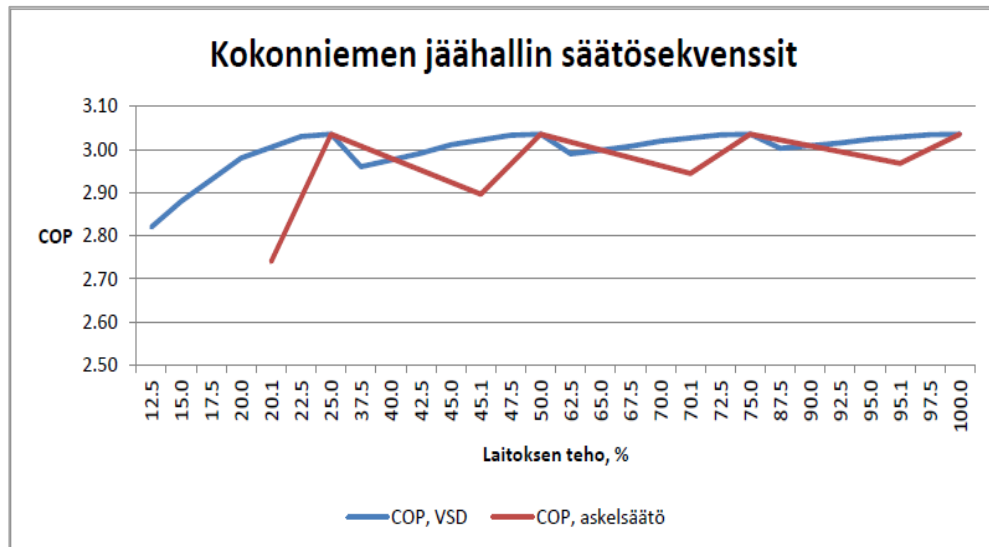
**Kuva 26. Jäähallin kompressoreiden JK 1-4 käyntiaikapainotukset**

Vastaavasti jäähallin prosessin valvomon logiikkaohjelman toiminnasta nähdään, että pyörimisnopeussäätökompressorin ohjautuessa 100 % käynnistyy seuraava vuorossa oleva kompressor heti 100 % teholle ja pyörimisnopeuskompressor säätyy oikein kuormitusta vastaavaksi vähentäen tehoa, kunnes uusi tasapainopiste on taas saavutettu.

Käyttöajanjakson jakaantuessa 9 kuukauden ajanjaksolle saadaan kompressoreiden ohjauksella, uudella pyörimisnopeussäädöllä sekä sähkömoottorin yhteisvaikutuksella parannettua muiden muutostöiden ohella olennaisesti prosessin toimintaa. Muutokset näkyvät myös prosessin kylmäkertoimen paranemisena sekä parantuneena energiatehokkuutena. Kompressorien uudet säätösekvenssit ohjelmoitiin marraskuun alussa heti kaikkien muutostöiden valmistuttua. /4./

Kuvassa 27 havainnollistetaan kompressoreiden ohjaustavan, pyörimisnopeussäädön ja sähkömoottorin muutostyön alkuvaiheen aikainen suunniteltu vaikutus kylmäkertoimen paranemisena tehon kasvun suhteen, on/off-säätöä sekä pyörimisnopeussäätöä vertaamalla. Vertailulla mallinnetaan koko laitoksen kylmätehoa eri säätöjen osalta. Punaisella oleva säätösekvenssi mallintaa kompressoreiden JK1 - JK4 portaittaista käynnistymistä. Sinisellä oleva säätösekvenssi mallintaa taajuusmuuttajan käyttöä pyörimisnopeussäädössä sekä pyörimisnopeuden muutoksen vaikutusta koko laitoksen COP arvon mukaiseen kylmäkertoimeen. Tarkastelu on tehty huomioimatta moottorihäviöitä. Kuvan 27 tulokset on toteutettu valmistajan ilmoittamien taulukoiden tehoar-

vojen mukaan, eli molemmat säätösekvenssit ovat suoraan vertailukelpoisia keskenään. /4./



**KUVA 27. Jäähallin kompressorikäytön on/ off ohjaustavan, pyörimisnopeussäädön ja sähkömoottorin muutostyön vertailu**

#### 5.4 Sähkömoottorin ja taajuusmuuttajan muutostyön vaikutukset

Askelsäädöllä 75 % käydessään Leroy Somer -sähkömoottori antaa kompressorille vain osatehon käyttöönsä. Kompressoreiden askelsäädön ohjaustapaa kutsutaan on/off-ohjaustavaksi. Ennen taajuusmuuttajan lisäystä sähkömoottoreiden tehot mitattiin vaihdettavan sähkömoottorin kuormitustehon selvittämiseksi. Kuormitusmittaus suoritettiin 75 % :n ja 100 % :n täyskuormituksella. Mittauksella havainnollistettiin sähkömoottorin verkosta ottamaa tehoa.

Kuormitusvirta I mitataan suoraan sähkökaapista sähkömoottorin syöttöjohdosta mitaamalla virtamittarilla. Kaavalla 12 saadaan laskettua laitteen Leroy Somer ottoteho.

/6/

$$P_{,75} = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi \quad (12)$$

jossa

$P_{,75}$  on laitteen ottoteho 75 %:n tehoalueella, kW

U on jännite, V

$I$  on virta, A

$\varphi$  on vaihesiirto, °

$$P (75\%) = \sqrt{3} * 400V * 62,5A * 0,88 = 38,1 \text{ kW}$$

$$P (100\%) = \sqrt{3} * 400V * 69,5A * 0,88 = 42,3 \text{ kW}$$

Vanhan sähkömoottorin tehoarvoja mallinnettiin mittaamalla energiamittarilla sähkömoottorin (Leroy Somer) eri vaiheiden teholumemat. Askelsäädön mittaus suoritettiin ennen taajuusmuuttajan ja sähkömoottorin vaihtoa Johnson Control Oy -mittalaitteella.

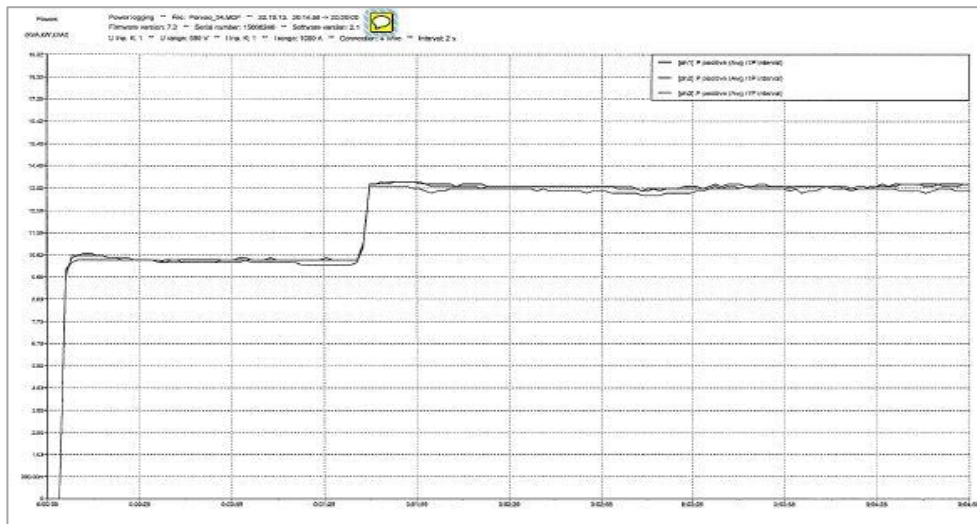
/7./

Kuvassa 27 nähdään mittauksessa käytetty energiamittalaite Metrel powerQPlus.



**KUVA 28. Energiamittari Metrel PowerQPlus**

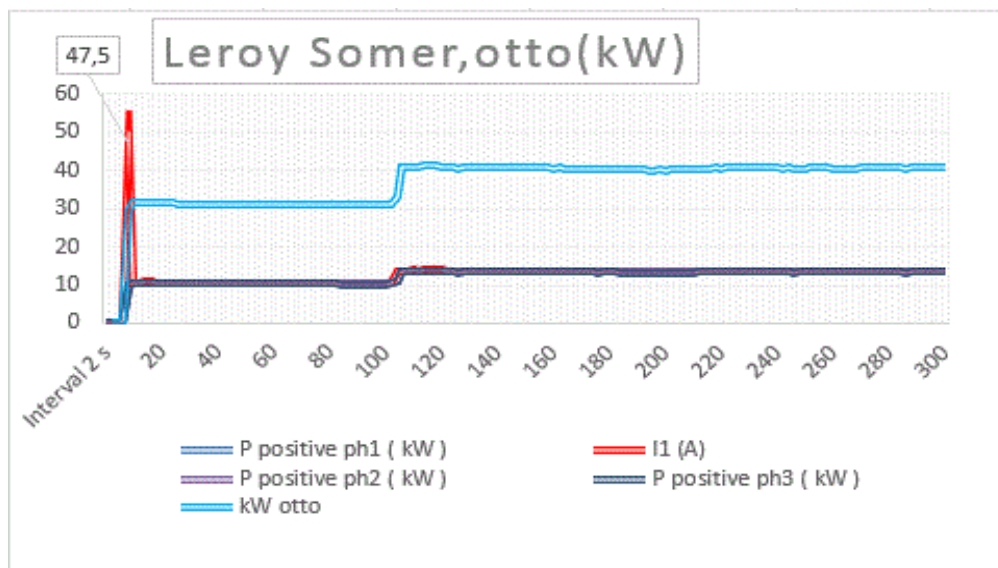
Saadut mittaustulokset tallennettiin mittalaitteen muistiin ja purettiin mittaauraportteiksi analysoitavaksi. Saatuja mittaustuloksia verrataan uuden pyörimisnopeussäädön sekä uuden sähkömoottorikäytön SynRM-mittaustuloksiin. Kuvassa 29 nähdään Leroy Somer -sähkömoottorin on/off-säädön mittaustrendi.



**KUVA 29. Leroy Somer on/off-säädön mittaustrendi**

Mittaus tehtiin on/off -säädön 75 %:n ja 100 %:n tehoalueilla. Mittauksesta nähdään, että 100 %:n tehoalueella ajettaessa saadaan parannettua sähkömoottorin sekä samalla kompressorin hyötysuhdetta.

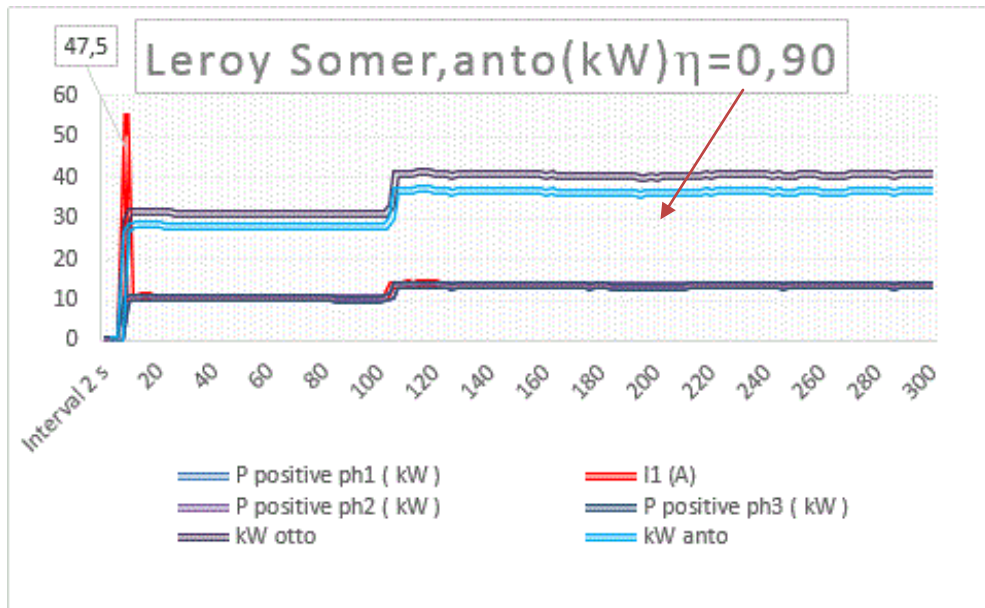
Hyötysuhteen ja maksimitehoalueen käyttö parantaa samalla laitteiston kylmäkerrointa. Samalla saadaan mallinnettua käynnistysvirran vaikutus verrattaessa sitä taajuusmuuttajakäyttöön. Kuvassa 30 nähdään on/off-säädön mittaustrendi ajettaessa 100 %:n tehoalueelle.



**KUVA 30. Leroy Somer mittaustulokset on/off-säädöllä**

Lisäämällä hyötysuhteen vaikutuksen sähkömoottorin Leroy Somer mittaustulokseen saadaan kompressorille menevä antoteho sekä laskettua, että havainnollistettua samalle tehokäyrälle. Sähkömoottorin Leroy Somer hyötysuhteen arvo 0,9 varmistettiin sähkömoottorin toimittajalta Johnson Controls Finland Oy. /6./

Alla olevassa kuvassa 31 nähdään käynnistysvirran ja hyötysuhteen vaikutus sähkömoottorin Leroy Somer mittaustulokseen.



**KUVA 31. Leroy Somer hyötysuhteen 0,90 vaikutus**

Kuvan 31 laitteen sähköenergian hinta saadaan laskettua huomioimalla sähkömoottorin Leroy Somer ottoteho. Kaavalla 13 saadaan laskettua laitteen sähköenergian hinta. Hintana käytetään 0,09 €/kWh. /6./

$$e = P_{Leroy\ Somer,otto} * t * \text{€} \quad (13)$$

Jossa

e on käytetyn sähköenergian hinta, h/vrk

$P_{otto}$  on laitteen ottoteho, kW

t on aika vuorokaudessa

€ on energian hinta, €/kWh

Mittaustuloksia Leroy Somer -sähkömoottorikäytöllä tarkemmin liitteessä 5.

Mikäli kaikki kolme sähkömoottoria käyvät yhtä aikaa jäädytyskaudella 20 h/vrk, voidaan yhden sähkömoottorin kuluttama sähköenergia kertoa kolmella.

Vertailumittauksena on/off-askelsäädölle saadaan laskettua taajuusmuuttajalle tuleva tehoarvo mitatun sähkötehon mukaan. Yksinkertaisemmin tämä toteutetaan ajamalla prosessin ohjelmalla taajuusmuuttaja käsiohjaukselle 100 %, joka vastaa pyörimisnopeussäädön kierroksia 3000 rpm.

Taajuusmuuttajan omista parametreista saadaan suoraan sähkötehon arvo. Akseliteho saadaan myös laskettua kertomalla sähköteho sähkömoottorin hyötysuhteella. Taajuusmuuttajan ja uuden sähkömoottorin antama teho saadaan samoin laskennallisesti kertomalla sähköteho yhteisellä hyötysuhteella.

Taajuusmuuttajan näyttöpaneelistä saadaan ajettua pyörimisnopeussäädölle 1200 rpm kierrokset manuaalisesti tai normaali toiminnon ollessa käytössä kauko-ohjauksella. Antotehon mallintamista varten ajettiin käsiajolla ohjauspaneelistä 1200 rpm kierrokset sekä luettiin SynRM-moottorille menevä sähkötehon arvo. Kaavalla 14 saadaan laskettua SynRM:n antoteho. /8./

$$P = P_s * \eta \quad (14)$$

jossa P on kompressorin akseliteho

P<sub>s</sub> taajuusmuuttajan ottama sähköteho

η on taajuusmuuttajan ja sähkömoottorin yhteinen hyötysuhde.

$$P = 18,60 * 0,93 = 17,3 \text{ kW}$$

Tämän jälkeen taajuusmuuttajalle ajettiin käsiajolla 3000 rpm kierrokset näyttöpaneelin ohjauksesta sekä luettiin vastaavasti taajuusmuuttajasta sähkötehon arvo. Kaavalla 15 saadaan laskettua SynRM-antoteho 3000 rpm kierroksilla. /8./

$$P = P_s * \eta = 41,92 * 0,93 = 39,0 \text{ kW} \quad (15)$$

Molemmilla laskelmilla saatiin senhetkistä pyörimisnopeutta vastaavan antotehon arvo. Taajuusmuuttajan parametreista saadaan mallinnettua kierrosnopeutta vastaavat

mittausarvot. Kuvassa 31 nähdään pyörimisnopeussäädön arvot, jotka vastaavat 1200 rpm kierrosnopeutta.

Index	Name	Value	Unit	Min	Max	Default
<b>1. Actual values</b>						
1	Motor speed used	1200.20	rpm	-30000.00	30000.00	
2	Motor speed estimated	1200.20	rpm	-30000.00	30000.00	
4	Encoder 1 speed filtered	0.00	rpm	-30000.00	30000.00	
5	Encoder 2 speed filtered	0.00	rpm	-30000.00	30000.00	
6	Output frequency	40.00	Hz	-500.00	500.00	
7	Motor current	91.38	A	0.00	30000.00	
10	Motor torque %	79.4	%	-1600.0	1600.0	
11	DC voltage	522.21	V	0.00	2000.00	
13	Output voltage	149	V	0	2000	
14	Output power	18.80	kW	-32768.00	32767.00	
18	Inverter GWh counter	0	GWh	0	65535	
19	Inverter MWh counter	4	MWh	0	1000	
20	Inverter kWh counter	678	kWh	0	1000	
24	Flux actual %	100	%	0	200	
29	Speed change rate	-2	rpm/s	-15000	15000	
30	Nominal torque scale	175.070	Nm	0.000	4000000.0	
31	Ambient temperature	18	°C	-32768	32767	

### KUVA 32. Pyörimisnopeussäädön asetusarvot 1200 rpm

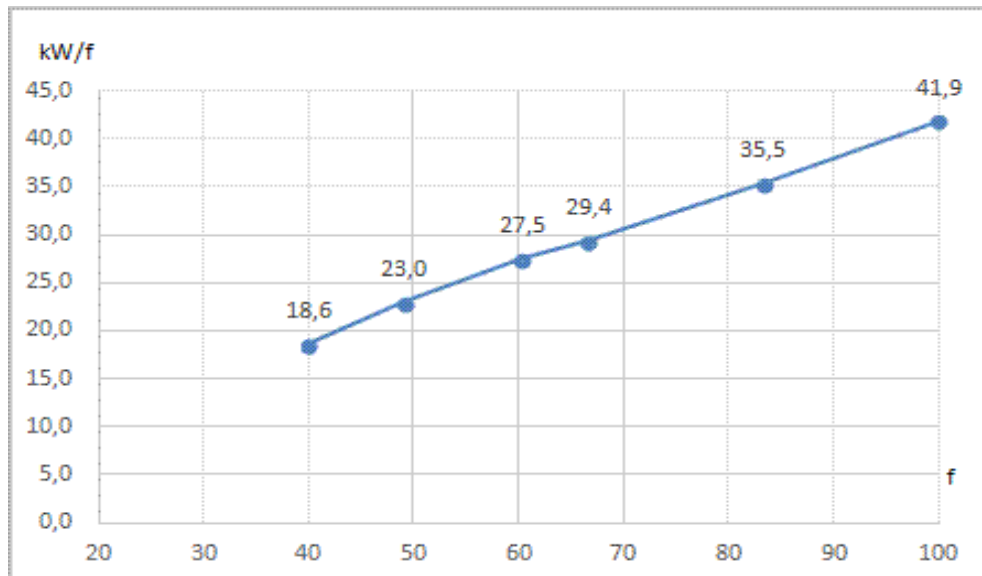
Pyörimisnopeussäädön maksimi kierrosnopeuden mallintamisella saadaan vastaavat arvot 3000 rpm kierroksilla. Kuvassa 33 nähdään kierrosnopeuden asetusarvot 3000 rpm kierrosnopeudella.

Index	Name	Value	Unit	Min	Max	Default
<b>1. Actual values</b>						
1	Motor speed used	2999.42	rpm	-30000.00	30000.00	0.00
2	Motor speed estimated	2999.43	rpm	-30000.00	30000.00	0.00
4	Encoder 1 speed filtered	0.00	rpm	-30000.00	30000.00	0.00
5	Encoder 2 speed filtered	0.00	rpm	-30000.00	30000.00	0.00
6	Output frequency	100.00	Hz	-500.00	500.00	0.00
7	Motor current	91.63	A	0.00	30000.00	0.00
10	Motor torque %	73.3	%	-1600.0	1600.0	0.0
11	DC voltage	516.45	V	0.00	2000.00	0.00
13	Output voltage	342	V	0	2000	0
14	Output power	41.92	kW	-32768.00	32767.00	0.00
18	Inverter GWh counter	0	GWh	0	65535	0
19	Inverter MWh counter	4	MWh	0	1000	0
20	Inverter kWh counter	679	kWh	0	1000	0
24	Flux actual %	92	%	0	200	0
29	Speed change rate	-4	rpm/s	-15000	15000	0
30	Nominal torque scale	175.070	Nm	0.000	4000000.0	0.000
31	Ambient temperature	18	°C	-32768	32767	0

### KUVA 33. Pyörimisnopeussäädön asetusarvot 3000 rpm

Pyörimisnopeussäädön kierrosnopeuden asetusarvoja muutettiin vastaamaan kierrosnopeuksia 1200, 1500, 1800, 2000, 2500 ja 3000 rpm kierrosnopeutta. Tehon muutosta mallinnettiin taajuuden suhteen.

Kuvassa 34 nähdään taajuusmuuttajan tehon muutos pyörimisnopeuden funktiona.



**KUVA 34. Pyörimisnopeussäädön tehon muutos**

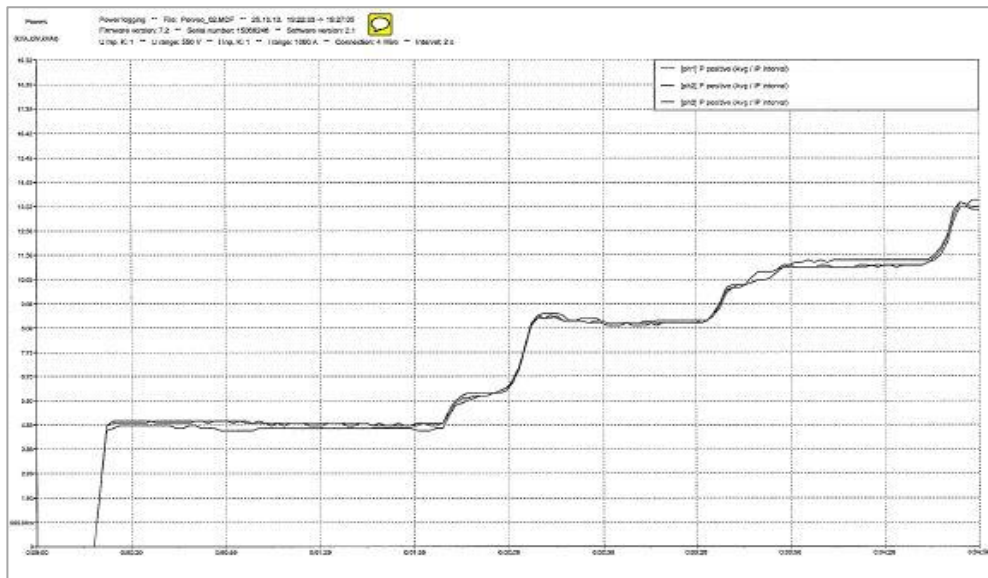
Verrattaessa askelsäätöä taajuusmuuttajakäyttöön tuli suorittaa vastaavanlainen mittaus muutostyön jälkeen kuin askelsäädöllekin. Mittalaitteena käytettiin samaa mittalaitetta kuin askelsäädössäkin (Metrell PowerQplus).

Mitatut tulokset tallennettiin mittalaitteen muistiin ja purettiin mittausraporteiksi analysoitavaksi. Saatuja mittaustuloksia saadaan verrattua askelsäädön mittaustuloksiin.

/7./

Kuvassa 35 nähdään pyörimisnopeussäädön ACS880 ja SynRM-sähkömoottorin mitaustrendi.





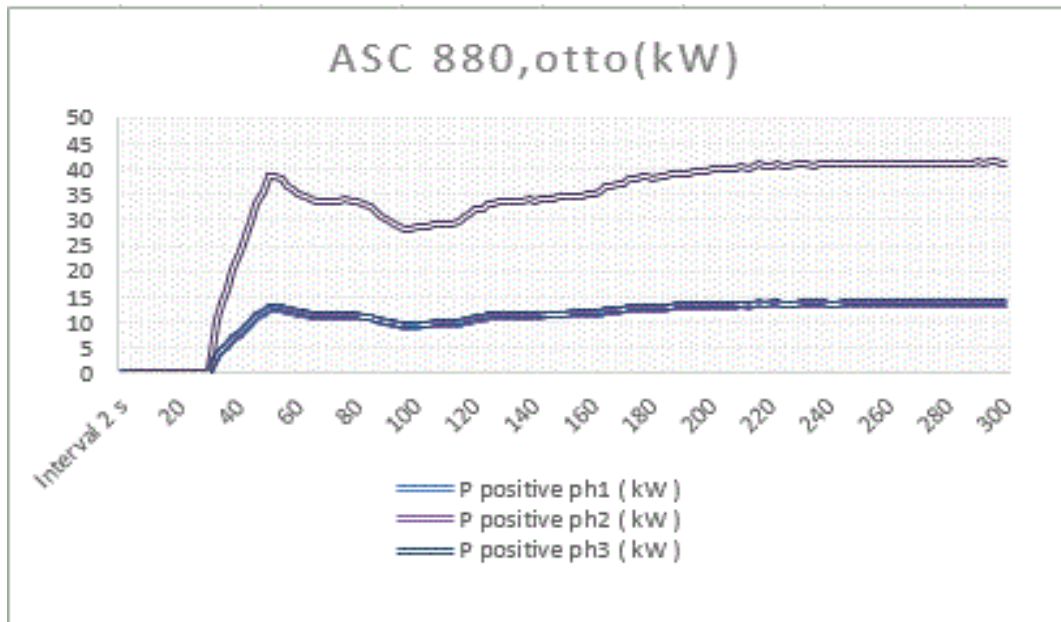
**KUVA 35. ACS880 + SynRM-mittaustrendi**

Mittaus suoritettiin prosessin ohjauksesta käyttäen samoja kierrosnopeuksia 1200, 1500, 1800, 2000, 2500 ja 3000 rpm kierrosnopeutta.

Mittauksesta nähdään pyörimisnopeussäädön hyödyt askelsäätöön verrattuna.

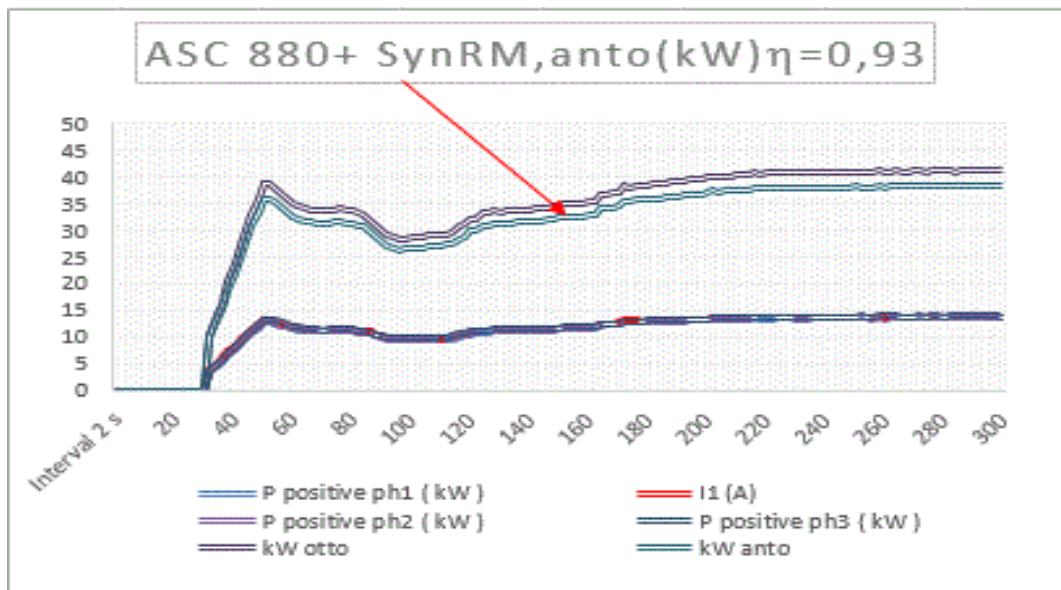
Teho muuttuu suoraan nopeuden funktiona taajuusmuuttajan yrittäessä minimoida virran käytön mahdollisimman minimiin. Hyötynä on myös taajuusmuuttajan ja SynRM-sähkömoottorin parempi hyötysuhde eri tehoalueilla.

Laajemman tehoalueen käyttö parantaa samalla laitteiston kylmäkerrointa osatehoilla. Samalla saadaan mallinnettua ohjaavan JK1 kompressorin toiminta osatehoilla toisen kompressorin käydessä maksimitehoilla. Kuvassa 36 nähdään pyörimisnopeussäädön toiminta eri osatehoilla.



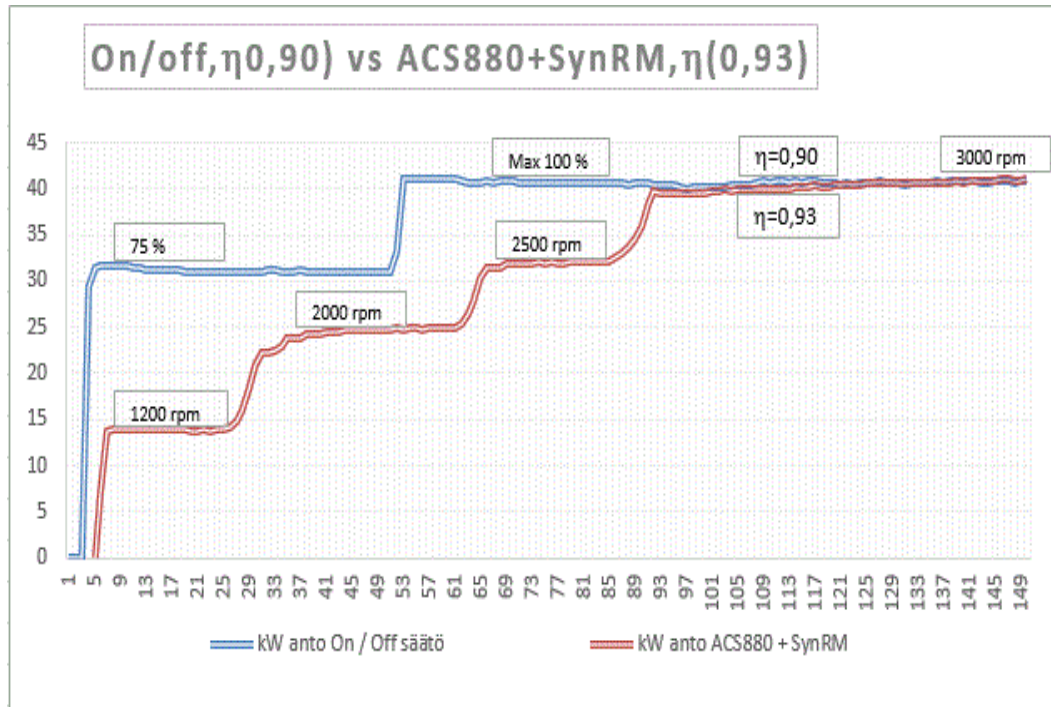
**KUVA 36. ACS880 + SynRM-mittaustrendi ottotehot eri tehoalueilla**

Kuvassa 37 nähdään taajuusmuuttajan virran käytön minimointi sekä taajuusmuuttajan ja SynRM-sähkömoottorin parempi hyötysuhde eri tehoalueilla.



**KUVA 37. Hyötysuhteen vaikutus ACS880 + SynRM**

Vertailtaessa on/off-säätöä ja pyörimisnopeussäätöä nähdään hyötysuhteen ja pyörimisnopeussäädön vaikutus moottorin ohjauskäytössä. Kuvassa 38 nähdään tarkemmin on/off-säädön ja pyörimisnopeussäädön tehonkäyttö sekä hyötysuhteen merkitys eri tehoalueilla.



Kuva 38. Säättötapojen sekä hyötysuhteen vaikutuksen vertailu

Kuvan 38 mittaustuloksilla havainnollistettiin on/off-säädön ja pyörimisnopeussäädön eron vaikutusta. Mittausten perusteella voidaan osoittaa, että trendikäyrien on/off ja ACS880 + SynRM välillä oleva alue osoittaa säästöön jäävän energian.

Pyörimisnopeussäätö säästää koko ajan energiaa käydessään osatehoilla on/off-toimintoon verrattuna. Ero kuitenkin tasoittuu molempien säätötapojen käydessä maksimierroksilla. Pyörimisnopeuden ja SynRM:n korkea hyötysuhde kasvattaa olennaisesti taajuusmuuttajan ja SynRM-moottorikäytön käytettävyyttä.

Molemmat vertailumittaukset suoritettiin vain yhden kompressorin käytöllä. Eli mittaukset olivat suoraan vertailukelpoisia tuloksiin nähden. Laskennallisesti voidaan todeta, että pyörimisnopeussäädön käydessä normaalitoiminnolla 1500 rpm/ yli 45 % ja 2000 rpm 50 % sekä 3000 rpm 5 % ajastaan vuorokaudessa, ja osoittaa tarvittaessa pyörimisnopeussäädön toimintapisteen sijainti likimain 1800 rpm alueelle. /7; 8./ Kaavalla 16 saadaan laskettua pyörimisnopeussäädön käyttö tunteina eri tehoalueilla vuorokaudessa. /15, s. 71/:

$$h/vrk_{1500rpm} = \left(\frac{24h}{100}\right) * 45 \% = 10,8 h, \text{ eli } 10,48 \frac{h}{vrk} \quad (16)$$

$$h/vrk_{,2000rpm} = \left(\frac{24h}{100}\right) * 50 \% = 12 h/vrk$$

$$h/vrk_{,3000rpm} = \left(\frac{24h}{100}\right) * 5 \% = 1,2 h, eli 1,12 h/vrk$$

Taulukossa 1 nähdään pyörimisnopeussäädön eri taajuuksia vastaavat arvot.

ACS880+ SynRM					
f	P/kW	rpm	I/A	V	VDC
100	41,9	3000	91,63	342	518,45
83,29	35,5	2500	88,12	308	521,73
66,62	29,4	2000	89,57	246	519,57
60,35	27,5	1800	91,41	223	524,59
49,06	23,0	1500	91,7	185	520,49
40	18,6	1200	91,38	148	522,21

**TAULUKKO 1. Pyörimisnopeussäädön ACS880+SynRM mittausarvot eri pyörimisnopeuksilla**

Taulukon 1 arvojen mukaan kaavalla 17 saadaan laskettua laitteen sähköenergian hinta eri pyörimisnopeuksilla. /8./

$$e = P_{,ACS + SynRM,otto} * t * € \quad (17)$$

jossa

e on käytetyn sähköenergian hinta, €/vrk

$P_{,ACS+SynRM}$  pyörimisnopeudensäädön ottoteho, kW

t on aika vuorokaudessa, h/vrk

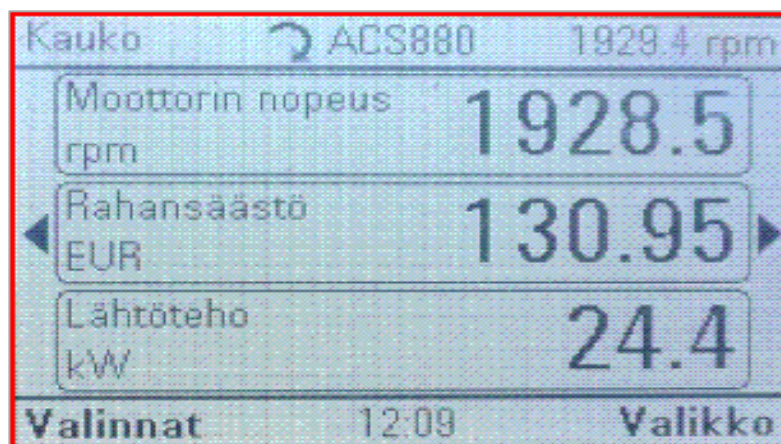
€ on energian hinta, €/kWh

Pyörimisnopeussäädön ja SynRM-moottorin kompressorikäytöllä kuluttama sähköenergian hinta vuorokaudessa esimerkiksi 1800 rpm toimintapisteen alueella on yhteenlaskettuna  $\approx 34,6$  €/vrk

Mittaukset ACS880 pyörimisnopeus ja sähkömoottorikäytöstä ovat tarkemmin liitteesä 5 ja 6.

Taajuusmuuttajan ja SynRM-sähkömoottorin tuomaa säästöä voidaan vertailla suunta-antavasti myös taajuusmuuttajan omalla energiansäästölaskurilla, jonka parametreihin syötetään aikaisemmin käytössä olleen sähkömoottorin Leroy Somer tehoarvo, joka tässä tapauksessa on 55 kW ja paikallinen sähkön hinta 0,09 €/kWh.

Taajuusmuuttajan säästölaskuri vertailee säästöön jäävän osuuden käytettyä tehoa nykyiseen vertailutehoon. Taajuusmuuttajan näytöltä voidaan tarvittaessa lukea säästynyt energiakustannus käyttöajalta. Kuvassa 40 nähdään taajuusmuuttajan näyttöön valitut mittaukset kuten energiansäästölaskuri. /8./

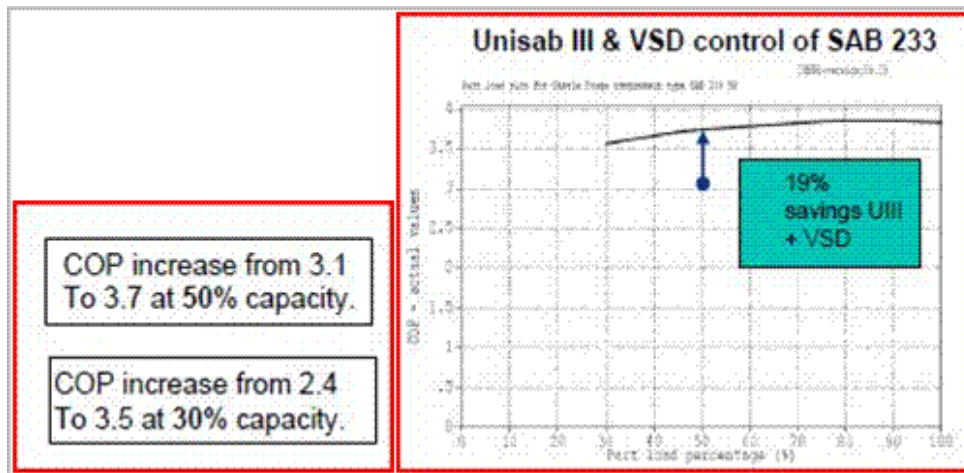


**Kuva 40. Taajuusmuuttajan näytön energialaskurin mittaukset**

Kokonaisuutena tarkasteltuna voidaan todeta, että yhtenä muutostyönä kompressorin JK1 ohjaustavan muutos, pyörimisnopeussäätö ACS880 sekä SynRM-sähkömoottori osoittautuivat toimivaksi vaihtoehdoksi etsittäessä tarvittavaa energian säästöä prosessin toimintaan.

Vertailuna voidaan mainita, että pyörimisnopeussäädön käytöllä on teollisuuspuolella saavutettu huomattaviakin säästöjä ruuvikompressorikäytöissä, joissa keskimääräinen sähköenergiesäästö on jopa 19 %.

Kuvassa 41 nähdään Johnson Controls Oy ilmoittama pyörimisnopeus säädön säästövaikutus erään ruuvikompressorimallin käytölle. /4./



**KUVA 41. Pyörimisnopeussäädön säästövaikutus ruuvikompressorikäytölle**

#### 5.4.1 Kylmäkerroin

Kompressorit kuluttavat jäähallin sähkölaitteista eniten energiaa, joten kylmäkertoimella on suuri merkitys energian säästöön. Prosessin kylmäkertoimia tarkastellessa on huomioitava kylmäprosessin faasimuutokset. Teoreettinen prosessin kylmäkerroin saadaan laskettua kaavalla 18. /2,s. 78/:

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_3} \quad (18)$$

$h_1$  on höyrystymisen loppulämpötila, C°

$h_4$  on höyrystymisen alkulämpötila, C°

$h_2$  on lauhtumisen alkulämpötila, C°

$h_3$  on lauhtumisen loppulämpötila, C°

Coolback -suunnitteluohjelmalla saadaan mallinnettua jäähallin prosessin kylmäkerroin annettujen suunnitteluarvojen mukaan. Ohjelman p, h- tilapiirroksen laskelmalla, jossa höyrystymislämpönä käytetään -15 °C, lauhtumislämpönä 43 °C, alijäähtymisessä 5K ja tulistumisessa 5K saadaan laskettua jäähallin kylmäprosessin tuloksia, kuten esim. kylmäkerroin.

Kuvassa 42 nähdään p, h- tilapiirroksen laskelmia.

Cycle info [One stage]. Refrigerant: R717

Select cycle number:  
 Jäähalli 2013 (1)

Delete cycle

Values:

Evaporating temperature [°C]:	-15,00	Condensing temperature [°C]:	43,00
Superheat [K]:	5,00	Subcooling [K]:	5,00
Dp evaporator [bar]:	0,00	Dp condenser [bar]:	0,00
Dp suction line [bar]:	0,00	Dp liquid line [bar]:	0,00
Dp discharge line [bar]:	0,00		
Isentropic efficiency [0-1]:	1,00		

Calculated:

Qe [kJ/kg]:	1078,477
Qc [kJ/kg]:	1382,497
COP:	3,55
W [kJ/kg]:	304,020
Pressure ratio [-]:	7,148

Dimensioning:

Qe [kW]:	430,000
Qc [kW]:	551,216
m [kg/s]:	0,39871039
V [m <sup>3</sup> /h]:	746,3193
W [kW]:	121,216
Q loss [kW]:	0,000

Volumetric efficiency

n\_vol: 1,00

Displacement [m<sup>3</sup>/h]: 746,3193

### KUVA 42. Coolback -suunnitteluohjelman tuloksia

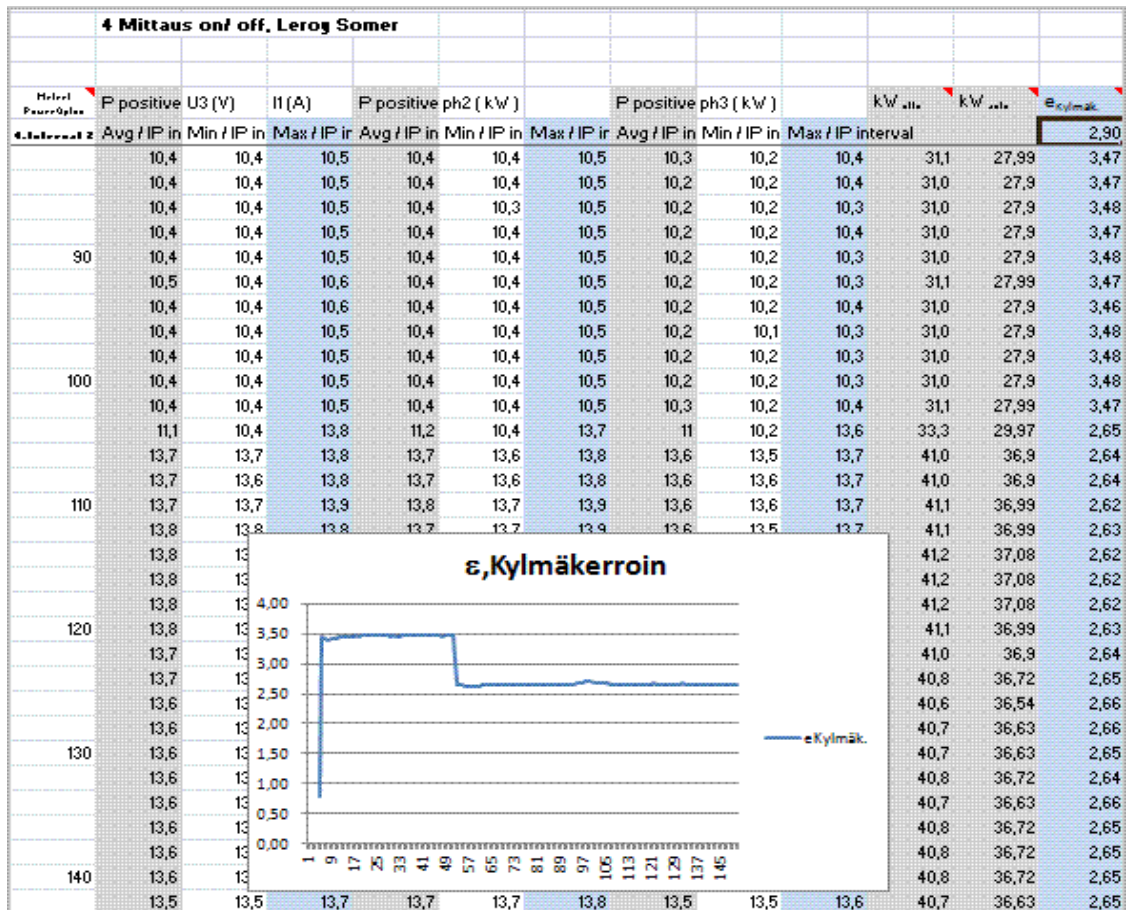
Ohjelmaan syötetyillä arvoilla saadaan prosessin kylmäkertoimeksi COP 3,55.

Kylmäkerroin saadaan laskettua myös, kun tiedetään prosessin kylmäteho. Alla olevalla kaavalla 19 saadaan kylmäkerroin jakamalla kylmäteho käyttöteholla. /4./

$$\varepsilon = \frac{\text{Kylmäteho}}{\text{Käyttöteho}} \quad (19)$$

Vertailemalla kylmätehoa kompressori- sähkömoottorikäytön Leroy Somer antamaan käyttötehoon, saadaan laskettua kylmäkerroin. Jäähallin kylmäteho saadaan jakamalla 121 kW hetkellisellä käyttöteholla kuvan 43 suoritettujen mittausten mukaan..

Kuvassa 43 nähdään käyttötehomittausten tuloksia ja kylmäkertoimen laskettuja arvoja vanhan sähkömoottorikäytön Leroy Somer käyttötehoilla.

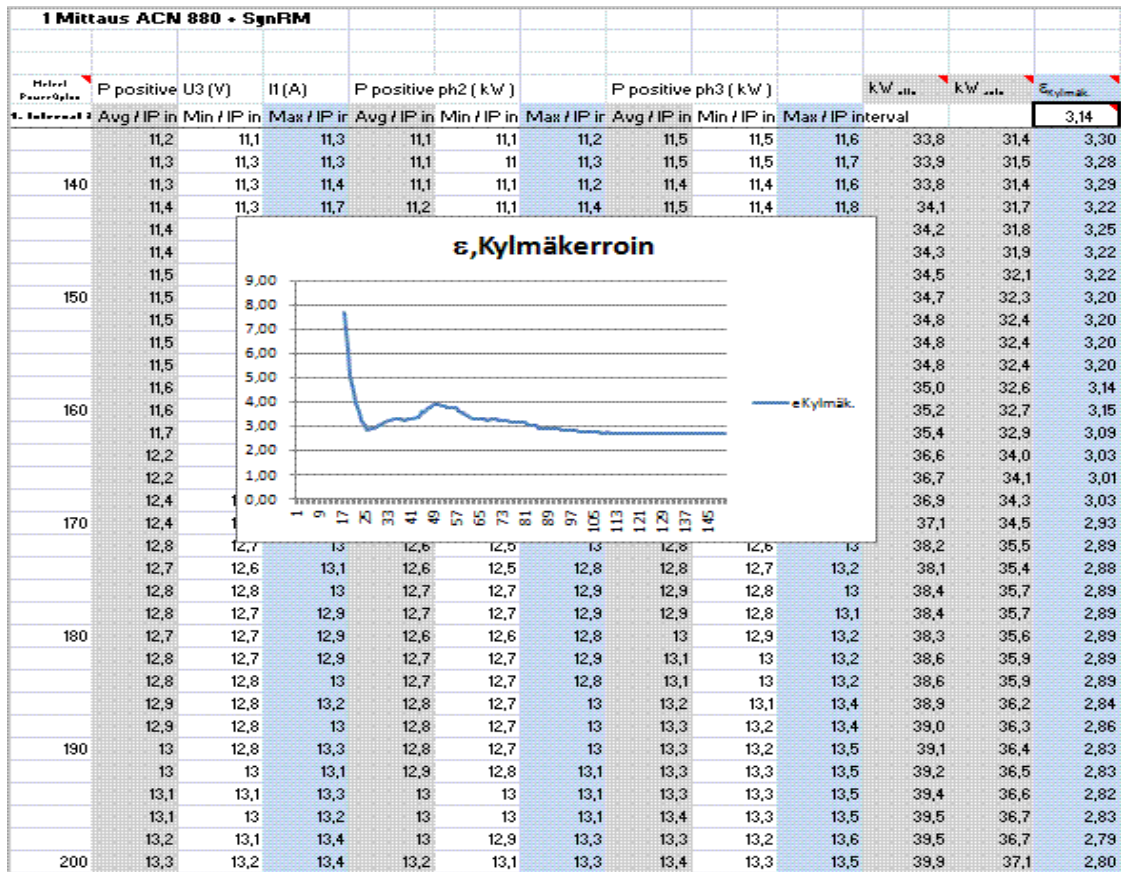


**KUVA 43. Käyttötehomittaukset ja kylmäkertoimet Leroy Somer –moottorilla**

Vanhan sähkömoottorin ollessa kiinni kompressorissa kylmäkertoimen keskiarvoksi saatiin COP 2,90.

Kuvassa 44 nähdään käyttötehomittauksien tuloksia ja kylmäkertoimen laskettuja arvoja uuden pyörimisnopeussäädön ja SynRM-käyttötehoilla.





#### KUVA 44. Käyttötehomittaukset ja kylmäkertoimet

Uuden pyörimisnopeussäädön ja SynRM-sähkömoottorin ollessa kiinni kylmäkompressorissa kylmäkertoimen keskiarvoksi mittauksessa saatiin COP 3,14.

Mittauksista nähtiin, että pyörimisnopeussäädön toimiessa osatehoilla kylmäkertoimen arvo kasvaa. Energiansäästö on sitä suurempi, mitä enemmän kylmäkertoimen arvo kasvaa. Jäähallin kylmäkertoimen voidaan mittauksen mukaan todeta parantuneen muutostöiden johdosta. Kylmäkertoimen selkeästi todettava paraneminen edellyttää kuitenkin pidempiaikaista seuranta.

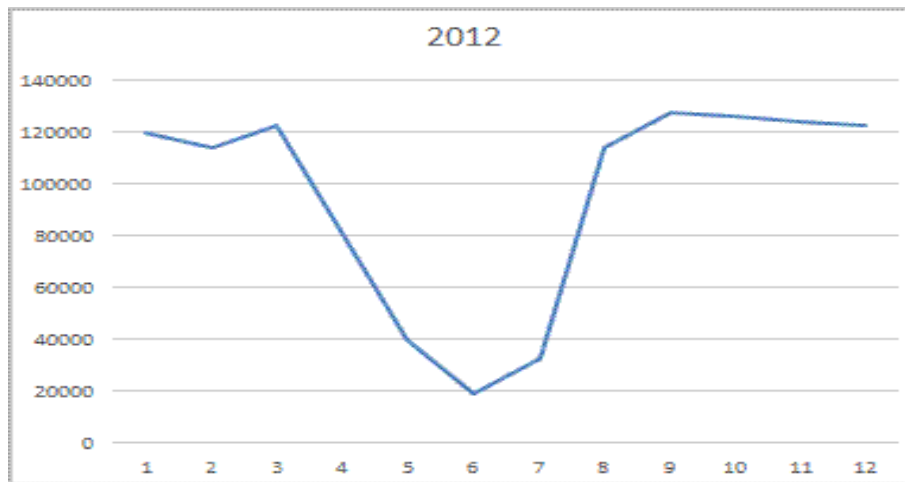
Jäähallin sähkömittaukset ja kylmäkertoimet nähdään tarkemmin liitteissä 5 ja 6.

### 5.4.2 Energiansäästö

Energialaitokselta saadun viimeisimmän sähkönkäytönraportin mukaan marras- joulukuun 2013 aikana kylmäprosessin säästämä sähköenergian kulutus oli vertailuvuoteen 2012 verrattuna keskiarvokulutukseltaan oikeasuuntainen.

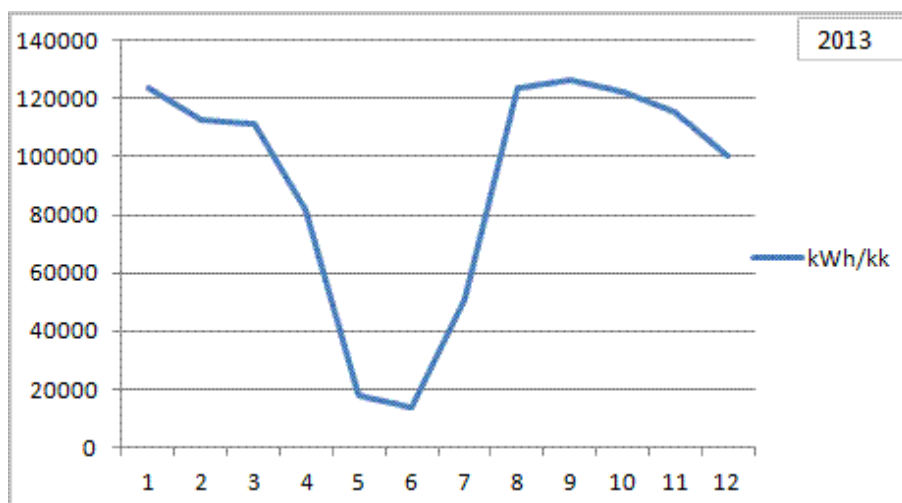
Jäähallin vuoden 2012 sähköenergiankäytön raportti on liitteessä 7.

Kuvassa 45 nähdään sähkönkäytön mittaustrendi 2012.



**KUVA 45. Sähkönkäytön trendimittaus 2012**

Kuvassa 46 nähdään sähkönkäytön mittaustrendi 2013.



**KUVA 46. Sähkönkäytön trendimittaus 2013**

Jäähallin sähkönkäytön kuukausittaisesta tarkemmasta vertailusta nähdään, että vuoden 2013 marraskuun puolenvälin jälkeen tehdyt viimeiset pyörimisnopeuden säädöt, sekä korjausmuutokset kompressoreiden ohjaukseen ja valvomo-ohjelman logiikkaan näkyvät sähkönkulutuksen laskuna.

Marraskuun ja joulukuun mittauslukemat sähkönkulutuksessa näyttävät selkeää laskusuuntaa sähköenergian kulutukselle vertailuvuoteen 2012 vertailtuna.

Jäähallin vuoden 2013 sähköenergiankäytön raportti on liitteessä 7.

## **6 KUSTANNUKSET, KANNATTAVUUS JA TAKAISINMAKSUAIKA**

### **6.1 Hankintahinta**

Hankintahinta koostuu seuraavista kokonaisuuksista

- pääkomponentit (taajuusmuuttaja, sähkömoottori)
- putkistovarusteet (putket, putkiosat, venttiili)
- asennustarvikkeet (sähkö, prosessi)
- sähköistys (muutoskuvat, johdotukset)
- suunnittelu (sähkö, prosessi)
- työn osuus
- eristäminen
- viranomaistarkastukset.

Jäähalliin hankittu putkiston, pyörimisnopeussäädön ja sähkömoottorin muutostyö maksoi kaikkiaan ilman hitsauksen aiheuttamaa kustannusta 18500 € alv 0 %. Hitsaus-työn lisäosuus oli muutostyölle 9000 €. Muutostyön kokonaishinnaksi tuli 27500 € alv 0 %.

Muutostyön laitteiden erittely nähdään liitteessä 2.

## 6.2 Käyttökustannukset

Kylmäprosessin käyttökustannukset koostuvat sähkön kulutuksesta sekä normaaleista ylläpidollisista johtuvista kustannuksista. Uuden taajuusmuuttajan ja SynRM-sähkömoottorin ottoteho on 55 kW. Jäähallin voidaan olettaa toimivan vuoden aikana likimain 9 kuukauden ajan kahdessa vuorossa. Tehontarpeen voidaan sanoa olevan suurimmillaan elo-marraskuussa sekä maalisi- ja huhtikuussa.

Termisen talvikauden aikana uuden taajuusmuuttajan, SynRM-sähkömoottorin sekä kompressoreiden tehon tarve luonnollisestikin vähenee. Poikkeuksena ovat suuremmat turnaukset ja ottelut, joiden aikana tehontarve kasvaa.

Kompressorin oletetaan tässä laskelmassa käyvän 14 h vuorokaudessa, joten vuodessa laitekokoonpanolle tulee käyttötunteja yhteensä  $\approx 3725$  h. Vuotuinen sähkönkulutus uudella pyörimisnopeussäädöllä ja sähkömoottorilla on 102,4 MWh. Sähkön hinta on 90 €/MWh, mikä sisältää sähköenergian, siirtomaksun ja verot. Sähkönkulutuksen hinnaksi muodostuu 9200 €/vuosi. Uudelle pyörimisnopeussäädölle ja sähkömoottorille ei huomioida vuotuisia käyttökuluja. Laitteet on yhdistetty kompressorin huolto-ohjelmaan, kompressorin JK huoltoväli on 50000 h.

Oikosulkumoottori käytön Leroy Somer ja pyörimisnopeussäädön käytön ACS880 ja SynRM-sähköenergiakäytön kustannuslaskelmat ovat liitteessä 12.

Jäähallin vuoden 2012 koko sähköenergian kulutus oli 1140 MWh. Sähkön hintana käytetään 90 €/MWh, joka sisältää sähköenergian, siirtomaksun ja veron. Sähköenergian hinnaksi muodostui 10300 €. Vuoden 2013 vastaavat lukemat olivat sähköenergiankulutuksen osalta 1100 MWh ja 99000 €.

## 6.3 Kannattavuus ja takaisinmaksuaika

### 6.3.1 Vuotuinen säästö

Uusien muutoskorjausten putkistomuutos, pyörimisnopeussäätö, sähkömoottorin sekä kompressoreiden ohjauksen muutoksen oletetaan jo nyt näkyvän sähköenergian kulu-

tuksessa. Vuositasolla laskettuna säästö jäi  $\approx 4000$  €. Todellinen säästövaikutus saadaan kuitenkin vertailemalla kuukausikulutusta muutostyön jälkeiseen aikaan.

Jäähallin vuoden 2012 marras- joulukuun keskiarvokulutus oli 123 MWh ja vastaavasti vuoden 2013 marras- joulukuun keskiarvokulutus oli 107,7 MWh. Sähköenergian säästökseen saadaan  $(123 - 107,7) \text{ kWh} = 15,6 \text{ MWh}$ .

Rahaksi muutettuna säästö tarkoittaa sähköenergianhinnalla 90 €/MWh laskettuna  $\approx 1410$  € :n säästöä kahden kuukauden ajalta. Summa vastaa 14,5 % :n säästövaikutusta prosessin käytön aikana.

Kuukausivertailu lopputyön valmistumisen jälkeen osoittaa, että marras- joulukuu 2012 ja saman ajankohdan 2013 kuukausien vertailussa sähköenergian lasku on 14,5 % pienempi kuin vuoden 2013 marras- joulukuun aikana.

Sähkön säästövaikutus muutostyön jälkeen on n. 705 €/kk. Oletettu kokonaissäästö vuodelle 2014 saadaan käytönajasta riippuen n. 7000 €.

Jäähallin käyttöaikoina jolloin tehontarpeen voidaan sanoa olevan suurimmillaan, kuten elo- marraskuussa sekä maaliskuu- ja huhtikuussa eli ajankohtana, jolloin kompresso- reiden sähköenergian kulutus on suurimmillaan ja siitä saatava energiansäästö varmas- tikin suurempi. Pitkäaikaisella seurannalla päästään kuitenkin tarkempaan tulokseen vuosittaisessa sähköenergian kulutuksen seurannassa. Keskimääräisenä säästönä voi- daan kuitenkin käyttää, vähintäänkin 14,5 % ennustetta tarkastellessa vuoden 2014 kuukausittaisessa sähköenergiesäästöissä.

### 6.3.2 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajaksi voidaan katsoa se aika, joka kuluu, kunnes investoinnista saatu tuloutus on yhtä suuri kuin investoinnista aiheutuvat menot. Yksinkertaisimmillaan takaisinmaksuaika saadaan laskettua jakamalla hankintahinta saatavalla vuositulolla. Korkoa ei tällöin tarvitse välttämättä ottaa laskennassa huomioon. Ilman korkoa ni- mellisesti laskettaessa voidaan laskea kaavalla 20. /13, s. 178/:

$$H = \frac{T}{q} \tag{20}$$

jossa

- $H$  investoinnin takaisinmaksuaika, a
- $T$  investoinnin hinta, €
- $q$  vuosittainen tulo, €

Mikäli korko otetaan huomioon ja vuosittaisen tulon oletetaan laskennassa olevan vakio, niin takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 21. /13, s. 178/:

$$H = \frac{-\ln\left(\frac{1}{i} - \frac{T}{q}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)} \quad (21)$$

jossa

- $H$  investoinnin takaisinmaksuaika, a
- $T$  investoinnin hinta, €
- $q$  vuosittainen tulo, €
- $i$  laskentakorkokanta, %/100

Menetelmä ei ota huomioon sitä, mitä tapahtuu takaisinmaksuajan jälkeen. Takaisinmaksuajan menetelmä on käyttökelpoinen vain silloin, kun investoinnista saatavaa tuloa ja epävarmuutta joudutaan arvioimaan. Kylmäprosessin vuotuisen sähköenergiansäästön ollessa 7000 € saadaan prosessin nettomääräiseksi tuloksi laskettua 7000 €. Muutostyöhön käytetyn summan ollessa 27500 € saadaan laskettua investoinnin takaisinmaksuajaksi ilman korkoa 3,93 vuotta.

Laskentakoron käyttö:

Laskennassa käytetään korkoa 4 % ja sijoitetaan saatava tulo, laskentakorko ja hankintahinta takaisinmaksuajan kaavaan 22. /13, s. 178/:

$$H = \frac{-\ln\left(\frac{1}{0,04} - \frac{27500\text{€}}{7000\text{€}}\right) - \ln(0,04)}{\ln(1+0,04)} \quad (22)$$

Takaisinmaksuajaksi saadaan 4,4 vuotta.

Laskelmissa ei otettu huomioon tulevia kylmäprosessin korjaustarpeita, joita käyttöään myötä tulee normaalien ylläpidollisten töiden lisäksi varmasti eteen.

Takaisinmaksuajan ja korkomuutoksen laskelmat ovat liitteessä 13 ja 14.

## 7 YHTEENVETO

Jäähallin kylmäprosessiin tutustuminen oli työn alusta alkaen mielenkiintoista ja haastavaa. Muutostyökohteeseen tarkemmin tutustuessa tuli esiin aikaisempien vuosien korjaukset ja muutokset sekä viimeisimmät toiminnan oletetut ongelmakohdat. Prosessiin tutustuminen oli jaettava osiin, tutustuttava prosessin eri piirien toimintaan teknisiä käyttöohjeita tutkimalla, suoritettava haastatteluja sekä käytävä keskusteluja kokeneempien suunnittelijoiden ja huoltoinsinöörien kanssa eri toiminnoista. Työni toteuttamiseen sain mittalaiteapua ja materiaalia yhteistyökumppaneiltani sekä esiin tulleisiin lukuisiin kysymyksiin asiantuntevaa neuvontaa ja opastusta.

Aikataulullisesti oli alusta alkaen selvää, että työkohte täytyy rajata tiettyyn piiriin prosessissa. Rajasin lauhdepiirin pois opinnäytetyöni osalta, vaikka mitoituksessa joutuukin lauhdepiirin suureet ja toiminnan pääpiirteittäin huomioimaan. Työn laajuuden ja minulle osittain uuden osa-alueen kannalta työn rajaaminen muutoskohteeseen suoranaisesti liittyviin osiin ja komponentteihin oli välttämätöntä.

Työkohteeseen perehtyminen edellyttää sujuvaa yhteistyötä valmistajien, toimittajien, hallin henkilökunnan ja tietenkin osin myös hallin asiakkaiden kanssa, jotta tarvittavat hankinnat, muutokset ja korjaukset saadaan tehtyä joustavasti aikataulujen mukaan. Ensiarvoisen tärkeää on työn kaikkien eri vaiheiden dokumentointi, johon aikataulujen ja töiden sovittaminen asetti ajoittain haasteita. Päivätyöstä kuitenkin selvittiin hyvällä yhteistyöllä hallin oman ammattitaitoisen henkilökunnan avustuksella. Keskusteluissa käyttäjähenkilökunnan kanssa on tullut esiin tehtyjen muutostöiden hyötyjä, joista tärkeimpänä voidaan mainita ylimääräisten häiriöiden poistuminen hallin käyttäjäkuormituksen lisääntyessä ja jäädytysvaiheen jään muodostaminen.

Otteluihin ja turnauksiin oli aikaisemmin varauduttava lisäämällä kompressoreiden tehontarvetta, niin että jää pysyi tasalaatuisena otteluiden ajan ja henkilökunnan aika sitoutui prosessin toiminnan ylläpitoon muiden avustavien töiden jäädessä vähemmälle. Jäädytysvaihe ajoittuu ajankohtaan heinä-elokuun  $\geq +30$  °C:n lämpimiin keleihin, jolloin jään muodostaminen on energiasäästöavoitteisiin nähden ollut varsin hankalaa. Tehontarvetta ajatellen pienikin energiansäästö on pitkällä aikavälillä huomattava vähennys kasvaviin vuosittaisiin energiakustannuksiin. Palkitsevaa on myös oman työssä jatkuva kehittäminen ja parantaminen mikä lisää henkilökunnan motivaatiota sekä työviihtyvyyttä.

Mielestäni insinööriyöni tuloksena saatiin teknisesti ja taloudellisesti toimiva kylmäprosessi, joka koostui neljästä eri osa-alueesta. Nesteputkimuutos, energiataloudellinen pyörimisnopeussäätö, uuden sukupolven sähkömoottori sekä prosessin logiikkaohjelmaan tehdyt muutokset mahdollistavat käyttövarmemman kylmäprosessin ja jo lyhyellä aikavälillä nähtävän 14,5 % sähköenergian säästön. Muutostyö maksaa itsensä takaisin noin 4,3 vuodessa. Insinööriyöni täydellinen onnistuminen edellyttää kuitenkin vuosittaista energiansäästöä pidemmällä aikavälillä ja kustannusten pidempiaikaista seuranta.



## LÄHTEET

1. Jäähallien kylmäkoneistojen teknillisistä ratkaisuista, Järvenpäässä, 2003-11-29  
Insinööritoimisto KRYO Oy
2. Aittomäki Antero, Kylmätekniikka. 3. painos. Jyväskylä, Gummerus kirjapaino Oy 2008
3. Hyvärinen Jukka, projektipäällikkö, Johnson Controls Oy, keskustelut 20.6-30.12.2013
4. Hirvelä Aulis, projektipäällikkö, Johnson Controls Oy, keskustelut 20.6-30.12.2013
5. Pertti Hakala & Esko Kaappola, Kylmälaitoksen suunnittelu. 1. painos. Gummerus kirjapaino Oy, 2005
6. Hannula Sami, sähkösuunnittelija, Johnson Controls Oy, keskustelut 19.12.2013
7. Toivonen Toni, huoltomies, Johnson Controls Oy, keskustelut 30.9- 2.10.2013
8. Ventola Lasse, myynti- ja markkinointi päällikkö, ABB Oy, keskustelut 30.9-30.12.13
9. <http://www.abb.fi>. Päivitetty 10.12.2013. Luettu 10.12.2013.
10. <http://www.ilmatieteenlaitos.fi>. Päivitetty 15.1.2014. Luettu 15.1.2014.
11. <http://www.lut.fi>, 5.3.2 Carnot hyötysuhde
12. Erähalme Ari, Inspecta Oy, insinööri, keskustelut 30.9- 2.12.2013
13. Gustav Lorentzen, Kesko, 656/Alestalo/aa/ Kavitaatio-ongelma kylmälaitosten nestepumpuissa, 18.01.1985
14. M.Laaksonen, Talousmatematiikan perusteet, orms.1030, Vaasan Yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Matematiikan tieteiden laitos, 11.11.2013
15. Pia Kyllönen, Pekka Laaksonen & Merja Mäenpää, Tekniikan laskutaito. 4. painos. Sanoma Pro Oy, 2013
16. <http://www.scanoffice.fi/se/infovarmepumpar/>. Päivitetty 20.1.2014. Luettu 20.1.2014.
17. <http://www.alfalaval.com/solution-finder/products/>. Päivitetty 20.1.2014. Luettu 20.1.2014.

## Painelaitteen korjaussuunnitelma

Johnson Controls Finland Oy  
22.5.2019  
korjaussuunnitelma.docx



Inti/Inti2  
Tähti/Vite

Inspecta Tarkastus  
A Erähalme  
Santnerikuja 3  
00441 Helsinki

## Painelaitteen korjaussuunnitelma

**Paikka:** Kokkonniemen jäähalli, Jääkiekkotie 1, 06100 Porvoo  
**Painelaite:** Pisaranerotinsäiliö, 1,4 m<sup>3</sup>  
**Rekisterinumero:** A-92091  
**Vakmistusnumero:** 20142  
**Sisältö:** ammoniakki

Pisaranerotinsäiliön alapuolella sijaitseva pystysuuntainen ammoniakkinesteputki ja sulkuventtiili vaihdetaan DN40 koosta DN100:aan. Putki yhdistetään höyrysiimeen kytkettyyn vaakaputkeen.

Putken reikä säiliön vaipassa suurennetaan 50 mm:n halkaisijasta n. 118 mm:n halkaisijaksi.

Uusi putki asennetaan reikään siten, että putken ulkoreuna on n. 30 mm säiliön vaipan sisäpinnan yläpuolella. Hitsausmenetelmänä on puikkohitsaus. (WPS no 604 Helsingin Painesäiliö Oy). Putken materiaali on esim. P235GH. Putkeen asennetaan myös sulkuventtiili. Sulkuventtiilin ja putken liitos hitsataan tig-menetelmällä (WPS no 420 Helsingin Painesäiliö Oy). Muu putkisto JCF:n A1 moduulin mukaan.

Putken ja säiliön välinen pienahitsi tarkastetaan MT:llä. Muut liitokset ovat pääasiassa päittäisliitoksia, joissa NDT:nä RT 5%.

Postiosoite/Postal address  
Hämeentie 10  
00030 Helsinki  
Finland

Pankkiyhteys/Bank account  
Oy: Johnson Controls  
FIN344224631150041  
BIC: JCBFIN33

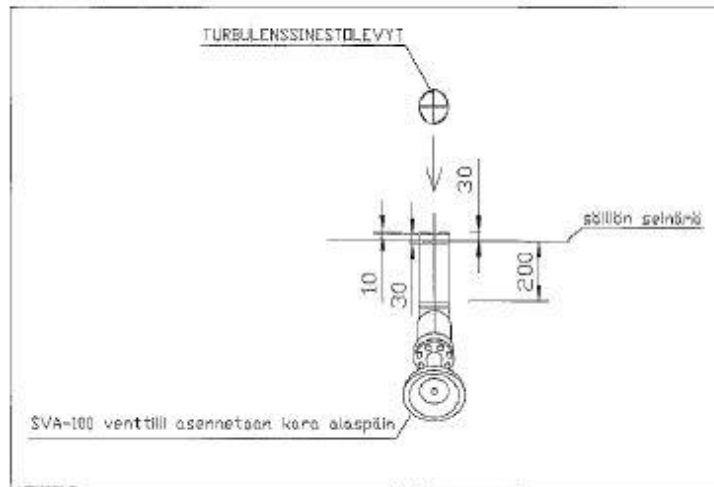
Puhelin/Telephone  
MM 000 1404 551  
Inti +358 20 1404 551

Tel/fax/Fax  
MM 000 1404 500  
Inti +358 20 1404 500

Y-tunnus 1083 450-8  
ALV FI 1088493-0

Painelaitteen korjaussuunnitelma

Johnson Controls Finland Oy  
22.5.2013  
korjaussuunnitelma.docx



Putken ja säiliön liitos.

**Muutostyön laite-erittely**

Muutostyön laite-erittely

Pisaranerotin ja höyrystinväli

- nesteputki, saumaton teräsputki P235GH
- sulkuventtiili SVA-100

Pyörimisnopeussäätö

- ASC-880- 01-145-3, 75Kw, 400V, 145A, IP55
- kompressorisovellus
- kiinnitystarvikkeet, kaapelointi, liittimet

Sähkömoottori, SynRM

- moottori M3BL 200MLA, 62kW, 400V, 144A
- kiinnitystarvikkeet, kaapelointi, liittimet

Sähkökeskuksen kytkennät ja kaapeloinnit



Eristys

- pisaranerotin alaosa
- nesteputki
- mineraalivilla 100 mm
- alumiinilevy 1 mm


Viranomaistarkastukset

- painelaitteen korjaussuunnitelma
- vaatimuksenmukaisuusvakuutus
- muutostarkastustodistus
- rtg- kuvaukset
- paineastiata tarkastukset

Laskelmat ja DirCalc TM -mitoitustulokset, DN100

DirCalcTM		Calculation Report (v. 1.26)			
Page 1/2				Danfoss Industrial	
				Refrigeration A/S	
Project data					
Date	13.01.2014				
File	DN100 capacity 432 KW.dan				
Project	Nykyinen				
Information	DN100				
System data					
Refrigerant	R717				
Selected task	SERIES				
Selected system	GRAVITY				
Selected pipeline	Liquid line without phase change				
Design size	32.0 (30.4)				
Design velocity	m/s	1.00			
Operating data					
Evap.cap	kW	430			
Line massflow	kg/h	1687			
Evap.temp	°C	-15.0			
Evap.pres	bar	2.36			
Circ. rate		1.43			
Liq. pres.height	m	2.00			
Calculated total pressure drop, max load	bar	-0.0632			
Calculated total temperature drop, max load	K	-0.597			
Flow diagram					
					
SVA100 str... TUBDN100-DIN BE100-5-90... TUBH100-DIN BE100-5-90...					

Laskelmat ja DirCalc TM -mitoitustulokset, DN100

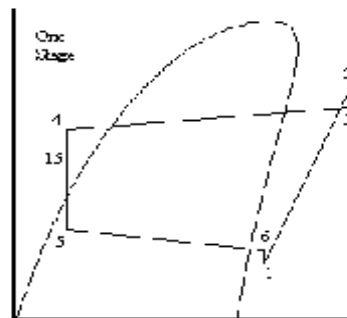
DirCalcTM		Calculation Report (v. 1.26)			
Page 2/2				Danfoss Industrial	
				Refrigeration A/S	
1. Component: SVA100 straight Stop valve, straight					
Nom.connection (mm)		DN100			
Nom.connection (Inch)		4			
dp max. load	bar	0.0000571			
dt max. load	K	0.000545			
2. Component: TUBDN100-DIN Vertical pipe down					
Nom.connection (mm)		DN100			
Nom.connection (Inch)		4			
Pipe length	m	1.00			
dp max. load	bar	-0.0832			
dt max. load	K	-0.597			
Vel.max.load	m/s	0.0807			
3. Component: BE100-5-90-DIN 90° Bend					
Nom.connection (mm)		DN100			
Nom.connection (Inch)		4			
dp max. load	bar	0.00000689			
dt max. load	K	0.0000645			
4. Component: TUBH100-DIN Horizontal pipe					
Nom.connection (mm)		DN100			
Nom.connection (Inch)		4			
Pipe length	m	1.00			
dp max. load	bar	0.00000494			
dt max. load	K	0.0000462			
Vel.max.load	m/s	0.0807			
5. Component: BE100-5-90-DIN 90° Bend					
Nom.connection (mm)		DN100			
Nom.connection (Inch)		4			
dp max. load	bar	0.00000689			
dt max. load	K	0.0000645			

Laskelmat ja Coolback-mittaus

Laskelmat ja Coolback -mitoitustulokset

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Coordinates \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

Cycle: Jäähalli 2013  
 Refrigerant: R717  
 Values at points 1-6,15 for the selected one stage cycle



Point	T [°C]	P [bar]	v [m <sup>3</sup> /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg K)]
1	-10,000	2,362	0,519954	1455,339	5,8709
2	137,378	16,883	0,112472	1759,360	5,8709
3	137,378	16,883	0,112472	1759,360	5,8709
4	38,000	16,883	N/A	376,862	N/A
5	-15,000	2,362	N/A	376,862	N/A
6	-10,000	2,362	0,519947	1455,339	5,8709
15	N/A	16,883	N/A	376,862	N/A

## Laskelmat ja Coolback -mitoitustulokset

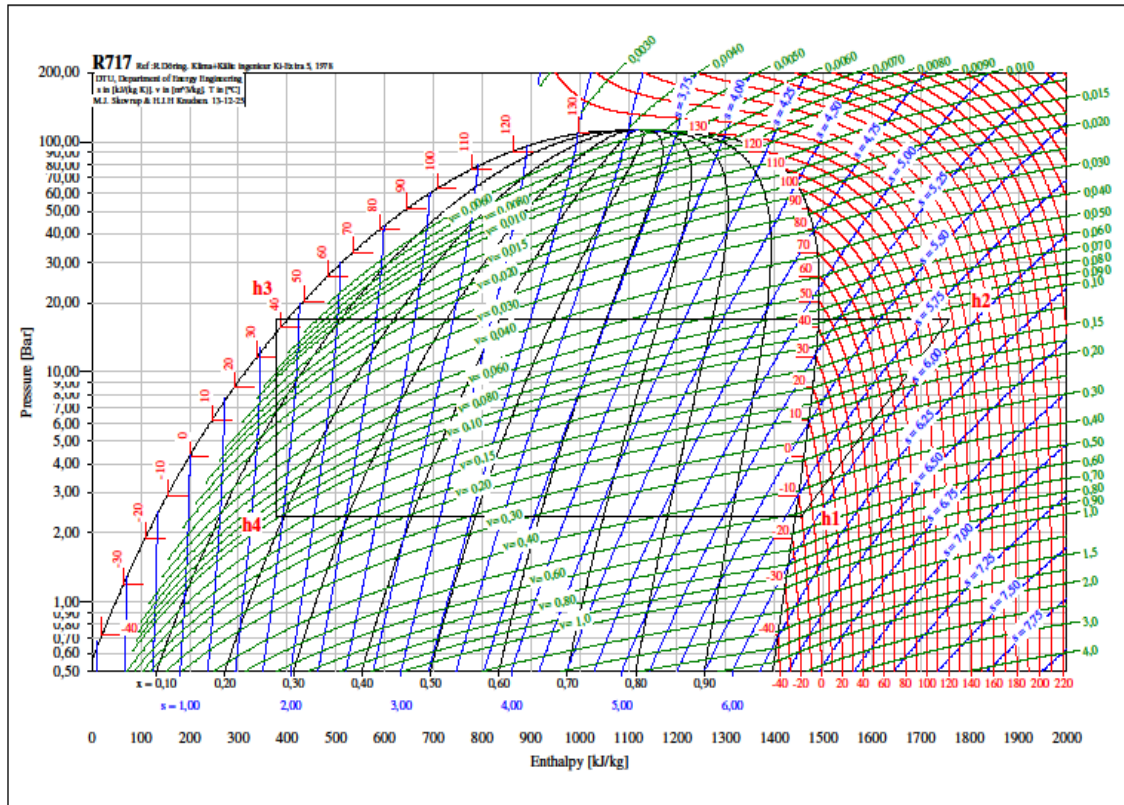
```

Cycle: Jäähalli 2013
Refrigerant: R717
Data:
Te [°C]           =   -15,00
Tc [°C]           =    43,00
DT subcooling [K] =     5,00
DT superheat [K]  =     5,00
Dp condenser [Bar] =    0,00
Dp liquid line [Bar] =    0,00
Dp evaporator [Bar] =    0,00
Dp suction line [Bar] =    0,00
Dp discharge line [Bar] =    0,00
Isentropic efficiency =    1,00
-----
Calculated:
Qe [kJ/kg]       =   1078,477
Qc [kJ/kg]       =   1382,497
W [kJ/kg]        =    304,020
COP [-]          =     3,55
Pressure ratio [-] =    7,148
-----
Dimensioning:
Qe [kW]          =   430,000
Qc [kW]          =   551,216
m [kg/s]         =    0,39871039
V [m³/h]         =   746,3193
Volumetric efficiency =    1,00
Displacement [m³/h] =   746,3193
W [kW]           =   121,216
Q loss [kW]      =    0,000

```



Laskelmat ja Coolback -mitoitustulokset



Jäähallin Sähkö & Kylmäk. Mittaus 4 Leroy Somer

Jäähallin sähkömittaukset ja kylmäkertoimet 4a 2013 Leroy Somer

4 Mittaus on/ off, Leroy Somer																			
Mittari	P positive U3 (V)			I1 (A)			P positive ph2 ( kW )			P positive ph3 ( kW )			kW <sub>otto</sub>	kW <sub>anto</sub>	e <sub>Ky/mäk.</sub>				
PowerPlus	Avg / IP	ir	Min / IP	ir	Max / IP	ir	Avg / IP	ir	Min / IP	ir	Max / IP	ir	Avg / IP	ir	Min / IP	ir	Max / IP	interval	
4.Interval 2 s	2,90																		
	0		0		0		0		0		0		0		0,0		0		
	0		0		0		0		0		0		0		0,0		0		
	0		0		0		0		0		0		0		0,0		0		
	9,8		0		47,5		9,6		0		43,7		10		0		47,6		29,4
10	10,5		10,4		10,6		10,6		10,5		10,7		10,3		10,3		10,4		31,4
	10,6		10,6		10,7		10,6		10,6		10,7		10,4		10,4		10,5		31,6
	10,7		10,7		10,8		10,6		10,6		10,8		10,4		10,4		10,5		31,7
	10,7		10,6		10,8		10,6		10,6		10,7		10,4		10,4		10,5		31,7
	10,6		10,6		10,7		10,6		10,6		10,8		10,4		10,4		10,5		31,6
20	10,6		10,6		10,7		10,6		10,5		10,7		10,4		10,4		10,5		31,6
	10,5		10,5		10,6		10,5		10,5		10,6		10,4		10,4		10,5		31,4
	10,5		10,5		10,6		10,5		10,5		10,6		10,4		10,4		10,5		31,4
	10,4		10,4		10,6		10,5		10,5		10,6		10,4		10,4		10,5		31,3
	10,4		10,4		10,5		10,5		10,5		10,5		10,4		10,4		10,5		31,3
30	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		31,2
	10,4		10,4		10,5		10,4		10,3		10,5		10,4		10,4		10,5		31,2
	10,4		10,4		10,4		10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,4		31,2
	10,4		10,3		10,5		10,4		10,3		10,5		10,4		10,3		10,5		31,2
	10,3		10,3		10,4		10,4		10,3		10,5		10,3		10,3		10,4		31,0
40	10,4		10,4		10,5		10,3		10,3		10,4		10,3		10,3		10,4		31,0
	10,4		10,4		10,5		10,4		10,3		10,5		10,3		10,3		10,4		31,1
	10,4		10,4		10,5		10,4		10,3		10,5		10,3		10,3		10,4		31,1
	10,4		10,4		10,5		10,3		10,3		10,4		10,3		10,3		10,4		31,1
	10,4		10,4		10,5		10,3		10,3		10,4		10,3		10,2		10,4		31,0
50	10,4		10,4		10,5		10,3		10,3		10,5		10,3		10,3		10,4		31,0
	10,4		10,4		10,6		10,3		10,3		10,4		10,3		10,3		10,4		31,0
	10,4		10,4		10,5		10,3		10,2		10,4		10,3		10,2		10,4		31,0
	10,4		10,4		10,5		10,3		10,2		10,4		10,3		10,3		10,4		31,0
	10,4		10,4		10,5		10,3		10,2		10,4		10,3		10,3		10,4		31,0
	10,4		10,4		10,5		10,3		10,3		10,4		10,3		10,2		10,4		31,1
60	10,4		10,4		10,5		10,4		10,3		10,5		10,3		10,3		10,4		31,1
	10,4		10,4		10,6		10,4		10,4		10,5		10,3		10,3		10,4		31,1
	10,4		10,4		10,5		10,5		10,5		10,6		10,3		10,2		10,4		31,2
	10,4		10,4		10,5		10,5		10,5		10,5		10,4		10,4		10,4		31,3
	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,3		10,3		10,4		31,3
70	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,3		10,3		10,4		31,1
	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,3		10,3		10,4		31,1
	10,4		10,4		10,5		10,5		10,5		10,5		10,3		10,3		10,4		31,2
	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,3		10,3		10,4		31,1
	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,3		10,3		10,4		31,1
80	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,3		10,3		10,4		31,1
	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,3		10,2		10,4		31,1
	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,2		10,2		10,4		31,0
	10,4		10,4		10,5		10,4		10,3		10,5		10,2		10,2		10,3		31,0
90	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,2		10,2		10,3		31,0
	10,5		10,4		10,6		10,4		10,4		10,5		10,2		10,2		10,3		31,1
	10,4		10,4		10,6		10,4		10,4		10,5		10,2		10,2		10,4		31,0
	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,2		10,1		10,3		31,0
	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,2		10,2		10,3		31,0
100	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,2		10,2		10,3		31,0
	10,4		10,4		10,5		10,4		10,4		10,5		10,2		10,2		10,3		31,0

## Jäähallin Sähkö &amp; Kylmäk. Mittaus 4 Leroy Somer

Jäähallin sähkömittaukset ja kylmäkertoimet 4b 2013

	10,4	10,4	10,5	10,4	10,4	10,5	10,3	10,2	10,4	31,1	27,99	3,47
	11,1	10,4	13,8	11,2	10,4	13,7	11	10,2	13,6	33,3	29,97	2,65
	13,7	13,7	13,8	13,7	13,6	13,8	13,6	13,5	13,7	41,0	36,9	2,64
	13,7	13,6	13,8	13,7	13,6	13,8	13,6	13,6	13,7	41,0	36,9	2,64
110	13,7	13,7	13,9	13,8	13,7	13,9	13,6	13,6	13,7	41,1	36,99	2,62
	13,8	13,8	13,8	13,7	13,7	13,9	13,6	13,5	13,7	41,1	36,99	2,63
	13,8	13,8	13,9	13,8	13,7	14	13,6	13,6	13,7	41,2	37,08	2,62
	13,8	13,8	13,9	13,8	13,8	13,9	13,6	13,6	13,8	41,2	37,08	2,62
	13,8	13,8	13,9	13,8	13,8	13,9	13,6	13,5	13,7	41,2	37,08	2,62
120	13,8	13,8	13,9	13,8	13,8	13,9	13,5	13,5	13,6	41,1	36,99	2,63
	13,7	13,7	13,8	13,8	13,8	13,9	13,5	13,4	13,6	41,0	36,9	2,64
	13,7	13,5	13,8	13,7	13,6	13,8	13,4	13,3	13,5	40,8	36,72	2,65
	13,6	13,6	13,7	13,7	13,6	13,8	13,3	13,3	13,5	40,6	36,54	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,7	13,6	13,8	13,4	13,4	13,5	40,7	36,63	2,66
130	13,6	13,6	13,7	13,7	13,6	13,9	13,4	13,4	13,5	40,7	36,63	2,65
	13,6	13,6	13,8	13,7	13,6	13,9	13,5	13,4	13,6	40,8	36,72	2,64
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,7	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,7	13,6	13,8	13,5	13,5	13,6	40,8	36,72	2,65
140	13,6	13,5	13,7	13,7	13,7	13,8	13,5	13,4	13,6	40,8	36,72	2,65
	13,6	13,6	13,7	13,7	13,7	13,8	13,5	13,5	13,6	40,8	36,72	2,65
	13,5	13,5	13,7	13,7	13,7	13,8	13,5	13,5	13,6	40,7	36,63	2,65
	13,6	13,5	13,7	13,6	13,6	13,8	13,5	13,5	13,6	40,7	36,63	2,65
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,8	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,65
	13,6	13,5	13,8	13,6	13,6	13,7	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,65
150	13,6	13,5	13,7	13,6	13,6	13,7	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,8	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,65
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,7	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,65
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,8	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,65
160	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,7	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,8	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,65
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,7	13,5	13,5	13,6	40,7	36,63	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,7	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,66
	13,6	13,6	13,8	13,6	13,6	13,7	13,4	13,4	13,5	40,6	36,54	2,65
170	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,7	13,4	13,4	13,5	40,6	36,54	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,8	13,4	13,4	13,5	40,6	36,54	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,8	13,4	13,4	13,5	40,6	36,54	2,66
	13,6	13,6	13,8	13,6	13,6	13,7	13,4	13,4	13,5	40,6	36,54	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,7	13,4	13,4	13,5	40,6	36,54	2,66
	13,6	13,5	13,7	13,6	13,6	13,7	13,4	13,3	13,5	40,6	36,54	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,8	13,3	13,3	13,5	40,5	36,45	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,7	13,4	13,3	13,5	40,6	36,54	2,66
180	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,7	13,4	13,3	13,5	40,6	36,54	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,7	13,4	13,3	13,5	40,6	36,54	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,7	13,3	13,3	13,5	40,5	36,45	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,5	13,7	13,3	13,3	13,5	40,4	36,36	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,5	13,5	13,6	13,3	13,3	13,4	40,4	36,36	2,68
190	13,6	13,5	13,7	13,5	13,5	13,6	13,3	13,3	13,5	40,4	36,36	2,67
	13,5	13,5	13,7	13,5	13,4	13,6	13,3	13,2	13,4	40,3	36,27	2,68
	13,4	13,4	13,5	13,4	13,4	13,5	13,2	13,2	13,3	40,0	36	2,70
	13,5	13,4	13,6	13,4	13,3	13,5	13,2	13,2	13,3	40,1	36,09	2,70
	13,5	13,4	13,6	13,5	13,5	13,5	13,2	13,2	13,3	40,2	36,18	2,70
200	13,4	13,3	13,6	13,5	13,4	13,6	13,2	13,1	13,3	40,1	36,09	2,69
	13,5	13,5	13,6	13,5	13,5	13,6	13,3	13,3	13,4	40,3	36,27	2,68
	13,5	13,4	13,6	13,5	13,5	13,7	13,3	13,2	13,4	40,3	36,27	2,68
	13,5	13,4	13,7	13,5	13,5	13,7	13,3	13,2	13,4	40,3	36,27	2,67
	13,5	13,5	13,6	13,6	13,6	13,7	13,3	13,3	13,5	40,4	36,36	2,67

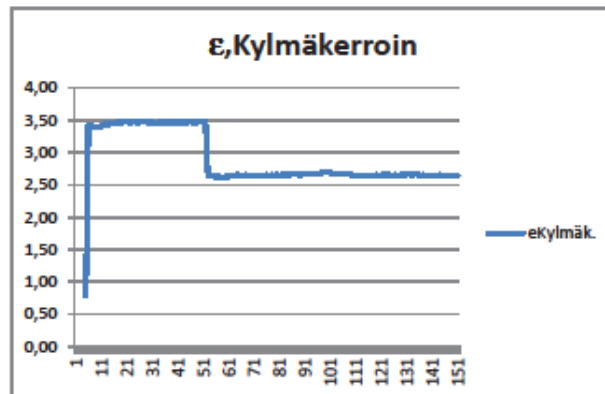
## Jäähallin Sähkö &amp; Kylmäk. Mittaus 4 Leroy Somer

Jäähallin sähkömittaukset ja kylmäkertoimet 4c 2013

210	13,5	13,5	13,6	13,6	13,5	13,7	13,3	13,3	13,5	40,4	36,36	2,67
	13,5	13,5	13,6	13,6	13,5	13,8	13,4	13,3	13,5	40,5	36,45	2,66
	13,5	13,5	13,6	13,5	13,5	13,7	13,4	13,4	13,6	40,4	36,36	2,66
	13,5	13,4	13,6	13,6	13,5	13,7	13,5	13,4	13,6	40,6	36,54	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,7	13,6	13,9	13,5	13,5	13,7	40,8	36,72	2,64
220	13,5	13,5	13,7	13,6	13,6	13,8	13,5	13,5	13,6	40,6	36,54	2,65
	13,6	13,6	13,7	13,7	13,6	13,8	13,5	13,5	13,7	40,8	36,72	2,64
	13,6	13,6	13,7	13,7	13,7	13,8	13,5	13,5	13,6	40,8	36,72	2,65
	13,5	13,5	13,7	13,7	13,6	13,8	13,5	13,5	13,7	40,7	36,63	2,64
	13,6	13,5	13,7	13,6	13,6	13,8	13,6	13,5	13,7	40,8	36,72	2,64
230	13,6	13,5	13,7	13,6	13,6	13,8	13,5	13,5	13,7	40,7	36,63	2,64
	13,6	13,6	13,7	13,7	13,6	13,8	13,5	13,5	13,7	40,8	36,72	2,64
	13,6	13,6	13,7	13,7	13,7	13,8	13,5	13,4	13,6	40,8	36,72	2,65
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,7	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,66
	13,6	13,6	13,8	13,6	13,6	13,7	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,65
240	13,6	13,5	13,8	13,6	13,6	13,7	13,5	13,4	13,7	40,7	36,63	2,64
	13,5	13,5	13,6	13,6	13,6	13,7	13,4	13,4	13,5	40,5	36,45	2,67
	13,6	13,6	13,8	13,6	13,6	13,7	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,65
	13,6	13,5	13,7	13,6	13,5	13,7	13,3	13,3	13,6	40,5	36,45	2,66
	13,6	13,6	13,8	13,6	13,6	13,7	13,4	13,4	13,6	40,6	36,54	2,65
250	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,8	13,4	13,4	13,6	40,6	36,54	2,65
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,5	13,7	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,66
	13,6	13,6	13,8	13,6	13,6	13,7	13,6	13,5	13,7	40,8	36,72	2,64
	13,6	13,6	13,7	13,5	13,5	13,6	13,6	13,5	13,7	40,7	36,63	2,66
	13,6	13,6	13,7	13,5	13,5	13,6	13,6	13,6	13,7	40,7	36,63	2,66
260	13,6	13,6	13,7	13,5	13,5	13,6	13,5	13,5	13,6	40,6	36,54	2,66
	13,5	13,5	13,6	13,5	13,5	13,6	13,4	13,4	13,6	40,4	36,36	2,67
	13,6	13,6	13,7	13,5	13,5	13,6	13,5	13,5	13,7	40,6	36,54	2,66
	13,6	13,5	13,7	13,5	13,5	13,6	13,5	13,4	13,6	40,6	36,54	2,66
	13,5	13,5	13,7	13,6	13,5	13,7	13,5	13,5	13,5	40,6	36,54	2,66
270	13,6	13,6	13,7	13,6	13,6	13,7	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,66
	13,7	13,6	13,8	13,6	13,6	13,7	13,5	13,4	13,6	40,8	36,72	2,65
	13,6	13,6	13,7	13,6	13,5	13,7	13,5	13,4	13,6	40,7	36,63	2,66
	13,7	13,6	13,8	13,6	13,6	13,8	13,5	13,4	13,6	40,8	36,72	2,64
	13,7	13,7	13,8	13,7	13,7	13,8	13,4	13,4	13,5	40,8	36,72	2,65
280	13,7	13,7	13,8	13,7	13,6	13,8	13,4	13,4	13,5	40,8	36,72	2,65
	13,7	13,7	13,8	13,7	13,7	13,8	13,4	13,4	13,5	40,8	36,72	2,65
	13,7	13,7	13,8	13,7	13,7	13,8	13,4	13,3	13,5	40,8	36,72	2,65
	13,7	13,6	13,8	13,6	13,6	13,7	13,3	13,3	13,5	40,6	36,54	2,66
	13,7	13,7	13,8	13,6	13,6	13,7	13,4	13,4	13,6	40,7	36,63	2,65
290	13,7	13,7	13,8	13,7	13,7	13,8	13,5	13,4	13,6	40,9	36,81	2,64
	13,7	13,7	13,8	13,6	13,6	13,8	13,5	13,4	13,6	40,8	36,72	2,64
	13,7	13,7	13,8	13,6	13,6	13,7	13,5	13,4	13,6	40,8	36,72	2,65
	13,7	13,7	13,8	13,6	13,6	13,7	13,4	13,4	13,6	40,7	36,63	2,65
	13,7	13,7	13,8	13,7	13,7	13,8	13,4	13,4	13,6	40,8	36,72	2,64
300	13,7	13,7	13,8	13,7	13,7	13,8	13,4	13,4	13,5	40,8	36,72	2,65
									P <sub>Max</sub>	41,2	37,08	3,48
									Ka			2,90

Jäähallin Sähkö & Kylmäk. Mittaus 4 Leroy Somer

Jäähallin sähkömittaukset ja kylmäkertoimet 4d 2013



Jäähallin sähkömittaukset ja kylmäkertoimet Mittaus 1ACS880+SynRM

Jäähallin sähkömittaukset ja kylmäkertoimet 1a 2013

1 Mittaus ACN 880 + SynRM																
Mittaus	P positive U3 (V)			I1 (A)			P positive ph2 ( kW )			P positive ph3 ( kW )			kW otto	kW arto	E <sub>Kylmäk.</sub>	
1.Interval 2 s	Avg / IP ii	Min / IP ii	Max / IP i	Avg / IP ii	Min / IP ii	Max / IP i	Avg / IP ii	Min / IP ii	Max / IP i	Avg / IP ii	Min / IP ii	Max / IP i	interval			3,14
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	
	3,4	0	4,2	3,5	0	4,4	3,5	0	4,4	10,4	9,7					
	4,5	4,3	4,7	4,7	4,5	4,9	4,8	4,5	5	14,0	13,0	7,71				
	5,2	4,6	5,9	5,5	5	6	5,6	5	6,4	16,3	15,2	6,15				
	6,6	6	7,2	6,6	6,2	7,3	7	6,5	7,7	20,2	18,8	5,07				
40	7,7	7,1	8,3	7,8	7,4	8,4	8,1	7,5	8,7	23,6	21,9	4,43				
	8,8	8,4	9,3	8,9	8,4	9,5	9,2	8,7	9,7	26,9	25,0	3,95				
	9,8	9,4	10,3	9,9	9,5	10,5	10,2	9,9	10,7	29,9	27,8	3,57				
	10,8	10,3	11,3	10,9	10,5	11,4	11,3	10,9	11,7	33,0	30,7	3,27				
	11,7	11,3	12,3	11,8	11,5	12,3	12,2	11,8	12,7	35,7	33,2	3,02				
50	12,7	12,3	13,3	12,7	12,5	13,1	13,2	12,7	13,5	38,6	35,9	2,82				
	12,7	12,7	12,9	12,8	12,7	12,9	13,2	13,2	13,3	38,7	36,0	2,88				
	12,5	12,2	12,8	12,6	12,3	12,9	13	12,6	13,3	38,1	35,4	2,89				
	12,1	11,8	12,4	12,1	11,9	12,5	12,6	12,3	12,9	36,8	34,2	2,98				
	11,8	11,5	12,1	11,8	11,4	12,1	12,3	12	12,6	35,9	33,4	3,06				
60	11,5	11,1	11,8	11,6	11,3	11,8	12	11,8	12,3	35,1	32,6	3,13				
	11,3	11,2	11,6	11,4	11	11,6	11,8	11,4	12	34,5	32,1	3,20				
	11,3	11,2	11,4	11,2	11,1	11,4	11,6	11,5	11,8	34,1	31,7	3,25				
	11,2	11,2	11,5	11,1	11	11,3	11,5	11,3	11,7	33,8	31,4	3,26				
	11,1	11,1	11,3	11,1	11	11,2	11,4	11,4	11,5	33,6	31,2	3,31				
70	11,1	11	11,2	11,1	11	11,2	11,3	11,3	11,5	33,5	31,2	3,32				
	11,1	11	11,3	11,1	11	11,2	11,4	11,4	11,6	33,6	31,2	3,30				
	11,1	10,9	11,3	11,2	11,2	11,4	11,5	11,4	11,6	33,8	31,4	3,28				
	11,2	11,1	11,3	11,2	11,1	11,5	11,6	11,6	11,8	34,0	31,6	3,25				
	11,1	10,9	11,3	11	11	11,2	11,4	11,3	11,7	33,5	31,2	3,29				
80	11,2	11,1	11,3	11,1	11	11,2	11,4	11,4	11,6	33,7	31,3	3,30				
	11	10,7	11,3	10,9	10,5	11,1	11,2	10,8	11,5	33,1	30,8	3,32				
	11	10,9	11,1	10,8	10,8	10,9	11,1	11,1	11,3	32,9	30,6	3,38				
	10,6	9,8	11,2	10,5	9,8	11	10,7	9,9	11,3	31,8	29,6	3,36				
	10,3	10,2	10,4	10,2	10,1	10,3	10,4	10,3	10,5	30,9	28,7	3,61				
90	10	9,3	10,4	9,9	9,2	10,4	10,1	9,4	10,5	30,0	27,9	3,60				
	9,7	9,6	9,9	9,6	9,6	9,8	9,9	9,8	10,2	29,2	27,2	3,76				
	9,5	9,1	9,8	9,5	9	9,8	9,8	9,5	10	28,8	26,8	3,80				
	9,3	9,3	9,5	9,3	9,3	9,5	9,7	9,6	9,8	28,3	26,3	3,91				
	9,3	9,3	9,4	9,4	9,3	9,5	9,7	9,7	9,8	28,4	26,4	3,92				
100	9,3	9,3	9,4	9,4	9,4	9,5	9,8	9,7	9,9	28,5	26,5	3,91				

## Jäähallin sähkömittaukset ja kylmäkertoimet Mittaus 1ACS880+SynRM

## Jäähallin sähkömittaukset ja kylmäkertoimet 1b 2013 ACS880+ SynRM

	9,4	9,3	9,7	9,5	9,4	9,7	9,8	9,7	10	28,7	26,7	3,83
	9,4	9,4	9,5	9,5	9,5	9,7	9,8	9,8	10	28,7	26,7	3,85
	9,5	9,3	9,7	9,6	9,5	9,9	9,9	9,8	10,1	29,0	27,0	3,79
	9,5	9,5	9,7	9,7	9,7	9,8	10	9,9	10,1	29,2	27,2	3,80
110	9,4	9,4	9,6	9,8	9,7	9,9	10	9,9	10,1	29,2	27,2	3,80
	9,5	9,4	9,7	9,8	9,8	10	10	10	10,1	29,3	27,2	3,78
	9,6	9,4	9,9	9,9	9,7	10,3	10,2	10	10,5	29,7	27,6	3,67
	9,9	9,9	10,2	10,2	10,1	10,5	10,5	10,5	10,7	30,6	28,5	3,58
	10,1	9,9	10,4	10,3	10,1	10,7	10,6	10,4	11	31,0	28,8	3,51
120	10,4	10,4	10,7	10,6	10,5	11	11	10,9	11,2	32,0	29,8	3,42
	10,5	10,4	11	10,7	10,5	11,2	11	10,9	11,5	32,2	29,9	3,34
	10,9	10,8	11,1	11	10,9	11,2	11,3	11,2	11,7	33,2	30,9	3,31
	10,9	10,9	11,2	11	10,9	11,2	11,3	11,1	11,5	33,2	30,9	3,32
	11	10,9	11,2	11,1	11	11,3	11,4	11,3	11,5	33,5	31,2	3,31
130	11	11	11,2	11	11	11,2	11,4	11,4	11,5	33,4	31,1	3,32
	11,1	11,1	11,3	11	11	11,2	11,5	11,4	11,6	33,6	31,2	3,30
	11,2	11,1	11,4	11	11	11,3	11,5	11,4	11,7	33,7	31,3	3,27
	11,2	11,1	11,3	11,1	11,1	11,2	11,5	11,5	11,6	33,8	31,4	3,30
	11,3	11,3	11,3	11,1	11	11,3	11,5	11,5	11,7	33,9	31,5	3,28
140	11,3	11,3	11,4	11,1	11,1	11,2	11,4	11,4	11,6	33,8	31,4	3,29
	11,4	11,3	11,7	11,2	11,1	11,4	11,5	11,4	11,8	34,1	31,7	3,22
	11,4	11,3	11,5	11,3	11,2	11,4	11,5	11,5	11,7	34,2	31,8	3,25
	11,4	11,3	11,7	11,3	11,3	11,5	11,6	11,5	11,8	34,3	31,9	3,22
	11,5	11,4	11,6	11,3	11,3	11,5	11,7	11,6	11,8	34,5	32,1	3,22
150	11,5	11,4	11,7	11,5	11,4	11,6	11,7	11,6	11,9	34,7	32,3	3,20
	11,5	11,5	11,6	11,5	11,5	11,7	11,8	11,7	11,9	34,8	32,4	3,20
	11,5	11,5	11,6	11,5	11,5	11,7	11,8	11,8	11,9	34,8	32,4	3,20
	11,5	11,4	11,6	11,5	11,5	11,7	11,8	11,8	11,9	34,8	32,4	3,20
	11,6	11,5	11,8	11,6	11,5	11,9	11,8	11,8	12,1	35,0	32,6	3,14
160	11,6	11,6	11,8	11,7	11,6	11,8	11,9	11,9	12,1	35,2	32,7	3,15
	11,7	11,6	12,1	11,8	11,7	12	11,9	11,8	12,3	35,4	32,9	3,09
	12,2	12,1	12,3	12,1	12	12,4	12,3	12,3	12,5	36,6	34,0	3,03
	12,2	12,1	12,5	12,2	12,1	12,4	12,3	12,2	12,5	36,7	34,1	3,01
	12,4	12,3	12,5	12,2	12,1	12,3	12,3	12,2	12,4	36,9	34,3	3,03
170	12,4	12,3	12,9	12,3	12,1	12,7	12,4	12,3	12,8	37,1	34,5	2,93
	12,8	12,7	13	12,6	12,5	13	12,8	12,6	13	38,2	35,5	2,89
	12,7	12,6	13,1	12,6	12,5	12,8	12,8	12,7	13,2	38,1	35,4	2,88
	12,8	12,8	13	12,7	12,7	12,9	12,9	12,8	13	38,4	35,7	2,89
	12,8	12,7	12,9	12,7	12,7	12,9	12,9	12,8	13,1	38,4	35,7	2,89
180	12,7	12,7	12,9	12,6	12,6	12,8	13	12,9	13,2	38,3	35,6	2,89
	12,8	12,7	12,9	12,7	12,7	12,9	13,1	13	13,2	38,6	35,9	2,89
	12,8	12,8	13	12,7	12,7	12,8	13,1	13	13,2	38,6	35,9	2,89
	12,9	12,8	13,2	12,8	12,7	13	13,2	13,1	13,4	38,9	36,2	2,84
	12,9	12,8	13	12,8	12,7	13	13,3	13,2	13,4	39,0	36,3	2,86
190	13	12,8	13,3	12,8	12,7	13	13,3	13,2	13,5	39,1	36,4	2,83
	13	13	13,1	12,9	12,8	13,1	13,3	13,3	13,5	39,2	36,5	2,83
	13,1	13,1	13,3	13	13	13,1	13,3	13,3	13,5	39,4	36,6	2,82
	13,1	13	13,2	13	13	13,1	13,4	13,3	13,5	39,5	36,7	2,83
	13,2	13,1	13,4	13	12,9	13,3	13,3	13,2	13,6	39,5	36,7	2,79
200	13,3	13,2	13,4	13,2	13,1	13,3	13,4	13,3	13,5	39,9	37,1	2,80
	13,4	13,2	13,6	13,2	13	13,5	13,5	13,3	13,7	40,1	37,3	2,76
	13,3	13,3	13,5	13,2	13,1	13,4	13,5	13,4	13,7	40,0	37,2	2,77
	13,4	13,3	13,6	13,2	13,1	13,4	13,5	13,5	13,7	40,1	37,3	2,76
	13,3	13,3	13,5	13,2	13,2	13,3	13,6	13,4	13,8	40,1	37,3	2,77

Jäähallin sähkömittaukset ja kylmäkertoimet Mittaus 1ACS880+SynRM

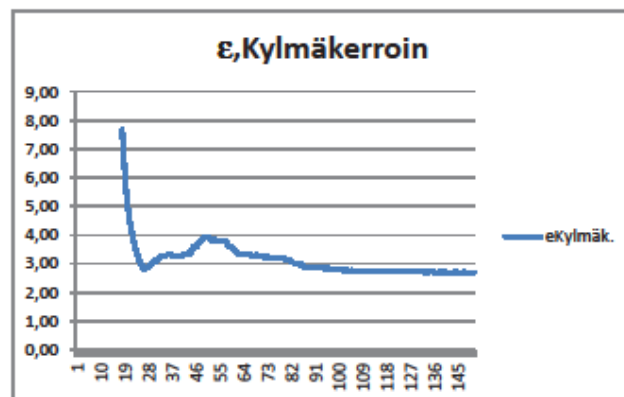
Jäähallin sähkömittaukset ja kylmäkertoimet 1c 2013 ACS880+ SynRM

210	13,4	13,3	13,6	13,3	13,1	13,5	13,6	13,5	13,8	40,3	37,5	2,75
	13,4	13,3	13,6	13,2	13,2	13,4	13,6	13,5	13,8	40,2	37,4	2,76
	13,5	13,4	13,8	13,3	13,2	13,6	13,7	13,6	14	40,5	37,7	2,72
	13,5	13,4	13,6	13,5	13,5	13,6	13,8	13,7	13,9	40,8	37,9	2,74
	13,4	13,3	13,5	13,5	13,4	13,6	13,7	13,6	13,9	40,6	37,8	2,74
220	13,4	13,3	13,5	13,5	13,5	13,7	13,8	13,8	13,9	40,7	37,9	2,74
	13,4	13,4	13,6	13,6	13,5	13,7	13,8	13,7	14	40,8	37,9	2,72
	13,5	13,5	13,6	13,5	13,5	13,7	13,7	13,7	13,9	40,7	37,9	2,73
	13,5	13,4	13,7	13,6	13,5	13,7	13,6	13,5	13,8	40,7	37,9	2,73
	13,6	13,5	13,8	13,5	13,5	13,6	13,7	13,6	13,8	40,8	37,9	2,73
230	13,6	13,6	13,8	13,4	13,4	13,6	13,8	13,7	13,9	40,8	37,9	2,72
	13,6	13,5	13,7	13,4	13,3	13,5	13,8	13,8	13,9	40,8	37,9	2,74
	13,5	13,4	13,6	13,4	13,3	13,6	13,8	13,8	14	40,7	37,9	2,73
	13,6	13,5	13,7	13,5	13,5	13,7	13,8	13,8	13,9	40,9	38,0	2,72
	13,6	13,5	13,7	13,5	13,5	13,7	13,8	13,8	13,9	40,9	38,0	2,72
240	13,6	13,6	13,7	13,5	13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	40,8	37,9	2,74
	13,6	13,6	13,8	13,5	13,5	13,6	13,7	13,7	13,8	40,8	37,9	2,73
	13,6	13,5	13,8	13,5	13,5	13,6	13,8	13,7	13,9	40,9	38,0	2,72
	13,5	13,4	13,7	13,5	13,5	13,7	13,8	13,8	13,9	40,8	37,9	2,72
	13,6	13,5	13,7	13,5	13,5	13,7	13,8	13,8	14	40,9	38,0	2,72
250	13,6	13,6	13,7	13,6	13,5	13,7	13,8	13,8	14	41,0	38,1	2,72
	13,5	13,4	13,7	13,5	13,5	13,7	13,9	13,8	14	40,9	38,0	2,72
	13,5	13,5	13,7	13,5	13,4	13,7	13,8	13,7	13,9	40,8	37,9	2,72
	13,6	13,5	13,7	13,4	13,4	13,6	13,8	13,8	14	40,8	37,9	2,72
	13,7	13,6	13,8	13,5	13,5	13,6	13,9	13,8	14	41,1	38,2	2,72
260	13,6	13,5	13,8	13,4	13,4	13,5	13,9	13,9	14	40,9	38,0	2,72
	13,6	13,5	13,8	13,5	13,5	13,6	13,9	13,8	14	41,0	38,1	2,72
	13,7	13,6	13,8	13,5	13,5	13,7	13,9	13,9	14,1	41,1	38,2	2,71
	13,7	13,6	13,8	13,5	13,5	13,7	13,8	13,7	13,9	41,0	38,1	2,72
	13,6	13,5	13,8	13,6	13,5	13,7	13,8	13,8	13,8	41,0	38,1	2,72
270	13,7	13,6	13,8	13,6	13,5	13,7	13,8	13,8	14	41,1	38,2	2,71
	13,7	13,7	13,8	13,6	13,5	13,8	13,9	13,8	14	41,2	38,3	2,71
	13,7	13,6	13,8	13,5	13,5	13,7	13,8	13,8	14	41,0	38,1	2,71
	13,7	13,7	13,9	13,5	13,4	13,6	13,9	13,8	14	41,1	38,2	2,71
	13,7	13,6	13,8	13,6	13,5	13,7	13,9	13,8	14	41,2	38,3	2,71
280	13,7	13,6	13,8	13,7	13,6	13,9	13,8	13,8	14	41,2	38,3	2,70
	13,6	13,5	13,8	13,7	13,6	13,8	13,9	13,8	14	41,2	38,3	2,71
	13,5	13,5	13,7	13,6	13,6	13,8	13,9	13,8	14,1	41,0	38,1	2,71
	13,6	13,5	13,7	13,6	13,6	13,7	13,9	13,9	14	41,1	38,2	2,72
	13,7	13,6	13,8	13,6	13,5	13,8	13,9	13,9	14,1	41,2	38,3	2,70
290	13,7	13,7	13,8	13,6	13,6	13,8	14	14	14,1	41,3	38,4	2,70
	13,7	13,6	13,8	13,5	13,5	13,6	13,9	13,9	14,1	41,1	38,2	2,71
	13,8	13,7	13,9	13,6	13,5	13,7	13,9	13,9	14,1	41,3	38,4	2,70
	13,8	13,7	13,9	13,5	13,5	13,8	14	14	14,1	41,3	38,4	2,69
	13,7	13,6	13,8	13,6	13,5	13,8	13,9	13,8	14	41,2	38,3	2,71
300	13,7	13,7	13,8	13,7	13,7	13,8	13,8	13,8	14	41,2	38,3	2,71
									P <sub>rMax</sub>	41,3	38,4	7,71
									Ka			3,14



Jäähallin sähkömittaukset ja kylmäkertoimet Mittaus 1ACS880+SynRM

Jäähallin sähkömittaukset ja kylmäkertoimet 1d 2013 ACS880+ SynRM



## Jäähallin sähköenergian kulutus

Jäähallin sähköenergian kulutus 2012

Aikajakso	1.1.2012 0:00:00 - 1.1.2013	Tariffi
Aikavyöhyke	+02 huomioi kesäajan	Raportin taso kuukausi
Aikasarjan tunnus	PBE000_108091_P1	
AMR mittarinro	97467	
Käyttöpaikka	108091	
Tyyppi	Aikasarja	
Suure	Energia	
Yksikkö	kWh	
Komponentti		
Summa	1 143 356,000	
Max	328,000 (joulukuu, 2012)	
Keskiarvo	95279,67	kWh
Huonoin status	Mitattu (tammikuu, 2012)	
tammikuu, 2012	120034	Mitattu
helmikuu, 2012	113816	Mitattu
maaliskuu, 2012	122932	Mitattu
huhtikuu, 2012	80096	Mitattu
toukokuu, 2012	39896	Mitattu
kesäkuu, 2012	18464	Mitattu
heinäkuu, 2012	32430	Mitattu
elokuu, 2012	114346	Mitattu
syyskuu, 2012	128074	Mitattu
lokakuu, 2012	126854	Mitattu
marraskuu, 2012	124190	Mitattu
joulukuu, 2012	122424	Mitattu
	<b>1143,356</b>	<b>MWh</b>
	<b>1143356</b>	<b>kWh</b>

## Jäähallin sähköenergian kulutus

Jäähallin sähköenergian kulutus 2013

Aikajakso	1.1.2013 0:00:00 - 1.1.2014 0:00:00	Tariffi	
Aikavyöhyke	+02 huomioi kesäajan	Raportin taso	Kuukausi
<b>Aikasarjan tunnus</b>	PBE000_106091_P1		
<b>AMR mittarinro</b>	97467 106091		
<b>Käyttöpaikka</b>			
<b>Tyyppi</b>	Aikasarja		
<b>Suure</b>	Energia		
<b>Yksikkö</b>	kWh		
<b>Komponentti</b>			
<b>Summa</b>	1 099 388,000		
<b>Max</b>	318,000 (tammikuu, 2013)		
<b>Keskiarvo</b>	91615,7 kWh		
<b>Huonoin status</b>	Mitattu (tammikuu, 2013)		
tammikuu, 2013	123838	Mitattu	
helmikuu, 2013	112786	Mitattu	
maaliskuu, 2013	111084	Mitattu	
huhtikuu, 2013	81666	Mitattu	
toukokuu, 2013	17820	Mitattu	
kesäkuu, 2013	13924	Mitattu	
heinäkuu, 2013	50552	Mitattu	
elokuu, 2013	123694	Mitattu	
syyskuu, 2013	126404	Mitattu	
lokakuu, 2013	122280	Mitattu	
marraskuu, 2013	115122	Mitattu	
joulukuu, 2013	100218	Mitattu	
	1099,388	MWh	
	1099388	kWh	

## Vaatimuksenmukaisuusvakuutus

Johnson Controls Finland Oy  
13.6.2013



## VAATIMUSTENMUKAISUUSVAKUUTUS

### JOHNSON CONTROLS FINLAND OY

Hankasuontie 10  
00390 Helsinki

Vakuuttaa, että painelaitteen  
**Pisaranerotin valm.nro 20142 ja putkisto DN100PE**  
Kokkonniemen jäähalli, Jääkiekkotie 1, 06100 Porvoo

vaatimuksenmukaisuus on arvioitu painelaitteista annetun  
Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen 953/1999 37§

G moduulin

mukaisesti. Arvioinnin on suorittanut

**INSPECTA TARKASTUS OY**  
Sentrerikuja 3, 00440 Helsinki  
Tarkastuslaitos

Inspecta Tarkastus Oy:n muutostarkastustodistus pv 2013-06-13

Helsinki  
13.6.2013

Johnson Controls Finland Oy

  
Jussi Kekkarainen  
talousjohtaja

Postiosoite/Postal address  
Hankasuontie 10  
00390 Helsinki  
Finland

Pankkiyhteys/Bank account  
Danabank Finelli  
344054-152041

Puhelin/Telephone  
Nat 020 1404 551  
Int +358 20 1404 551




Telifaksi/Fax  
Nat 020 1404 532  
Int +358 20 1404 550

Y-tunnus/1088490-8  
ALV FI 1088490-8



## Radiographic ja Test Magnetic

## Hitsaustyön tarkastusraportti 2

<b>TEST</b> POWER OY		<b>Magnetic Test Report</b>		NO: AB01126	Sivu 1/1 Page
Kelkko customer:	Johnson Controls Finland OY	Työ-Numero Work Number:			
Tilaja Contractor:	Johnson Controls Finland OY	Työ-Numero Work Number:			
Väriäjä Manufacturer:	Helsingin Painesäiliö Oy	Työ-Numero Work Number:			
Tarkastuskohde Inspection object	<b>Porvoon Jäähallin Varastosäiliö</b> <b>Ammoniakki Putkisto</b>				
Väriäjänumero Manufacturing No.	----	Merkitäminen Marking:	Kts. Kuva		
Pinotus No. Drawing No.	----	Laatuvaatimus Quality requirement:	SFS-EN 23278 2X		
Tarkastusohje Inspection procedure:	SFS-EN 17638	Laatuvaatimus ja säätöohje Quality requirement of the document:	SFS-EN 23278 2X		
Väriäjä Material:	P235HG	Hieman Lämpö Surface condition:	Hitsattu	Lämpötila Temperature:	20°C
Lämpökäsittely Heat treatment:	Ennen Before	Jälkeen After:	<input type="checkbox"/>	Etikäsittely No heat treatment	<input checked="" type="checkbox"/>
Hitsausprosessi welding process:	135	Reitin muoto Type of joint preparation:	--		
Tekniikka Technique:	Ies	Virtalaji Current:	AC	Demagnetointi Demagnetization	<input type="checkbox"/>
Laite Tool:	Ferros Brobe	Naapuriväly Pole spacing:	100-200mm		
Tarkastusaine Contrast agent:	Bycotest C 10	Kontrastiväri Contrast color:	Bycotest 104		
Magneettipöytä Magnetic Powder:	Bycotest 103	Väri menetelmä Color method:	väriäinen <input checked="" type="checkbox"/>	Fluoresoiva Fluorescent	<input type="checkbox"/>
Tarkastuspaikka Inspection place:	Porvoo	Tarkastuspäivämäärä Inspection Date:	10.6.2013		
Tarkastaja Inspector:	Anssi Björkholm	Päivitys Qualification:	SFS-EN 473 Level 2		
Tarkastuskohteiden objektin tarkastus:	1kpl Yhteensä 100%	Huom. Notes:	silmämääräinen tarkastus 100%		
Tarkastustulokset Results of inspection	Täyttävät vaatimukset Comply with the requirements	<input checked="" type="checkbox"/>	Elivät eivät täytä vaatimuksia Do not comply with the requirements	<input type="checkbox"/>	
					
Päiväys Date	12.6.2013				
Allekirjoitus Signature:	Anssi Björkholm	<b>TestPower Oy</b> Anssi Björkholm EN 7202		TestPower Oy Lüdnäkatu 7A 33860 Tampere Puh:040-7000333	
Luokitteleva / Inspector	Anssi Björkholm				

## Muutostarkastustodistus 1, Pisaranerotin, DN100 nesteputkiliitos

<b>Inspecta</b> Inspecta Tarkastus Oy puh./tel. 010 521 600		<b>TODISTUS</b> Muutostarkastus		
Vastuuhenkilö Porvoon kaupunki/Liikuntatoimisto Tero Koskenlahti PL 23 061 01 PORVOO		Asiakas A108335 Porvoon kaupunki Rihkamakatu 4 A 061 00 PORVOO Asiakasohje Q306428 Kokonniemen jäähalli		Tilausaika/viite Työnumero (Inspecta) U206438
<b>Tarkastuksen tulos</b>		Täyttää vaatimukset		
Tarkastusajankohta Muutostarkastus		Tarkastuspäivä 2013-06-13	Suoritus tarkastus 2013-08	Seurava tarkastus Käyttö tarkastus
Huomautukset, muutilpanot, pysyvät tiedot ja muut tiedot *)				
<b>Todistusnumero: 3</b> <b>Tarkastuslaji</b> • Sp = sisäpuolinen tarkastus, Pk = määrälläinen painekoe, Ki = käyttötarkastus. Asiakas = painelaiteen omistaja ja haltija, ellei toisin ilmoiteta. <b>Muuttilpanot</b> • Pisaranerotimen alapuolisen nesteputken ja sulkuventtiilin uusittiin koosta DN40 → DN100. Putki on yhdistetty höyrytimen vastaputkeen. • Muutostyön suoritti Johnson Controls Finland Oy. Putken vaipallituksen ja ensimmäisen venttiililiitoksen hitsaus on tehty alihankintayhtiön, Helsingin Painesäiliö Oy on hitsausyhtiön suorittaja. Muu osa DN100 putkistosta on valmistettu AI moduulin mukaisesti. Vastuunsiirtoaikavälillä 12.6.2013/JCF. • Vaipan ja yhtiön liitokselle on tehty 100% MT ja VT tarkastus, TestPower Oy. Todistus nro. AB01126. Dokumentointi muutostyöstä säiliö/putkisto on liitetty painelaitekirjan (välilehti 20). • Muutostyössä pisaranerotimen osalta on noudatettu KIMp. nro 953/99 37g moduulia G. <b>Pysyvät tiedot</b> • Käyttötarkastukset 4 v. välein. <b>Yhteystiedot</b> • Käyttävältä: Tero Koskenlahti Porvoon kaupunki/Liikuntatoimisto <b>Tekniset tiedot:</b> Sisäilma: Tilin 1 Max paine bar(g): Ammoniakki veteen: Min paine bar(g): 15,0 Max lämpötila °C: 0 Min lämpötila °C: 50 Min lämpötila °C: -40				
<small>* Huomautukset koskevat puutteita, jotka vaativat korjauksia. Muuttilpanot, pysyvät tiedot ja muut tiedot ovat esittämällä tarkoitettuja, joihin ei voida vaikuttaa tarkastuksen jälkeen. Muutostarkastus ja muut toimenpiteet Inspectan ohjeistuksen mukaisesti. Jos tarkastus osoittaa puutteita, voi tilaaja ottaa yhteyttä Inspectaan tai tarkastuksen suorittajaan. Lisätietoja: www.inspecta.com/fi/taulukko/taulukko.html</small>				
<b>Inspecta Tarkastus Oy</b>				
Tarkastusajankohta 2013-06-13	Tarkastaja Ari Erähalme			Puhelin +358 10 521 600

## Muutostarkastustodistus 2, Pisaranerotin, DN100 nesteputkiiliitos

<b>TODISTUS</b>		
<b>Muutostarkastus</b>		
Laitteistolokki Erofin	Tarkastuspäivä 2013-06-13	Rekisterinumero A-92091
Huomautukset, määrittäminen, pysyvät tiedot ja muut tiedot *)		
<b>Tekniset tiedot:</b>	<b>Tila 1</b>	
Tilavuus m <sup>3</sup>	1.400	
Vaeropaine bar(g)	15.0	
<b>Muut tekniset tiedot:</b>		
• Käynnösaatto: 2005		
• Vaerjärjestelmä: vaerventiilit		
• Hyväksymisnumero: 9.6.2005		
• CE-todistus: 114-1004-552203		
• Valmistusmoduuli: G		
• PI-kaavio: K70135-01		
• Tilojen lukumäärä: 1 kpl		



Pyörimisnopeussäädön tarjous, muutokset 1



Johnson Controls Finland Oy

Tarjous 64 219 AHi

Porvoon kaupunki



27/03/2013

**Kokonniemen jäähallin kompressorin pyörimisnopeussäädön tarjous**

Kiitämme kyselystänne (Tero Koskenlaita) ja tarjoamme Teille Kokonniemen jäähallin kylmäkompressorille JK1 (Bitzer) pyörimisnopeussäätöä entisen käynnistimen sijaan seuraavasti.

**Hinta** Tarjous sisältää pyörimisnopeussäädön edellyttämän uuden moottorin, taajuusmuuttajan, kaikki asennukset, käyttöönoton ja virityksen sekä logiikan ohjelmoinnin hintaan:

Tarkempi tarjouksen sisältö on ohessa.

**Laitteet** Pyörimisnopeussäädön edellyttämät laitteet

Tarjous perustuu uuteen synkronireluktanssimoottoriin (SynRM) ja sille räätälöityyn pyörimisnopeussäätöön. Tällä yhdistelmällä moottorin ja pyörimisnopeuslaitteiston yhteinen luokitus nousee korkeimpaan IE4 luokkaan. Käytettävä tekniikka on uutta, joka nostaa moottorin hyötysuhteen uudelle tasolle. Tarjouksen tekninen erittely on seuraavana.

- Moottorin ja pyörimisnopeuslaitteiston valmistaja ABB, Suomi
- Moottori M3BL 200 MLA, 62 kW, 400 V, 144 A
- Pyörimisnopeuslaitteisto, ACS880-01-145A-3, 75kW, 400V, 145A, IP55
- Moottorin runkokoko sama kuin vanhassa (pituus voi olla suurempi)
- Taajuusmuuttajan alustavat mitat: lev. 252, syvyys 421, kork. 728
- Taajuusmuuttajan applikaationa JCI:n kompressorisovellus
- Vanhan moottorin hyötysuhde (IE1) 93,1
- Uuden moottorin ja taajuusmuuttajan yhteinen hyötysuhde (IE4) on 95,1
- Logiikan uudelleenohjelmointi liitteen sekvenssin mukaan

**Asennukset**

Kompressorin pyörimisnopeussäätö edellyttää vähintään seuraavia asennustöitä, jotka sisältyvät hintaan.

- Vanhan käynnistimien osittaisen purkamisen
- Uuden taajuusmuuttajan asennuksen (taajuusmuuttaja on ajateltu asentaa kompressorikoneikon päähän seinustalle)

Postiosoite/Postal address  
Hankasuontie 10  
00290 Helsinki  
Finland

Pankkiyhteys/Bank account  
Nordea  
233315-00010524

Puhelin/Telephone  
Net 020 1404 551  
Int +358 20 1404 551

Telefax/Fax  
Net 020 1404 500  
Int +358 20 1404 500

Y-tunnus/ID No  
ALV FI 1008493-5

## Pyörimisnopeussäädön tarjous, muutokset 2



Johnson Controls Finland Oy



27/03/2013

- Käynnistimen ja taajuusmuuttajan välinen kaapeli on entinen (moottorikaapeli) ja se oletetaan riittävän taajuusmuuttajalle
- Taajuusmuuttajan ja moottorin välisten kaapelien uusimisen
- Taajuusmuuttajan ja logiikan välisten kaapelien asennuksen

Suunnittelemme tarvittavat työpiirustukset asennustyön tekemiseksi.

### Ohjaukset ja säädöt

Kompressorien ohjaus ja säätö muuttuu siten, että pyörimisnopeuslaitteistolla varustetusta kompressorista (JK1) tulee järjestelmän säätävä kompressor. Johtokompressorin säätö perustuu pyörimisnopeussäätöön ja muiden kompressorien säätö perustuu askelsäätöön. Pyörimisnopeuskompressorin ohjautuessa 100 %:iin, käynnistyy seuraava vuorossa oleva kompressor heti 100 %:n teholla ja pyörimisnopeuskompressorin säätö kuormitusta vastaavaksi vähentäen tehoa, kunnes uusi tasapainopiste on saavutettu. Vastaavasti, mikäli järjestelmän tehontarve vähenee, pyörimisnopeuskompressorin pysäyttää sekvenssissä viimeisenä olevan kompressorin pois toiminnasta ja säätää kompressorin uutta tasapainotilannetta vastaavaksi. Tällä säätötavalla koko järjestelmän kylmäkerroin paranee. Liitteellä olevalla käyrällä havainnollistetaan säätösekvenssin vaikutusta kylmäkerrotimeen. Liitteen ototehossa ei ole huomioitu moottorien häviöitä kummassakaan tapauksessa.

Toinen merkittävä säästö syntyy, sillä johtokompressorin moottorin hyötysuhde paranee noin 2 % vanhaan moottoriin verrattuna. Todellisuudessa ero voi olla vielä suurempi, sillä vanhan moottorin hyötysuhde on valmistajan arvioima, mutta uuden moottorin hyötysuhde on mitattu. Uusi standardi edellyttää tarkempaa dokumentointia hyötysuhteen osalta.

Kompressorien säätösekvenssi joudutaan uudelleen ohjelmoimaan, että yllä mainitut ominaisuudet voidaan hyödyntää.

### Tarjoukseen kuulumattomat laitteet, työt ja korjaukset

Tarjouksesta on poissuljettu laitteita, töitä ja korjauksia seuraavasti:

- Kompressorien vikojen korjaus, joka huomataan asennuksen tai käyttöönoton aikana.
- Laittevikojen korjaus ohjaus ja sähkökeskuksissa, jotka huomataan käyttöönoton aikana.
- Mikäli taajuusmuuttaja paikka muuttuu tilaajan toimesta, veloitetaan kaapeleista syntyvä lisäkulu erikseen.

Postiosoite/Postal address  
Hankasuontie 10  
00390 Helsinki  
Finland

Pankkiyhteys/Bank account  
Nordea  
233315-00010524

Puhelin/Telephone  
Net 020 1404 551  
Int +358 20 1404 551

Telefax/Fax  
Net 020 1404 500  
Int +358 20 1404 500

Y-tunnus 1060493-8  
ALV FI 1006493-8

Pyörimisnopeussäädön tarjous, muutokset 3



Johnson Controls Finland Oy



27/03/2013

- Mikäli taajuusmuuttajan takia joudutaan siirtämään muita laitteita, jotta saadaan tilaa taajuusmuuttajalle, niin nämä muut työt ei sisälly tarjoukseen.
- Taajuusmuuttaja kytketään vanhan kompressorin moottorilähtöön, joka on mitoitettu 55 kW:n mukaan. Kompressorin kuormitus on entinen, mutta moottori ottaa verkosta hieman vähemmän kuin entinen moottori. Taajuusmuuttaja rajataan 55 kW:n teholle. Moottorilähdön varusteet oletetaan soveltuvan uudelle laitteistolle.

Edellä mainitut työt ja korjaukset kuitenkin tehdään, mutta ne velotaan erikseen, jos kustannuksia syntyy.

Viritys ja käyttöönotto

Tarjous sisältää seuraavat asiat:

- Taajuusmuuttajan käyttöönoton sisältäen mm. kaikkien parametrien asetukset taajuusmuuttajaan
- Kompressorin ja taajuusmuuttajan sekä käynnistyksen että testauksen
- Uuden sekvenssin määrittelyn ja testauksen

Käyttöönotto kestää yhden tai kaksi päivää siitä, kun kaikki asennukset on tehty ja laitteet ovat toimintakunnossa. Laajemmista käyttöönotoista on sovittava erikseen.

Suunnittelu ja dokumentointi

Tarjous sisältää seuraavat dokumentit

- Kytkenäkaaviot Acad Pikasso versiolla
- Taajuusmuuttajan rakennekuvat
- Taajuusmuuttajan parametritaulukot

Toimitusajat

Taajuusmuuttajan ja moottorin toimitusaika on noin 3-4 viikkoa tilauksesta, jos tuotetta on tilaushetkellä varastossa  
Toimitusaika on noin 10-12 viikkoa, mikäli moottori joudutaan erikseen tilaamaan tuotannosta  
Varastotilanne 25.3. Muutama moottori varastossa  
Asennukset, kun taajuusmuuttaja ja moottori työmaalla

Toimitusehdot KYLA 05

Takuu Takuu uusille laitteille on 1 vuosi hyväksytyistä käyttöönotosta

Postiosoite/Postal address  
Hankasuonde 10  
00290 Helsinki  
Finland

Pankkiyhteys/Bank account  
Nordea  
233315-00010524

Puhelin/Telephone  
Net 020 1404 551  
Int +358 20 1404 551

Telefax/Fax  
Net 020 1404 500  
Int +358 20 1404 500

Y-tunnus 1066493-0  
ALV FI 1066493-0

Sähkönkulutukset Leroy Somer ja ACS880 + SynRM 2013

Sähkönkulutus, Leroy Somer

Ottoteho = 41,2 kW

Vuotuiset käyttötunnit = 3725 h (14h/vrk \* 7pv/vk \* 9,5 kk)

Vuotuinen sähkönkulutus = 153470 kWh = 153,4 MWh (3725 h \* 41,2 kW )

Sähkön hintana käytetään 0,09 €/kWh, alv 0 % (Porvoon Energia, siirtomaksut ja verot)

Sähkönkulutus vuodessa = 13812,3 € (153470 kWh \* 0,09€)

---

Sähkön kulutus, ACS880 + SynRM, toimintapisteen 1800 rpm alueella

SynRM+ ACS880 ottoteho = 27,5 kW

Vuotuiset käyttötunnit = 3725 h (14h/vrk \* 7pv/vk \* 9,5 kk)

Vuotuinen sähkönkulutus = 102437 kWh = 102,4 MWh (3725 h \* 27,5 kW )

Sähkön hintana käytetään 0,09 €/kWh, alv 0 % (Porvoon Energia, siirtomaksut ja verot)

Sähkönkulutus vuodessa = 9219,3 € (102437 kWh \* 0,09€)

Laskentaesimerkin vuosisäästö (13812,3 - 9219,3) € = 4593 €/a

Vuotuinen käyttökustannuksen oletetaan olevan 0 € parantuneen prosessin huoltovarmuuden vaikutuksesta. Joten 7000 € voidaan olettaa säästyvän ylimääräisinä huoltokuluina.

## Sähköenergian säästövaikutus ja takaisinmaksuaika 2014

Takaisinmaksuaika voidaan laskea alla olevalla kaavalla 22, kun oletetaan että korko ja vuosittainen tulo on vakio. /13, s. 178/:

$$H = \frac{-\ln\left(\frac{1-T}{i-q}\right) - \ln(i)}{\ln(1+i)}$$

jossa

- $H$  investoinnin takaisinmaksuaika
- $T$  investoinnin hinta
- $q$  vuosittainen tulo
- $i$  laskentakorkokanta

Säästöt = 7000 €

Käyttökulut = 7000 - käyttökulut = 0 €

Vuosittainen tulo = 7000 €

Hankintahinta = 27500 €

Investoinnin takaisinmaksuaika ilman korkoa =  $(27500 / 7000) \text{ €} = 3,9$  vuotta

Mikäli korko otetaan huomioon ja vuosittaisen tulon oletetaan laskennassa olevan vakio.

Takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 22. /13, s. 178/:

$$H = \frac{-\ln\left(\frac{1}{0,04} - \frac{27500\text{€}}{7000\text{€}}\right) - \ln(0,04)}{\ln(1+0,04)}$$

Takaisinmaksuajaksi saadaan 4,4 vuotta.

Mikäli korko muuttuu 5 % ja vuosittaisen tulon oletetaan edelleen laskennassa olevan vakio.

Takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 22. /13, s. 178/:

$$H = \frac{-\ln\left(\frac{1}{0,05} - \frac{27500\text{€}}{7000\text{€}}\right) - \ln(0,05)}{\ln(1+0,05)}$$

Takaisinmaksuajaksi saadaan uudella koron muutoksella 4,5 vuotta.

Mikäli korko nousee enemmän esim. 6 %:n ja vuosittaisen tulon oletetaan edelleen laskennassa olevan vakio.

Takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 22. /13, s. 178/:

$$H = \frac{-\ln\left(\frac{1}{0,06} - \frac{27500\text{€}}{7000\text{€}}\right) - \ln(0,06)}{\ln(1+0,06)}$$

Takaisinmaksuajaksi saadaan uudella koron muutoksella 4,6 vuotta.

Mikäli sähköenergian hinta muuttuu ja vuosittaisen tulon oletetaan laskennassa pienevän 1000 €.

Takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 22. /13, s. 178/:

$$H = \frac{-\ln\left(\frac{1}{0,04} - \frac{27500\text{€}}{6000\text{€}}\right) - \ln(0,04)}{\ln(1+0,04)}$$

Takaisinmaksuajaksi saadaan uudella energiahinnan muutoksella 5,2 vuotta.