

Tatu Lankinen

# Paineilmakompressoreiden lämmöntal- teenotto teollisuuskohteissa

Opinnäytetyö  
Talotekniikan koulutusohjelma


Kesäkuu 2016




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b> 15.6.2016
<b>Tekijä(t)</b> Tatu Lankinen		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> <b>Talotekniikka (LVI)</b>
<b>Nimeke</b> Paineilmakompressoreiden lämmöntalteenotto teollisuuskohteissa		
<b>Tiivistelmä</b> <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Insinööritoimisto Jormakka Oy, joka sai tilauksen paineilmakompressoreiden lämmöntalteenoton suunnittelusta Abloy Oy:lta.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkitaan eri vaihtoehtoja, kuinka hyödyntää paineilmakompressoreiden tuottamaa lämpöenergiaa ja milloin sen hyödyntäminen on kannattavaa. Tavoitteena oli myös saada toimivat lämmöntalteenottojärjestelmän suunnitelmat kohteeseen, joilla järjestelmä voidaan toteuttaa.</p> <p>Nykyisin yhä kallistuneiden energianhintojen aikana, kaikki talteenotettu energia on yhä tärkeämpää. Paineilmakompressoreista saatava hukkalämmöntalteenottoa kannattaa miettiä, kun paineilman käyttö on kohtalaisen suurta. Kompressoreiden lämmöntalteenotto on monesti helposti ja melko pienillä investoinneilla toteutettavissa.</p> <p>Lämmöntalteenottojärjestelmät suunniteltiin kahdelle eri tehdas osalle, ovensuljin- ja päätehtaalle. Lämmöntalteenottojärjestelmän pitäisi poistaa lähes kokonaan ovensuljintehtaan tuloilman lämmityksen käyttämä kaukolämpöenergia. Päätehtaalla laskennalliset säästöt olivat merkittävät ja takaisinmaksuajat olivat kummallakin tehtaalla n. kaksi vuotta.</p> <p>Paineilmakompressoreiden lämmöntalteenotto on miettimisen arvoinen asia teollisuuskohteissa. Saavutettavat energiansäästöt ovat monesti hyvät investointeihin verrattuna ja lämmöntalteenotto ei välttämättä vaadi monimutkaisia järjestelmiä. Lämmöntalteenottojärjestelmällä saavutetaan energiansäästöjä ja vähennetään ympäristöhaittoja pienentyneen primaarienergian kulutuksen takia.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Paineilma, kompressori, lämmöntalteenotto, teollisuus		
<b>Sivumäärä</b> 33+11	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Petteri Järvelä		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Insinööritoimisto Jormakka Oy

## DESCRIPTION

		<b>Date of the bachelor's thesis</b> 15.6.2016
<b>Author(s)</b> Petteri Järvelä	<b>Degree programme and option</b> Building Services Engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Heat recovery from air compressors		
<b>Abstract</b> <p>This bachelor's thesis examines, how to take advantage of the thermal energy from the air-compressors and when its profitable to recover that thermal energy. The aim was also to draw up a plan for the heat recovery system of the compressor so that the system could be built.</p> <p>During nowadays more expensive energy markets, the recovered energy is becoming increasingly important. Heat recovery of air compressors is reasonable when the use of compressed air is fairly high. Heat recovery systems are often quite small so they do not need a lot of space and systems are easy to implement at low costs.</p> <p>The heat recovery systems were designed for two different parts of the factory: main factory and the second factory. Heat recovery system should almost completely eliminate the need of district heating energy used for heating the supply air in the second factory. At the main factory countable savings were significant. Payback periods for both parts of factory were approximately two years.</p> <p>The energy savings are often good compared investments and heat recovery does not necessarily require complicated systems. Heat recovery system achieves energy savings and reduces environmental damage due to the decreased consumption of primary energy.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b> compressed air, air compressor, heat recovery		
<b>Pages</b> 33+11	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b> Petteri Järvelä	<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Insinööritoimisto Jormakka Oy	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	KOMPRESSORIT TEOLLISUUDESSA.....	1
2.1	Paineilmankäyttö .....	1
2.2	Paineilman tuottaminen .....	2
2.3	Paineilman tuoton energiankulutus.....	3
2.4	Yleisimmät kompressorityypit.....	4
2.4.1	Mäntäkompressorit .....	4
2.4.2	Ruuvikompressorit.....	5
2.4.3	Erityyppisten kompressoreiden vaikutus energiankulutukseen.....	6
3	PAINEILMAKOMPRESSORIN LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄT .....	7
3.1	Lämmöntalteenoton hyödyntämistapoja.....	7
3.1.1	Ilmajäähdytteiset kompressorit .....	8
3.1.2	Vesijäähdytteiset kompressorit.....	9
3.1.3	Huomioon otettavat seikat .....	11
3.1.4	Kannattavuus.....	11
3.1.5	Yhteenvedo ilma- ja vesijäähdytteisten kompressoreiden lämmöntalteenottojärjestelmistä.....	11
4	SUUNNITELTU LÄMMÖN TALTEENOTTOJÄRJESTELMÄ KOHTEESEEN .....	13
4.1	Ovensuljintehdas.....	13
4.1.1	Säätöventtiilin TV02, paisunta-astia ja varoventtiilin mitoitus .....	19
4.1.2	Kytkenäkaavio .....	22
4.2	Päätetehdas .....	22
4.2.1	Kytkenäkaavio .....	24
5	LÄMMÖNTALTEENOTOLLA SAAVUTETTAVAT SÄÄSTÖT PÄÄ- JA OVENSULJINTEHTAALLA.....	24
5.1	Säästöt ovensuljintehtaalla.....	24
5.2	Säästöt päätetehdaalla.....	27
5.3	Takaisinmaksuaika .....	28
5.3.1	Ovensuljintehdas.....	29
5.3.2	Päätetehdas.....	29



6	POHDINTA .....	30
7	LÄHDELUETTELO .....	32

#### LIITTEET

Liite 1. Ovensuljintehdas kytkentäkaavio

Liite 2. Päätehdas kytkentäkaavio

Liite 3. Ovensuljintehdas tasokuva kompressori LTO

Liite 4. Ovensuljintehtaan pumppu Grundfos magna 3 100-F

Liite 5. Ovensuljintehdas laskelmat

Liite 6. Kompressoreiden käyttöaste

Liite 7. Ovensuljintehdas laiteluettelo

## **1 JOHDANTO**

Nykyään uudisrakennuksille tavoitellaan mahdollisimman pientä energiankulutusta ja vanhempia rakennuksia saneerataan energiatehokkaammiksi.

Energiankulutuksen vähentämiseen on monia keinoja, mutta hukkalämmöntalteenotto on yksi vaihtoehto. Lämpimän ilman tai veden johtaminen ulos sitä hyödyntämättä, on yleistä, mutta yhä enemmän mietitään keinoja, kuinka tämä lämpöenergia voitaisiin hyödyntää.

Opinnäytetyön aiheena on tutkia Abloy Oy:n paineilmakompressoreille hukkalämmöntalteenottoa. Työn tilaus tuli Abloylta, jossa huomattiin paineilmakompressoreiden lämmöntalteenoton suuri energiansäästö mahdollisuus. Lämmöntalteenottojärjestelmien on tarkoitus tulla kahdelle eri tehtaalle, ovensuljin- ja päätehtaalle. Tehtailla käytetään paljon paineilmaa, mm. eri prosesseihin ja komponenttien puhdistamiseen.

Paineilman tuottoon menee 10 % tehtaiden käyttämästä sähköstä. Kummallakin tehtaalla sijaitsevat paineilmakompressorit ovat kokoluokaltaan suuria, yli 100 kW kompressoreita.

Abloylla arvostetaan kestävästä kehityksestä ja Abloyn periaatteisiin kuuluu tuotteiden paras laatu, pitkä käyttöikä ja pienimmät ympäristövaikutukset. Abloy pyrkii vähentämään energiankulutusta vuosi vuodelta. Viimeisen kolmen vuoden aikana, Abloy on vähentänyt energian kulutusta yli 14 % kutakin valmistettua tuotetta kohti.

Opinnäytetyössä esitellään yleisesti paineilmakompressoreita ja niiden käyttöä teollisuudessa sekä kompressoreiden lämmöntalteenottojärjestelmien toimintaperiaatteita. Työssä esitellään myös tehdasalueille suunnitellut kompressoreiden lämmöntalteenottojärjestelmät ja niiden takaisinmaksuajat. Tavoitteena oli saada toimivat ja kustannustehokkaat suunnitelmat, joilla järjestelmät pystytään toteuttamaan.

## **2 KOMPRESSORIT TEOLLISUUDESSA**

### **2.1 Paineilmankäyttö**

Paineilmaa käytetään nykyään lähes kaikkialla. Etenkin monilla teollisuuden aloilla toimiminen ilman paineilmaa on mahdotonta, koska tällöin teollisuuden prosessit eivät

toimisi. Paineilmaa käytetään mm. prosessien ohjaamiseen, säätämiseen, työkalujen voimanlähteenä, tavaroiden siirtämiseen ja ilman syöttämiseen prosessiin. [1, s. 1.]

Paineilman käytön avulla töitä saadaan nopeutettua ja helpotettua. Paineilmakäytön etuuksia ovat mm. turvallisuus, helppo säädettävyys, vähäinen huollontarve, väliaineen eli ilman puhtaus sekä paineilmaa käyttävät laitteet ovat yleensä halvempia ja keveämpiä kuin sähkökäyttöiset laitteet.

Paineilman haittapuolina on saatavan paineen alhaisuus n. 6-10 baaria, kokoonpuristuvuus ja sen tuottamisen huono hyötysuhde, joka tekee sen monesti kalliiksi energiamuodoksi. [2, s. 1-2]

## **2.2 Paineilman tuottaminen**

Paineilman tuotetaan kompressorikeskuksella. Kompressorikeskus koostuu kompressorista, jälkijäähdyttimestä, paineilmasäiliöstä, suodattimista ja paineilman kuivaimesta. Kompressorikeskuksen koko riippuu tuotettavasta ilman määrästä, paineesta ja ilman laadusta. [1, s. 34.]

Kompressorilla nostetaan ilman/kaasun painetta vähintään kaksinkertaiseksi imupaineeseen nähden. Kompressorit toimii lähes aina sähkömoottorilla ja joskus omalla polttomoottorilla. Kompressorit imee ilman suodattimen läpi ja nostaa sen paineen yleensä enintään 6-10 baarin paineeseen. Tämän jälkeen ilma johdetaan yleensä välijäähdyttimen kautta paineilmasäiliöön. Paineilmasäiliötä käytetään paineilmajärjestelmän paineen tasaamiseen. Säiliöstä paineilma johdetaan paineilmaverkostoon. [3; 1, s.37.]

Kompressorissa tapahtuva ilman puristuminen on polytrooppista eli osa puristuslämmöstä johdetaan pois puristustilasta. Puristus voi tapahtua kineettisesti, staattisesti tai ns. vapaavirtausperiaatteen mukaisesti. [4, s.15.]

Kineettisessä puristuksessa ilma kiihdytetään tiettyyn nopeuteen ja virtausta jarruttaessa, paine alkaa nousta. Kineettisessä puristuksessa virtaus on tasaista ja jatkuvaa, sillä imu- ja painetilat ovat jatkuvasti yhteydessä toisiinsa. Kineettisiä kompressoreita ovat ns. turbokompressorit eli aksiaali- ja radiaalikompressorit.

Staattisessa puristuksessa ilma suljetaan kammioon, jonka tilavuutta muutetaan. Tällöin tilavuuden pienentyessä paine kasvaa ja tilavuuden kasvaessa paine laskee. Staattinen

puristus tapahtuu aina sykleittäin eikä siis jatkuvasti. Staattisesti puristavia kompresso-reita ovat esim. ruuvi- ja mäntäkompressorit.

Vastavirtauspuristuksessa ilma siirretään imupuolelta painepuolelle, kahden pyörivän roottorin avulla. Paine nousee virtausta vastustaessa. Kiertomäntäkompressorit ovat vastavirtauspuristavia ja niitä käytetään pienten ylipaineiden tuottamiseen, n. 1 baari.

[1, s. 36 - 37; 4, s.16]

### **2.3 Paineilman tuoton energiankulutus**

Paineilmakompressorin hankintahinta ja asennuskustannukset ovat yleensä pieni osa elinaikaisista käyttökustannuksista. Käyttökustannukset koostuvat pääasiassa paineil-makompressorien suuresta energiankulutuksesta. Oikein suunnitellulla kompressorijär-jestelmällä on kuitenkin merkittävä vaikutus energia- ja huoltokustannuksiin.

[5, s. 2.]

Paineilman kehittämiseen tarvitaan paljon energiaa. Energiankäytön hyötysuhde on monesti todella huono, jopa vain muutamia prosentteja. ”Paineilman energiahyötysuh-detta kuvaa se, että paineilmalla kehitetyn mekaanisen energian tuottaminen vaatii 3-6 kertaa enemmän energiaa kuin suora sähkökäyttö. Tästä huolimatta paineilmaa käyte-tään, koska sen suorittamat monipuoliset toiminnot korvaavat huonoa hyötysuhdetta”.

[2, s. 1.]

Keskimäärin teollisuuden sähköenergiasta kuluu paineilman tuottamiseen 3-12 %. Tämä sähköenergia on siitä oleellinen, että sen kulutuksen pienentämiseen ja paineil-makompressoreiden lämmöntalteenottoon voidaan vaikuttaa kohtuullisin keinoin. Pie-nemmissä yrityksissä paineilmakompressorit saattaa olla suurin yksittäinen energianku-luttaja. [2, s. 1.]

Kompressorin osuus paineilman kehittämiseen ja käsittelyyn käytetystä energiasta on yli 90 %. Kompressorin tehohäviöt voidaan jakaa puristustyön häviöihin ja mekaanisiin häviöihin. Häviöt ilmenevät, koska kompressorit tuottavat huomattavasti lämpöä. Me-kaaniset häviöt ovat kitkahäviöitä ja puristustyön häviöt johtuvat mm. paineaukon vir-tausvastuksesta, imuvirtauksen lämpenemisestä ja kaasuvuodoista. [5, s.3; 4, s. 21]

Kompressorin tuottopaineen nousu lisää energiantarvetta ja paineilman kulutusta. Näin ollen on erityisen tärkeää valita oikea käyttöpain ja putkiston koko. Tuottokustannuksiin vaikuttaa myös kuormitus- ja tyhjäkäyntijaksot, jotka lisäävät energiankulutusta ja huollon tarvetta. Tuotetun paineilman kustannukset saadaan pidettyä alhaisina, kun paineilman tuotto on lähellä paineilman kulutusta. [5, s. 3.]

Paineilman energiakulutuksen säästötoimenpiteet ovat tapaus- ja kohdekohtaisia. Säästötoimenpiteiden kannattavuuteen vaikuttavat: paineilmalaitoksen käyttöaste ja siitä johtuva kulutuksen vaihtelevuus, sähkön hinta, paineilmalaitoksen koko ja sen ikä sekä huollon tarve. Säästötoimenpiteet voidaan jakaa tyyppilisiin huolto- ja käyttötoimenpiteisiin, kuten vuotopaikkojen etsintä ja esim. suodatin tyyppin vaihtaminen sekä suurempiin investointeihin, joita on esim. kompressoreiden lämmöntalteenotto- ja ohjausjärjestelmä sekä kompressoreiden uusiminen. [6, s. 4.]

## **2.4 Yleisimmät kompressorityypit**

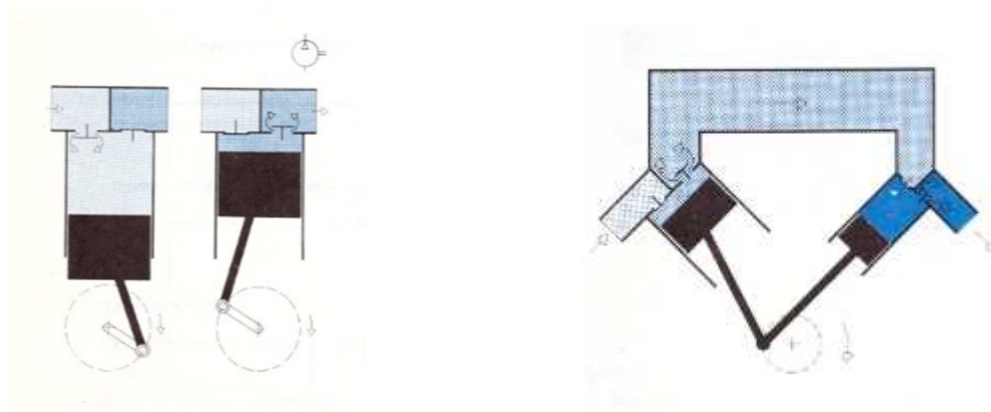
Kompressorit voidaan jakaa puristustavan ja mekaanisen rakenteen mukaan. Puristustapoja ovat staattinen, kineettinen ja vastavirtaus. Yleisimmät teollisuus käytössä ovat staattisestipuristavat, jotka voidaan jakaa mekaanisen rakenteen mukaan mäntä-, kalvo-, ruuvi- ja z-ruuvikompressoreihin. Alla on käsitelty tarkemmin kahta yleisintä, mäntäkompressoria ja ruuvikompressoria. [4, s. 25]

### **2.4.1 Mäntäkompressorit**

Mäntäkompressori voi olla yksi-, kaksi- tai monivaiheinen sekä yksi- tai kaksitoiminen. Yksivaiheisessa kompressorissa ilma puristetaan suoraan imupaineesta loppupaineeseen. Kuvassa 1 vasemmalla yksivaiheinen mäntäkompressori, jossa männän liikkuessa alaspäin, ilma virtaa sylinteriin. Männän liikkuessa ylöspäin ilma puristuu sylinterissä, josta se johdetaan poistoventtiilin kautta paineilma-verkostoon.

Kaksivaiheisessa mäntäkompressorissa puristuksessa on kaksi vaihetta. Ensimmäisessä sylinterissä ilmaa puristetaan jonkin verran, mutta ilma saavuttaa lopullisen paineen mentyään välijäähdyttimen kautta toiseen sylinteriin, jossa se puristetaan loppupaineeseen. Mäntäkompressorin pääosat ovat: mäntä, sylinteri, imu- ja paineventtiilit sekä kampikammio johon kuuluvat kampiakselit ja kiertokanget. [7, s.16 - 17]

Yksivaiheinen mäntäkompressori on huomattavasti suurempi energian kuluttaja kuin kaksivaiheinen mäntäkompressori. Yksivaiheinen kompressori kuluttaa jopa 15–50 % enemmän energiaa kuin kaksivaiheinen. Yksivaiheisia kompressoreja näkee nykyään enää harvoin, johtuen niiden suuresta energian kulutuksesta. [6, s.11.]



**Kuva 1. Yksi- ja kaksivaiheinen mäntäkompressori. [7, s. 16 - 17]**

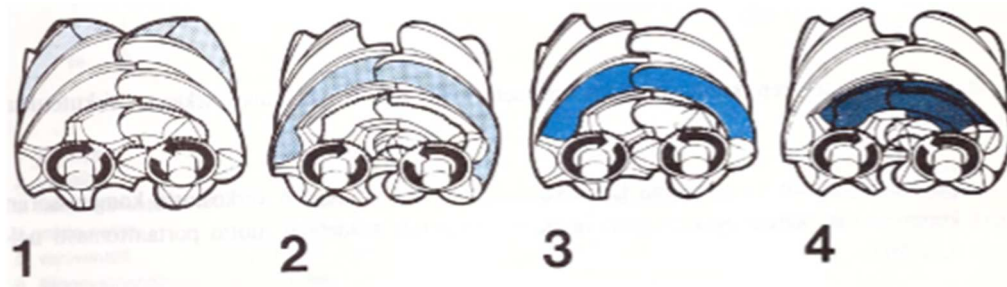
Mäntäkompressoreilla ilmantuottoalue on hyvin laaja. Ilmantuottoalue alkaa 1 l/s tuotosta ja se voi olla kymmeniä kuutiometrejä sekunnissa.. Painealuekin on laaja, n. 1 baarin ylipaineesta yli 1000 baarin paineisiin saakka. [4, s. 26.]

Mäntäkompressorin soveltuvuusalueen vuoksi sen rakenne vaihtelee hyvin suuresti. Normaalina kampimekanismia käytetään pienissä ja keskisuurissa kompressoreissa. Kaikkein suurimmat mäntäkompressorit ovat usein ns. boxer -tyyppiä ja korkeapainekompressorit ovat vielä erilaisia rakenteeltaan. [4, s. 26.]

#### **2.4.2 Ruuvikompressorit**

Ruuvikompressorissa on kaksi rynnössä olevaa roottoria, ruuvi- ja luistiroottori. Kun roottorit ovat rynnössä, ne pyörivät vastakkaisesti suuntiin. Roottoreita ympäröi kompressorin runko. Nämä muodostavat kompressorin puristustilan, johon roottorit imevät ilmaa rungossa olevan imuaukon kautta, kun niiden urat ovat aukon kohdalla (kuva 2, vaihe 1). Roottoreiden pyöriessä yhteys imuaukkoon katkeaa ja ilma jää suljettuun tilaan (kuva 2, vaihe 2). Tilan pienentyessä pyörimisen jatkuessa ilma puristuu ja kun toiminnan kannalta taloudellisin paine on saavutettu, paineilma virtaa poistoaukon kautta paineputkeen (kuva 2, vaihe 3-4). Puristus on staattinen. Kompressorit voivat olla öljyttömiä, jolloin roottoreiden välillä on aina välitys tai voideltuja, jolloin roottorit

koskettavat toisiaan. Öljyttömiä kompressoreita käytetään useissa käyttökohteista ja etenkin silloin, kun öljyn käytöstä on haittaa. Niiden painesuhde on voideltuja pienempi. [1, s. 39 - 40.]



**Kuva 2. Ruuvikompressorin toiminta. [7, s.21.]**

Ruuvikompressoreiden osuus kompressoreista teollisuuskäytössä on yli 90 %. Ruuvikompressoriyksikkö on yleensä heti asennusvalmis, melko hiljainen suurehko kaappi, koostuen ruuviyksikön lisäksi mm. öljysäiliöstä sekä ilman ja öljynjäähdyttimistä. [1, s. 40.]

### 2.4.3 Erityyppisten kompressoreiden vaikutus energiankulutukseen

Kompressorityyppillä on merkittävä vaikutus kompressorin energiankulutukseen. Suuria kompressoreja tarkastellessa todetaan, että vesijäähdytteinen mäntäkompressor on energiataloudellisesti n. 10–15 % ruuvikompressoria parempi. Ruuvikompressorit kuluttavat myös kevennetyllä käynnillä suhteellisesti enemmän kuin mäntäkompressorit. Kompressoreiden huollon tarpeessa ja käyttöiässä on myös eroja. Ruuvikompressorit toimivat matalammassa lämpötilassa, joka vaikuttaa öljyn höyrystämiseen ja huollon tarpeeseen. Ruuvikompressorit ovat myös monesti parempia äänenvaimennuksen ja jäähdytysilman käytön kannalta. Kun mäntäkompressorit kuluttavat venttiileitä ja männän renkaita, on monesti huoltovapaampi ruuvikompressorin järkevämpi valinta. Tästä syystä ruuvikompressorit ovatkin syrjäyttäneet teollisuudessa mäntäkompressorit, vaikka niiden energiataloudellisuus ei yltäisi aivan mäntäkompressoreiden tasolle. [6, s.10.]

Öljytön kompressorin ei tarvitse öljyn suodattimia. Tämän takia öljyttömällä kompressorilla voidaan käyttää suodattimien painehäviöiden verran alempaa painetta. Öljytön kompressorin on kuitenkin öljytiivistettyä kompressoria kalliimpi ratkaisu ja öljyttömän

ruuviyksikön käyttöikä on jopa yli puolet pienempi. Öljytöntä ilmaa voidaan tehdä myös mäntäkompressoreilla, joiden männänrenkaat ovat teflon- tai hiilitiivisteiset. Näidenkin kompressorien huollon tarve on tiheämpi kuin öljytiivistettyjen tai – voideltujen. [6, s.10.]

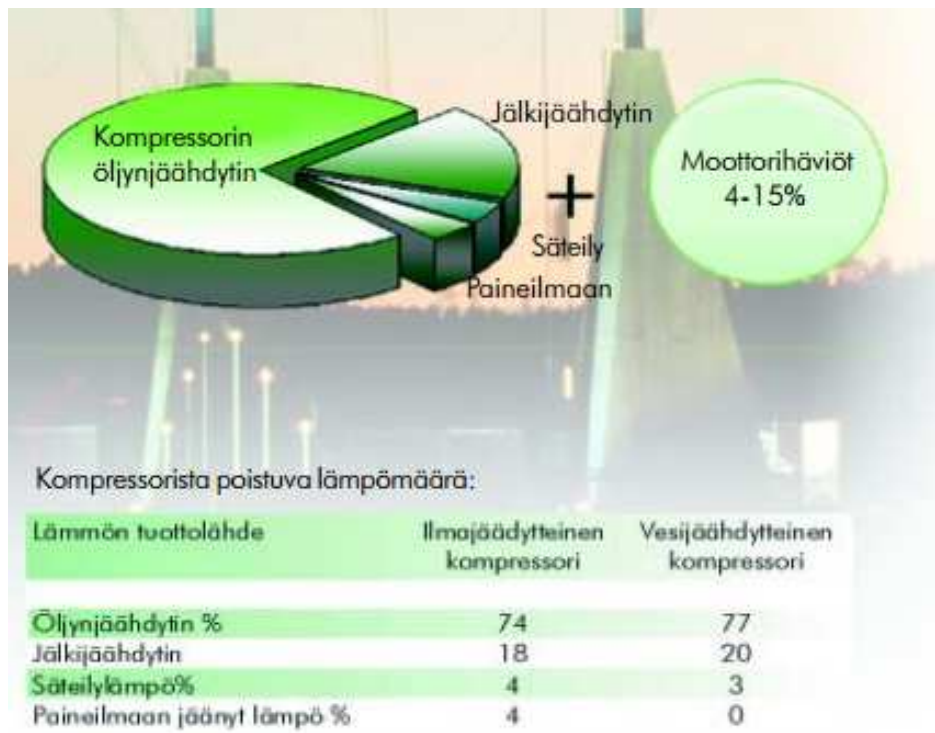
### **3 PAINEILMAKOMPRESSORIN LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄT**

#### **3.1 Lämmöntalteenoton hyödyntämistapoja**

Nykyaikaiset kompressorit, soveltuvat lähes poikkeuksetta erilaisille lämmöntalteenotto ratkaisuille. Parhaiten soveltuvat voitelemattomat tai öljyvoidellut ruuvikompressorit. Lämmöntalteenoton kannattavuus riippuu kompressorin koosta ja käyntiajoista etenkin kuormitustilanteessa sekä lämmöntalteenoton hyödyntämiskohteista. Lämmöntalteenoton hyödyntämistavat riippuvat siitä, minkälaiset kompressorit ovat käytössä ja halutaanko saada lämmintä vettä vai ilmaa.

Öljyvoidellun kompressorin öljynjäähdyttimeltä saadaan suurin osa lämpöenergiasta (kuva 3). Nykyisissä koteloiduissa kompressoreissa lämmöntalteenoton avulla saadaan lähes kaikki lämpömäärä hyödynnettyä. Kotelon ansiosta usein myös moottorihäviöt saadaan hyödynnettyä, joten ainoastaan paineilmaan jäänyt lämpö ei ole hyödynnettävissä.





**KUVA 3. Kompressorista hyödynnettävissä oleva lämpömäärä [5, s. 3.]**

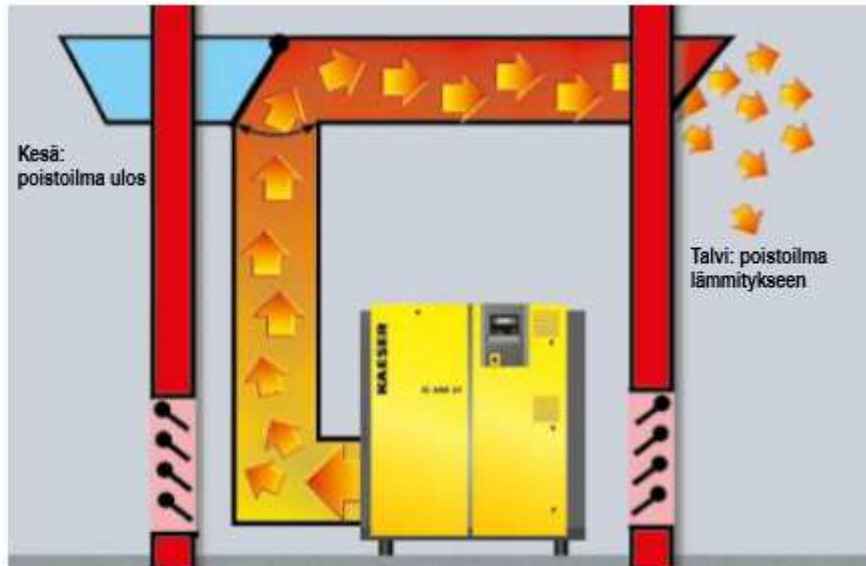
### 3.1.1 Ilmajäähdytteiset kompressorit

Kompressorista on hyödynnettävissä lämpöenergiana lähes kokonaan sen ottama energiamäärä. Yksinkertaisin tapa käyttää kompressorin tuottama lämpö hyödyksi on läheisten tilojen lämmittäminen, kun käytössä on ilmajäähdytteinen paineilmakompressori. Tämä vaatii ainoastaan kanavoinnit kompressorista lämmitettäviin tiloihin ja tilanteesta riippuen lisä puhallimen. Kompressoreissa on jo monesti oma puhallin kuuman ilman poistamiseen, mutta lisäpuhallin voi olla tarpeen, jotta saavutetaan riittävästi painetta kanavistoon ja jos tuloilman suodatin lisätään, on lisäpuhallin usein välttämätön. [8, s.3; 6, s.18.]

Lämmöntalteenoton avulla puristuksessa syntynyt lämpö ohjataan talvella lämmitettäviin tiloihin ja kesä aikaan lämpö johdetaan ulos (Kuva 4). Tämä onnistuu esim. kanaavaan sijoitettavan säätöpellin/-läpän avulla. Säätöläppää voidaan ohjata termostaatin avulla, jolloin termostaatti ohjaa läpän asentoa tarvittun lämmön tarpeen mukaan. Lämmintä ilmaa voidaan käyttää tilojen lämmittämisen lisäksi teollisuudessa kuivaukseen, ilman esilämmitykseen ja lähes kaikkialle missä tarvitaan lämmintä ilmaa.

Kompressorihuoneen lämmitys pitää kuitenkin myös huomioida, ellei sillä ole erillistä lämmitysjärjestelmää tai muuta lämmön lähdettä kuin kompressori. Monesti edes osa

kompressorilla syntyneestä lämmöstä pitäisi johtaa itse kompressorihuoneeseen. Tällöin esim. kuvan 4 piirustukseen pitäisi lisätä kanava, josta ilma puhallettaisiin osaksi kompressorihuoneeseen. Kompressorien jäähdytysilman käytössä on myös huomioita, että huoneisiin puhallettava ilma pitää olla puhdasta, eikä saa sisältää haitallisia epäpuhtauksia. [6, s.18.]



**KUVA 4. Ilmajäähdytteisen kompressorin lämmöntalteenotto. [9, s. 19.]**

Jos ilmajäähdytteisen kompressorin ilmaa ei voida suoraan käyttää hyödyksi, on lämpö mahdollista hyödyntää myös välillisesti, lämmönvaihtimen avulla. Lämmönvaihtimen avulla ilmajäähdytteiselle kompressorille saadaan samat talteenoton käyttökohteet kuin vesijäähdytteiselle kompressorille. [6, s.18 – 19.]

### 3.1.2 Vesijäähdytteiset kompressorit

Vesijäähdytteisissä komessoreissa jäähdytysvesi jäähdyttää öljyn jäähdyttäjää ja mahdollisesti myös jälkijäähdyttäjää.

Vesijäähdytteisissä mäntä- ja ruuvikompressoreista saadaan yleensä n.+50 °C vettä.

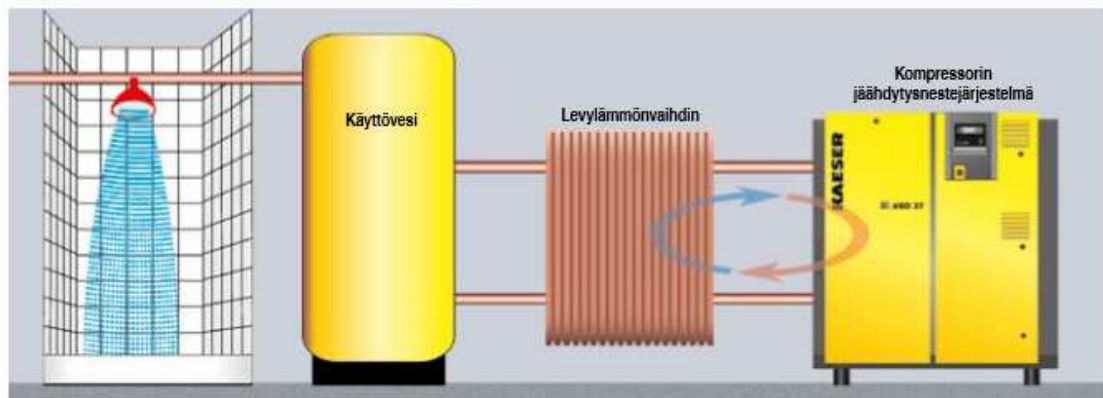
On kuitenkin mahdollista, että kompressorista saadaan jopa.+90 °C vettä, mutta tällöin on tärkeää huomioida jäähdytysvesivirta. Korkeilla lämpötilaeroilla jäähdytysvesivirta saattaa mennä liian pieneksi ja tällöin kompressorin jäähdytys ei ole enää niin tasaista. Liian korkealla jäähdytysveden ulostulolämpötilalla lisätään yleensä huollon tarvetta. Se saattaa lisätä etenkin mäntäkompressoreilla käsittelemättömällä vedellä kattilakiven muodostumista jäähdytyskanavistoon ja öljykarstan muodostumista venttiilien lähelle.

Lisäksi lisääntynyt karstan muodostus ja korkeakäyttölämpötila suurentaa riskiä, että öljykarsta saattaisi syttyä paineputkessa. Korkealla jäähdytysveden lämpötilalla lisätään myös kompressorin jälkikäsitteily laitteiston kuormitusta. Jos kuitenkin on välttämätöntä saada nostettua jäähdytysveden ulostulolämpötilaa, sitä voidaan nostaa lämpöpumppujen avulla. [6, s. 19; 4, s. 92.]

Talvella kompressorille tuleva jäähdytysvesi on viileämpää kuin kesällä. Tällöin jos käytössä on sama lämpötilaero, niin ulostulevan veden lämpötila on talvella alhaisempi kuin kesällä. Tämän takia lämpöpumppu ja sekoituskytkentä voi olla välttämätön.

Nykyisin patteriverkostojen ja ilmanvaihtolaitoksien suunnittelulämpötilat ovat kuitenkin alhaisempia kuin vuosikymmeniä sitten. Tällöin matalalämpöinenkin vesi voi olla riittävä, ainakin ilmanvaihtoverkoston lämmittämiseen. [6, s. 19.]

Kompressorin käydessä, jäähdytysvesi lämpenee ja sen lämpöenergia voidaan käyttää hyödyksi, kun käytetään suljettua vesikiertoa esim. tuloilman-, käyttöveden- ja radiatoreiden lämmitykseen. Lämpöenergia saadaan siirrettyä käyttökohteeseen levylämmönsiirtimen avulla (kuva 5).



**KUVA 5. Veden lämmitys kompressorin lämmöntalteenoton avulla. [9, s. 19.]**

Vesijäähdytteisten kompressoreiden lämmöntalteenotosta saatavalle lämpöenergialle on enemmän usein käyttökohteita kuin ilmajäähdytteisille kompressoreille (ilman lämmönvaihdinta), mutta vesijäähdytteiset vaativat yleensä kalliimmat lämmöntalteenottojärjestelmät. [4, s. 92.]

### **3.1.3 Huomioon otettavat seikat**

Paineilmatuotanto ja sen toimivuus on kompressorien tärkein tehtävä. Tämä pitää muistaa kompressoreiden lämmöntalteenottojärjestelmiä suunniteltaessa. Kompressoreiden jäähdytystä ei saa riskeerata lämmöntalteenottojärjestelmällä, siksi se ei saisi olla kompressorin ensisijainen jäähdytysjärjestelmä. Lämmöntalteenottojärjestelmän toimiessa ensisijaisena jäähdytysjärjestelmänä, sen toimintahäiriö vaarantaisi kompressoreiden jäähdytyksen ja lopulta koko paineilmatuotannon. [9, s. 19.]

### **3.1.4 Kannattavuus**

Vertaillessa jäähdytyslämmön hyödyntämistä sen aiheuttamiin kustannuksiin, voidaan todeta, että mitä pienempi kompressorikyseessä, sitä epätaloudellisempaa se on. Kompressorin moottoritehon ollessa yli 10-30kW on jäähdytyslämmön hyödyntäminen usein kannattavaa. [4, s. 93.]

Kompressorin jäähdytyslämpö kannattaa siis ottaa talteen jo keskisuurista kompressoireista lähtien. Taloudellisesti ajateltuna LTO-järjestelmän kustannukset verrattuna saavutettavaan hyötyyn ratkaisevat. Eri yrityksistä riippuen, kannattava takaisinmaksuaika on yleensä 1-5 vuotta. Tilannetta, jossa lämmöntalteenottolaitoksen investointien korkeat ja huoltokulut ovat samansuuruisia saavutetun hyödyn kanssa, voidaan pitää äärimmäisenä takarajana. [4, s. 92.]

Kompressorin lämmöntalteenottojärjestelmän takaisinmaksu aikaan vaikuttaa kompressorien kuormitusaste, lämmönsiirtomatka ja matkalla tapahtuva säteily sekä lisäpuhalltimien kustannus ja vuotuinen käyttötuntimäärä. [4, s. 93.]

### **3.1.5 Yhteenveto ilma- ja vesijäähdytteisten kompressoreiden lämmöntalteenottojärjestelmistä**

Taulukkoon 1 on eritelty ilma- ja vesijäähdytteisten paineilmakompressoreiden hyödynnettävissä oleva lämpömäärä, lämmöntalteenoton eri toteutustapoja, hyödyntämis-kohteita, huomioitavia asioita ja yksinkertainen investointilaskelma kompressoreiden avulla säästetystä energiasta.

**TAULUKKO 1. Yhteenveto vesi- ja ilmajäähdytteisten paineilmakompressoreiden LTO-järjestelmistä**

	<b>Ilmajäähdytteiset kompressorit</b>	<b>Vesijäähdytteiset kompressorit</b>
<b>Hyödynnettävissä lämpöenergiana kompressoriin syötetystä sähköenergiasta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Koteloitu nykyaikainen kompressori <b>n. 95%</b></li> <li>- (- Öljyn jäähdyttimeltä n.72%</li> <li>- - sähkömoottorin ja paineilman luovuttama lämpö n.23%</li> <li>- - loput 5% jääpaineilmaan)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Koteloitu nykyaikainen kompressori <b>n. 90-95%</b></li> <li>- (- Öljyn jäähdyttimeltä n.77%</li> <li>- - sähkömoottorin ja paineilman luovuttama lämpö n.21%</li> <li>- - loput 2% jääpaineilmaan)</li> </ul>
<b>Lämmöntalteenoton toteutus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kanavoinnit lämmitettäviin tiloihin ja mahdollisesti puhallin</li> <li>- Automaatiojärjestelmä tarvittaessa.</li> <li>- Toteutus yleensä halvempi kuin vesijäähdytteisillä jos ei lisätä lämmönvaihdinta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Putkisto, pumput, venttiilit ja lämmönsiirtimet</li> <li>- Automaatiojärjestelmä lähes poikkeuksetta</li> <li>- Toteutus yleensä kalliimpi kuin ilmajäähdytteisillä kompressoreilla</li> </ul>
<b>Hyödyntämiskohteita</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tilojen lämmitys, esim. varastot ja teollisuushallit, kuivausprosessit sekä oviaukkojen lämmitys</li> <li>- erillisen lämmönvaihtimen avulla samat hyödyntämiskohteet kuin vesijäähdytteisellä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Käyttöveden lämmitys</li> <li>- Patteriverkoston esilämmitys</li> <li>- Vedenlämmitys teollisuudessa, esim. pesuveden lämmitys</li> </ul>
<b>Huomioitavat asiat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kesällä tilojen lämmitystä ei tarvita, mutta kompressorin jäähdytyksestä on kuitenkin huolehdittava.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jäähdytysveden ulostulolämpötila yleensä maksimissaan n. 60 °C. Liian korkea lämpötila lisää huollon tarvetta.</li> </ul>
<b>Kompressorin koko/säästö</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laskenta esimerkki:</li> <li>- Kompressorin lämpöenergia hyödynnettävissä työaikana, lämmityskaudella n. 800 h/a.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lähes samat säästöt kuin ilmajäähdytteisellä</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Talteenotettu energiamäärä erikokoisilla kompresso-reilla:</li> <li>- 5kW kompressori:</li> <li>- 3 800 kWh/a</li> <li>- 20kW kompressori:</li> <li>- 15 200 kWh/a</li> <li>- 100kW kompressori:</li> <li>- 76 000 kWh/a</li> <li>- Talteenotettu energiamäärä muutet-tuna sähköhinnaksi (0,1 €/kWh):</li> <li>- 5kW kompressori:</li> <li>- 380 €/a</li> <li>- 20kW kompressori</li> <li>- 1520 €/a</li> <li>- 100kW kompressori</li> <li>- 7600 €/a</li> <li>- (Laskenta perustuu siihen, että kom-pressorin koko olisi yhtä suuri kuin kompressoriin syö-tetty sähköenergia.)</li> </ul>	
--	--	--

## 4 SUUNNITELTU LÄMMÖN TALTEENOTTOJÄRJESTELMÄ KOHTEESEEN

### 4.1 Ovensuljintehdas

Ovensuljintehtaalla on vain yksi paineilmakompressori Hertz frecon 160 plus. Kompressorista saadaan kuitenkin talteen, jopa 138 kW lämpöenergiaa. Lämpöenergia hyödynnetään tuloilman lämmitykseen lämmönvaihtimen avulla ja se riittää kattamaan lähes kokonaan tuloilman energian tarpeen. Tuloilman lämmitykseen päädyttiin, koska

tehdastila on ilmalämmitteinen joten sen lämmittämiseen tarvitaan paljon lämmitysenergiaa. Muita vaihtoehtoja lämmöntalteenotolle olisi ollut käyttöveden lämmitys ja ilman puhaltaminen suoraan lämmitettävään tilaan. Käyttöveden kulutus on kuitenkin tehdasosalla vähäistä ja ilman puhaltaminen olisi vaatinut kanavoinnit ja suuret läpivienti reiät tehdastilaan.

Kompressorin on käynnissä usein, koska tehtaalla tehdään monivuorotyötä.

Ilmatieteenlaitokselta saatujen V. 1981 - 2010 ulkolämpötilojen keskiarvoilla lasketuna, kompressorin tuottaa lähes kokonaan tuloilman tarvitseman lämpöenergian. Ainoastaan kaikista kovimmilla pakkasilla tarvitaan lisälämpöä kaukolämmöstä.

Kompressorin jäähdytysveden kierto on yhdistetty lämmönsiirtimellä nestekiertoiseen thermonet -lämmöntalteenottojärjestelmään. Thermonet -järjestelmä on vanhempi versio Fläkt Woods oy:n nykyisestä nestekiertoisesta econet -lämmöntalteenottojärjestelmästä.

Thermonet -järjestelmässä kiertävän jäähdytysnesteen lämpötila on alhainen, joten sen lämmittäminen soveltuu hyvin kompressorille, koska kompressorissa ei ole järkevää kierrättää kovin korkea lämpöistä nestettä.

Ovensuljintehtaan paineilmakompressorin on ilmajäähdytteinen. Ilmajäähdytys on kompressorin ensisijainen jäähdytystapa ja se huolehtii kompressorin jäähdyttämisestä, kun thermonet -järjestelmässä ei ole lisää lämmöntarvetta. Thermonet -järjestelmässä voi olla lämmöntarvetta, mutta ei niin paljon, että se riittäisi jäähdyttämään kompressorin. Tällöin kompressorin voidaan jäähdyttää sen automatiikan avulla sekä talteenottojärjestelmällä että ilmajäähdytyksellä.

Thermonet -järjestelmässä on jo olemassa valmiit laippaliitännät lisälämpöä varten, tässä tapauksessa kompressorin varten. Laippaliitännät olivat kuitenkin väärässä paikassa. Valmiit liitännät ovat tuloilmapatterin jälkeen ja ennen poistoilmapatteria. Kytkeä on kuitenkin ehdottomasti tehtävä niin, että kompressorin tuottama lämpöenergia tuodaan thermonet -järjestelmään poistoilmapatterin jälkeen ja ennen nykyistä kaukolämmön toisiopuolen lämmönsiirintä. Tällöin välttyään siltä, että kompressorille palaava vesi saattaisi olla alle 10 °C ja poistoilmapatteri jäähdyttäisi kompressorilta palaavaa nestettä. Myös nykyisissä Econet -järjestelmissä, ns. ilmais-/lauhdelämpöenergia

tuodaan poistoilmapatterin jälkeen. Kompressorin valmistajan mukaan kompressoria jäähdyttävä neste ei saa olla alle 10 °C.

Kompressorista saadaan lämpöenergia lämmöntalteenotto-piiriin kompressorin öljystä, lämmönvaihtimen kautta. Lämmönvaihdin oli kompressorissa tehtaalta tullessa. Uusi lämmönsiirrin on kompressorin jäähdytysveden kierron ja thermonet -piirin välissä, koska thermonet -piirissä on vahvempi 35 % etyyliglykoli-vesi seos.

Pumpuksi valittiin nykyaikainen Grundfos magna 3-100F kiertovesipumppu (Liite 4). Pumpun valintaa puolsivat monipuoliset ominaisuudet, etenkin sen sisäänrakennettu lämpöenergian mittausta mahdollisuus. Tämän takia erillistä energiamittaria ei tarvittu. Energiamittauksen tarkkuus on hyvä  $\pm 1$  %, kun pumppua käytetään normaalilla toiminta-alueella. Kriittisillä toiminta alueilla pumpun energiamittauksen tarkkuus voi vaihdella 10 %:lla, tämän takia sitä ei voi käyttää muun muassa laskutuksessa. Kohteeseen energiamittauksen tarkkuus on kuitenkin riittävä, koska energiamittaus on vain talteen otetun lämpöenergian seuranta varten, eikä sitä käytetä laskutuksessa.

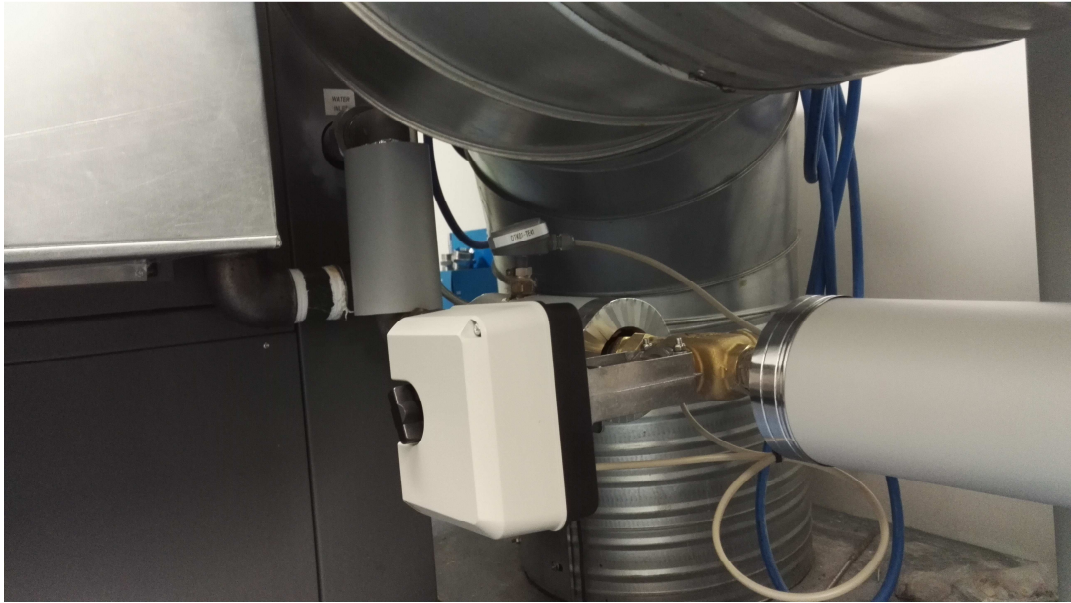
Pumpun mitoituksessa oli huomioitava talteenotto-piiriin painehäviöt. Suuria painehäviöitä piirissä tuottaa 2-tiesäätöventtiili ja lämmönsiirtimet, etenkin kompressorin sisäinen lämmönsiirrin, jonka painehäviö oli n. 20 kPa (Liite 5). [10, s. 27.]



**KUVA 6. Grundfos Magna lämmönjohtopumppu, jossa myös energiamäärän mittausta**



Kompressorin lämmöntalteenoton säätöventtiili PIKLTO01-TV02 (kuva 7) avautuu, kun thermonet -järjestelmä ei saa pidettyä tuloilman lämpötilaa tavoite- eli asetusravossaan. Kun säätöventtiili on jo täysin auki eli kompressorilta otetaan kaikki saatavissa oleva lämpöenergia, avautuu kaukolämmön toisipuolen säätöventtiili. Tällöin kaukolämpö on avustamassa tuloilman lämmitystä kaikkein kovimmilla pakkasilla.



**KUVA 7. Moottoroitu säätöventtiili PIKLTO01-TV02**

Kompressorin lämmöntalteenottoverkostossa jouduttiin käyttämään etyleeniglykoli/vesi – jäähdytysnestettä, koska kompressorin sijaitsee puolilämpimässä tilassa. Jäähdytysnesteessä etyleeniglykolin määrä on 25 %. Tällöin nesteen jäätymispiste on noin  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vesi olisi ollut parempi jäähdytysneste, koska glykoli alentaa jäähdytysnesteiden lämmönsiirto-ominaisuuksia. [12, s. 291; 14, kylmäluokset s. 3]

Jäähdytysneste on myös huomioitu pumpun mitoituksessa ja putkiston koossa. Putkisto ja venttiilit on mitoitettu AutoCad -pohjaisella MagiCad -suunnitteluohjelmalla, johon syötettiin käytettävän nesteen ominaisuudet. Etyleeniglykoli-/vesiseoksessa on eri viskositeetti, tiheys, ominaislämpökapasiteetti ja tästä johtuva lämpölaajenema kuin pelkällä vedellä. Putkisto mitoitettiin painehäviön mukaan. Mitoittavana painehäviönä käytettiin maksimissaan 50 Pa/m.



**KUVA 8. Kompressorin lämmöntalteenottojärjestelmän täyttöryhmä ja varolaitteisto. Järjestelmän jäähdytysnesteenä 25 % etyleeniglykoli- /vesiseos**

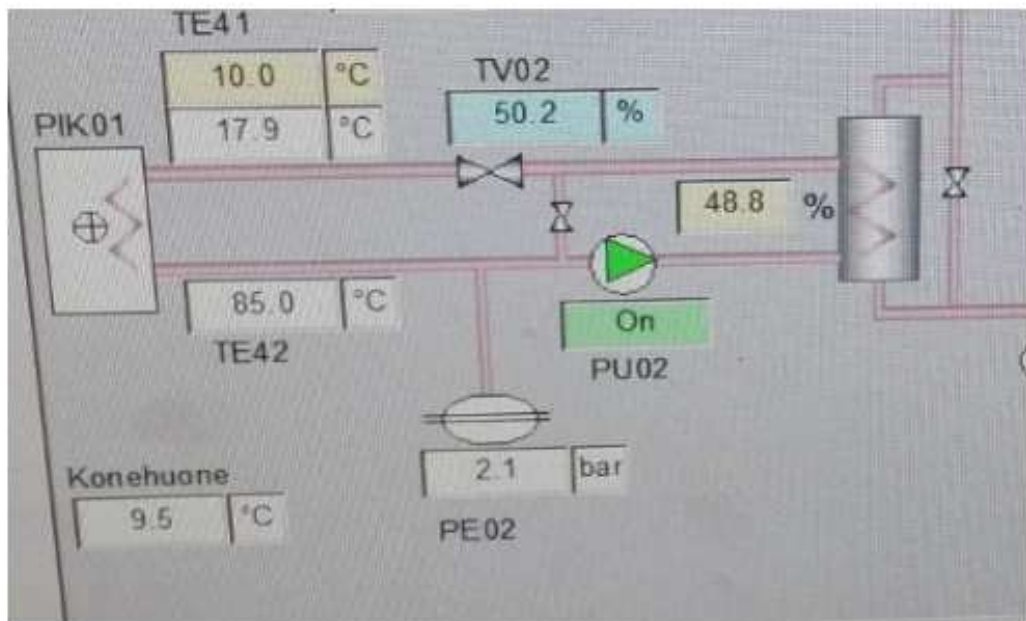
Kompressorin lämmöntalteenottojärjestelmä vei yllättävän pienen tilan konehuoneesta. Lämmönsiirrin on 138kW levylämmönsiirrin, joka on mitoitettu ensiöpuolella lämpötiloille meno 39 °C ja paluu 14 °C sekä toisiopuolella meno 11 °C ja paluu 30 °C lämpötiloille. Ensiöpuolena talteenottojärjestelmässä toimii kompressoripuoli ja toisiopuolena thermonet -järjestelmä. Lämmönsiirtimen on mitoitannut laitevalmistaja haluttujen lämpötilojen, virtaamien mukaan ja painehäviöiden mukaan.

Kuvasta 9 puuttuu etyleeniglykoli/vesi täyttöryhmä ja varolaitteisto (kuva 8) sekä putki-liitokset thermonet -lämmöntalteenottojärjestelmään. Järjestelmän putkimateriaalina on käytetty ruostumatonta teräsputkea.



**KUVA 9. Kompressorin lämmöntalteenottojärjestelmä lähes kokonaisuudessaan**

Valvomosta nähdään kompressorin lämmöntalteenottojärjestelmän toiminta reaaliajassa, joten sen mahdolliset toimintahäiriöt havaitaan ajoissa. Kuva 10 on otettu helmikuussa, ja ulkona oli pakkasta kuvan ottamisen ajanhetkellä, n. -3 °C. Kuvasta nähdään, että venttiili on puoliksi auki, eli kompressorista riittää lämpöä vielä kovemmille pakkaskeleille.



**KUVA 10. Talteenottojärjestelmän toiminta valvomosta käsin**

Lämpötila-anturi TE42 näyttää lukemaksi 85 °C. Tämä on kuitenkin väärin ja syy näkyy kuvassa 11. Anturi TE42 on asennettu hieman liian lähelle kompressoria, ja putki johon anturi on asennettu, lämpenee kompressorista johtumalla. Anturi näyttäisi todennäköisesti luotettavampia lukemia, jos se olisi muutaman kymmenen senttiä kauempana kompressorista. Lämpötila-anturin TE42 ilmoittama lukema havaittiin vääräksi infrapunalämpötilamittarilla. Infrapunalämpötilamittari näytti lukemaksi n. 40 °C.



**KUVA 11. Lämpötila-anturi TE42**

#### 4.1.1 Säätoventtiilin TV02, paisunta-astia ja varoventtiilin mitoitus

Säätoventtiili säätelee piirin ainevirtaa toimimoottorin ohjaamana. Venttiilin rajoittaa veden virtauksen halutuksi aiheuttamalla riittävästi paine-eroa. Venttiilin toiminta ilmoitetaan  $k_v$  -arvona.  $k_v$  -arvo saadaan laskettua eri tiheyksien omaaville nesteille kaavalla [14, laskentakaavoja s. 17]:

$$K_v = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta p}{\rho} * 1000}} \quad (1)$$

kaavassa,

$Q$  = virtaama venttiilin läpi ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$\rho$  = Tiheys ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\Delta p$  = venttiilin painehäviö (baari)

$k_{vs}$  -arvo on venttiilin suurin  $k_v$  -arvo ja se saavutetaan, kun venttiili on täysin auki.  $k_{vs}$  -arvo vastaa veden virtaamaan yksikössä  $\text{m}^3/\text{h}$  kun paine-ero venttiilin yli on 1 baaria

eli 100 kPa. Säätoventtiilit valitaan  $k_{vs}$  -arvoilla.  $k_{vs}$  -arvot ovat aina noin 60 % suurempia kuin edeltäjänsä. Arvoja ovat mm. 1,0, 1,6, 2,5, 4,0, 6,3, 10, 16.  $k_{vs}$  -arvon yksikkö on  $m^3/h$ . [13, s. 42.]

Todelliset painehäviöt  $k_{vs}$  -arvoille saadaan kaavasta 2. [17, s. 15.]

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{q_v}{k_{vs}}\right)^2 \quad (2)$$

Venttiilin vaikutusaste eli auktoriteetti on venttiilin painehäviön suhde kiertopiirin kokonaispainehäviöön. Auktoriteetti  $\beta$  lasketaan kaavalla:

$$\beta = \frac{\Delta p_{tv}}{\Delta p_{muu} + \Delta p_{tv}} \quad (3)$$

kaavassa,

$\Delta p_{tv}$  = painehäviö täysin auki olevalle venttiilille [ $m^3/h$ ]

$\Delta p_{muu}$  = piirin putkiston ja muiden osien painehäviö [kPa]

Ideaali auktoriteetti on 0,5 ja suositeltu alue on väliltä 0,4 – 0,7. [17, s. 4.]

PIKLTO01-TV02 säätoventtiilin valinta:

PIKLTO01 –piirin painehäviö ilman säätoventtiiliä on 40,5 kPa. (Taulukko 2)

### Taulukko 2. PIKLTO01 –piirin painehäviöt ilman TV02 -venttiiliä

Putkisto	2 kPa
Kompressorin lämmönsiirrin	20 kPa
Lämmönsiirrin	10 kPa
Linjasäätoventtiili	6,5 kPa
lianerotin	2 kPa
<b>Yhteensä</b>	<b>40,5 kPa</b>

Venttiilin TV02 painehäviö saadaan kaavan 2 mukaan.

Valitaan auktoriteetiksi 0,5 joten,

$$\Delta p_{tv} = \Delta p_{muu} = 40,5 \text{ kPa}$$

PIKLTO01 -piirissä  $Q = 5,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $\rho = 1035 \text{ kg/m}^3$ ,  $\Delta\rho = 0,405 \text{ baaria}$

$$K_v = \frac{5,0}{\sqrt{\frac{0,405}{1035} * 1000}} = 8,0$$

$k_{vs}$  -arvoksi voidaan valita joko  $6,3 \text{ m}^3/\text{h}$  tai  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Todelliset painehäviöt  $k_{vs}$  -arvoille saadaan kaavasta 2.

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{5,0}{6,3}\right)^2 = 0,63 \text{ bar} = 63 \text{ kPa}$$

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{5,0}{10,0}\right)^2 = 0,25 \text{ bar} = 25 \text{ kPa}$$

Valitaan  $k_{vs}$  -arvoksi  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ , koska pienemmän  $k_{vs}$  -arvon valinta vaatisi huomattavasti enemmän nostokorkeutta pumpulta, joka johtaisi suurempaan pumppuun.

Auktoriteetiksi saadaan PIKLTO02-TV02 venttiilille:

$$\beta = \frac{25}{40,5 + 25} \approx 0,4$$

Paisunta-astia on valittu Flamcon mitoitusohjelma avulla. Paisunta-astioiden mitoittamista varten tarvitaan seuraavia tietoja: järjestelmäveden tilavuus, pakkasnesteen osuus, keskimääräinen lämpötila, vesi-pakkasneste-seoksen laajeneminen, järjestelmän korkeus astia yläpuolelta ja maksimi työpaine. [15, s. 28.]

Verkoston vesitilavuus on n.  $100 \text{ dm}^3$ , keskimääräinen lämpötila  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  (meno  $39$  ja paluu  $14 \text{ }^\circ\text{C}$ ), järjestelmän korkeus  $2,5 \text{ m}$  ja glykoli-/vesijäähdytysnesteen tilavuuden kasvu  $1,18 \%$ .

Mitoitusohjelman avulla saadaan paisunta-astiaksi  $4 \text{ l}$  paisunta-astia. Valitaan kuitenkin varmuuden vuoksi yhtä kokoa suurempi paisunta-astia eli  $8 \text{ l}$  paisunta-astia. (liite 7)

Varoventtiiliin avautumispaineeseen vaikuttaa staattinen korkeus ja enimmäiskäyttöpaine. Varoventtiilin esipaine saadaan staattisesta korkeudesta joka pyöristetään  $50 \text{ kPa}$



verran ylöspäin. Staattista korkeutta ovensuljintehtaan järjestelmässä on vain 2,5 m eli 25 kPa. Valittu staattinen korkeus on siis 50 kPa. Esi- ja loppupaineen välillä suositellaan olevan vähintään 150 kPa. Loppupaineeksi näin ollen 200 kPa. Varoventtiilin avautumispaine 250 kPa, koska sen on oltava vähintään 50 kPa suurempi kuin loppupaine. [15, s. 29.](liite 7)

#### **4.1.2 Kytkenäkaavio**

Thermonet -piirissä poistoilma lämmittää ensisijaisesti tuloilmaa. Kun poistoilmasta saatu lämpö ei enää riitä pitämään anturia TE11 asetusarvossaan, eli tuloilman lämpötila laskee alle halutun, avautuu venttiili PIKLTO01-TV02. PIKLTO01-TV02 venttiilin ollessa täysin auki, avautuu venttiili TK01-TV01, josta otetaan tarvittava lisälämpö. Venttiilit sulkeutuvat päinvastaisessa järjestyksessä, eli venttiili TK01-TV01 sulkeutuu ensimmäisenä. TE11-anturi mittaa halliin puhallettavan tuloilman lämpötilaa, PIKLTO01-TV02 on painekompressorin talteenottopiirin säätöventtiili ja TK01-TV02 on kaukolämmön toisiopuolen säätöventtiili.

Kytkenän tarkoituksena on siis se, että tuloilmaa lämmitetään ensisijaisesti poistoilmalla sitten kompressorista saatavalla lämmöllä ja lopuksi kaukolämmöllä. (Liite 1).

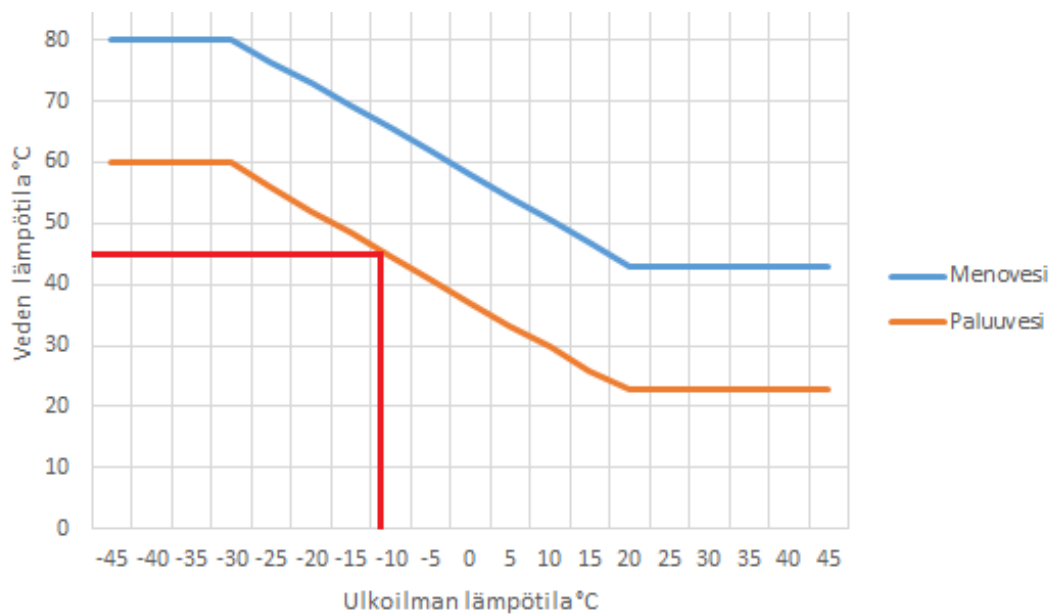
#### **4.2 Päätehdas**

Päätehtaalla lämmöntalteenotto -järjestelmä kytketään Hertz Frecon 110 Plus kompressorin. Kompressorilta saatava lämpöenergia hyödynnetään päätehtaan Ilmanvaihto-/patteriverkoston lämmönsiirtimen avulla. IV- /patteriverkoston mitoituslämpötilat ovat vanhojen mitoituslämpötilojen mukaiset, 80 °C menoveden lämpötila ja 60 °C paluueden lämpötila.



**KUVA 12. Hertz Frecon 110 Plus ruuvikompressori**

IV- /patteriverkoston paluulämpötila ei saisi olla yli 45 °C, jotta sillä pystyttäisiin vielä järkevästi jäädyttämään kompressoria. Verkoston lämpötilakäyrästä nähdään, että kun ulkona on n. -12 °C pakkasta, verkoston paluu lämpötila on yli 45 °C (Kuva 13). Näin ollen kovemmissa pakkasilla, kompressorin tuottamaa lämpöenergiaa ei pystytä hyödyntämään kokonaisuudessaan.



**KUVA 13. IV- /patteriverkoston meno- / paluulämpötilat suhteessa ulkoilmaan.**



Toinen vaihtoehto olisi, että lisätään uusi lämmönsiirrin nykyiseen kompressorien nestejäähdytyspiiriin. Tämä nestejäähdytyspiiri jäähdytetään katolla sijaitsevilla ilmajäähdytteisillä lauhduttimilla. Uuden lämmönsiirtimen avulla saataisiin laskettua kompressorille palaavan nesteen lämpötilaa sen verran, että se riittää jäähdyttämään kompressoria. Lisälämmönsiirtimen avulla kompressorin lämpöenergiaa voitaisiin siis hyödyntää myös kovemmillä pakkasilla, mutta hyödynnettäväksi jäisi vain osa kompressorin tuottamasta lämmöstä. Kuitenkin samaan hyötyyn päästään, kun kovilla pakkasilla kompressoria jäähdytetään lämmöntalteenottopiiriin lisäksi entisillä lauhduttimilla. Kompressorin automaattikan avulla voidaan ohjata kompressorin jäähtymistä, vaikka kompressorille palaisikin lämmöntalteenotto -piiristä yli 45 °C jäähdytysneste.

#### **4.2.1 Kytkenäkaavio**

Kun ilmanvaihto-/lämmitysverkossa on lämmityksen tarvetta, käynnistyy talteenotto-piiriin pumppu PIKLTO02-PU1. Kesäaikaan ja kun PIKLTO02 -talteenotto-piiri ei ole käytössä, venttiili PIKLTO02 – TV02 on täysin auki. Tällöin kompressori jäähtyy ilmanlauhduksien avulla. PIKLTO02 – TV02 sulkeutuu sitä mukaa, kun PIKLTO02-piiriin virtaama kasvaa (= kompressori lämmöntalteenotto-piiriin virtaama kasvaa). Tällöin kompressorin jäähdytys huolehditaan osaksi talteenotto-piiriin avulla.

## **5 LÄMMÖNTALTEENOTOLLA SAAVUTETTAVAT SÄÄSTÖT PÄÄ- JA OVENSULJINTEHTAALLA**

### **5.1 Säästöt ovensuljintehtaalla**

Ovensuljintehtaalla on Hertz frecon 160 plus kompressori, josta saadaan maksimissaan 138 kW lämpöenergiaa talteen.

Energiansäästövuodessa on n.150 MWh. Kaukolämmön hintana on käytetty 50 €/MWh (alv 0 %). Säästöä kertyy tällöin 7500 €. Pumpustaiheutuvan sähkön lisäkustannuksen arvioidaan olevan 100 €. Vuotuiset säästöt yhteensä siis 7400 €.

Energiansäästö 150 MWh/a on saatu laskemalla siitä kuinka paljon thermonet -järjestelmä tarvitsee poistoilman lisäksi lämpöenergiaa tuloilman lämmittämiseen ja kuinka

paljon kompressorista saatavaa lämpöenergiaa voidaan hyödyntää tuloilman lämmitykseen.

Ensimmäiseksi pitää selvittää kuinka paljon thermonet -järjestelmällä saadaan talteen lämmitystehoa kuukausittain [9, s. 21] (Liite 6):

$$\Phi_{lto} = \eta_{a,ivkone} * t_d * t_v * \rho_i * c_{pi} * q_{v,poisto} * (T_s - T_{sp}) \quad (4)$$

kaavassa,

$\Phi_{lto}$  = Thermonet -järjestelmän talteen ottama energia

$\eta_{a,ivkone}$  = Thermonet -järjestelmän poistoilman vuosihyötysuhde

$t_d$  = IV-koneen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24)

$t_v$  = IV-koneen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7)

$\rho_i$  = Ilmantiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$c_{pi}$  = Ilmanominaislämpökapasiteetti [J/(Kg K)]

$q_{v,poisto}$  = Poistoilmavirta (m<sup>3</sup>/s)

$T_s$  = Sisälämpötila (°C)

$T_{sp}$  = Sisäänpuhalluslämpötila (°C)

Sen jälkeen voidaan laskea lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila  $T_{lto}$  kaavalla [11, s. 21](Liite 6):

$$T_{lto} = T_u + \frac{\Phi_{lto}}{T_d T_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo}} \quad (5)$$

kaavassa,

$T_{lto}$  = Thermonet -järjestelmän jälkeinen lämpötila (°C)

$T_u$  = Ulkolämpötila (°C)

$\Phi_{lto}$  = Thermonet -järjestelmän talteenottama lämpöenergia

$q_{v,tulo}$  = Tuloilmavirta (m<sup>3</sup>/s)

Lämmöntalteenoton lämmitysenergian tarve eli lisälämpö, joka on tarkoitus kattaa kompressorista saatavalla lämpöenergialla, lasketaan kaavalla [11, s. 21]. (Liite 6):

$$Q_{iv} = t_d * t_v * p_i * c_{pi} * q_{v,tulo} * ((T_s - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) \Delta t / 1000 \quad (6)$$

kaavassa,

$Q_{iv}$  = Thermonet lisäenergian tarve

$\Delta T_{puhallin}$  = Lämpötilan nousu puhaltimessa (°C)

Thermonet -järjestelmän tarvitseman lisälämmön avulla saadaan laskettua, kuinka paljon kompressorin tuottamasta lämpöenergiasta voidaan hyödyntää.

Kompressorin öljyn jäähdyttimeltä saadaan tehoa maksimissaan 138,6 kW.

Kompressorin käyntiajoista nähdään, että kompressorin käyttöaste on noin 54 %. Laskuissa on käytetty varmuuden vuoksi käyttöasteena 50 %, jolloin kompressorilta saadaan keskimäärin 69 kW (Taulukko 3).

### TAULUKKO 3. Kompressoreiden tehojen keskiarvot valvontajärjestelmästä

	KA:	käyttöaste
Ovensuljintehdas Hertz frecon 160 plus		
11-17.1.2016	75,4 kW	47 %
22-28.2.2016	101,1 kW	63 %
21-27.3.2016	81,6 kW	51 %
Ajanjaksojen KA:	<b>86,0 kW</b>	54 %
Päätehdas Hertz frecon 110 Plus		
11-17.1.2016	87,7 kW	79 %
22-28.2.2016	49,0 kW	45 %
21-27.3.2016	43,7 kW	39 %
Ajanjaksojen KA:	<b>60 kW</b>	54 %

Lämmöntalteenoton hyötysuhde on saatu kompressorilta saatavan lämpöenergian ja tuloilman tarvitseman lämpöenergian suhteella. Kompressorin lämpöenergiaa ei voi hyödyntää touko-syyskuussa, koska silloin thermonet -järjestelmä ei tarvitse lisälämpöä. Tuloilmaan siirtyy muina kuukausina keskimäärin n. 43% kompressorin lämpöenergiasta. (Liite 6, Taulukko 4)

**TAULUKKO 4. Kompressorilta hyödynnettävissä oleva lämpöenergia**

tammikuu	0,65	65 %
helmikuu	0,66	66 %
maaliskuu	0,44	44 %
huhtikuu	0,20	20 %
toukokuu	-0,10	-10 %
kesäkuu	-0,32	-32 %
heinäkuu	-0,44	-44 %
elokuu	-0,33	-33 %
syyskuu	-0,12	-12 %
lokakuu	0,11	11 %
marraskuu	0,37	37 %
joulukuu	0,56	56 %
Yhteensä	0,43	43 %

Lämmöntalteenoton hyötysuhteen avulla saadaan laskettua kuukausittainen ja vuotuisen säästetty lämpöenergia. (Liite 7, taulukko 5)

**TAULUKKO 5. Kompressorilta hyödynnetty lämpöenergia kaukolämmön säästöinä**

tammikuu	€	1679,74
helmikuu	€	1581,21
maaliskuu	€	1132,58
huhtikuu	€	485,07
toukokuu	€	-245,84
kesäkuu	€	-787,78
heinäkuu	€	-1140,23
elokuu	€	-856,13
syyskuu	€	-288,82
lokakuu	€	290,80
marraskuu	€	912,75
joulukuu	€	1437,73
Kaukolämpö 0% alv 50 €/MWh	Yhteensä €	7519,89

**5.2 Säästöt päätehtaalla**

Päätehtaalla olevasta Hertz frecon 110 plus kompressorista saadaan valmistajan ilmoittamana maksimissaan 96 kW lämpöenergiaa talteen.

Arvioitu energiansäästö vuodessa on 235 MWh (Liite 1; Taulukko 6).

Kaukolämmön hintana on käytetty laskuissa 50 €/MWh(alv 0 %).

Päätehtaalla energiansäästö perustuu enemmän arviointiin, kuin ovensuljintehtaalla. Päätehtaalla kompressorilta saatava lämpöenergia käytetään ilmanvaihto – ja lämmitysverkostoon. Tuloilma – ja lämmitysverkoston lämmönsiirtimen teho on 2350 kW.

Kompressorin öljyn jäähdyttimeltä saadaan tehoa maksimissaan 96,0 kW.

Kompressorin käyntiajoista nähdään, että kompressoinin käyttöaste on noin 54%. Laskuissa on käytetty varmuuden vuoksi käyttöasteena 50%, jolloin kompressorilta saadaan keskimäärin 48 kW (Taulukko 2).

Kompressorilta saatavan tehon ollessa alhainen verrattuna lämmönsiirtimen tehoon 2350kW voi päätellä, että kompressorin teho voidaan hyödyntää kokonaan useana kuukautena vuodessa. (Taulukko 6)

#### TAULUKKO 6. Arvio päätehtaalla hyödynnettävästä tehosta kuukausittain

		kW	kWh
Tammikuu	100 %	48	12672
Helmikuu	100 %	48	21888
Maaliskuu	100 %	48	35712
Huhtikuu	100 %	48	34560
Toukokuu	50 %	24	17856
Kesäkuu	0 %	0	0
Heinäkuu	0 %	0	0
Elokuu	0 %	0	0
Syyskuu	50 %	24	17280
Lokakuu	100 %	48	35712
Marraskuu	100 %	48	34560
Joulukuu	100 %	48	24192
		<b>Yht.</b>	<b>234432</b>

### 5.3 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika kertoo missä ajassa investoinnit maksetaan vuotuisten säästöjen avulla takaisin. Takaisinmaksuajan kaavana on käytetty korottaman takaisinmaksuajan kaavaa.

Takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla:

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{LTO-laitteiston hinta}}{\text{vuotuiset saavutetut säästöt}} \quad (7)$$

### 5.3.1 Ovensuljintehdas

Paineilmakompressori-talteenottojärjestelmän kustannusarvio on 10000 €. Kustannusarviot sisältävät lvi- ja rakennusautomaatiotyöt, mutta eivät rakennus- eikä sähkötekniisiä töitä. Taulukon 7 kustannusarvio sisältää ovensuljintehtaalla lämmönsiirtimet, putkiston, pumpun, varolaitteet, säätölaitteet ja asennustyön.

Korottomaksi takaisinmaksuajaksi saadaan n. yksi vuosi ja kolme kuukautta.

#### TAULUKKO 7. Ovensuljintehtaan kustannusarvio ja takaisinmaksuaika

<b>Paineilmakompressori LTO</b>	
<b>Laitteiston kustannusarvio, alv 0%</b>	
Putkisto ja putkistovarusteet	9 000 €
Rakennusautomaatio	1 000 €
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>10 000 €</b>
Energiansäästö	150 MWh/a
Sähkön kulutus	
Kaukolämmön hinta	50 €/MWh, alv 0%
Sähköenergian hinta	75 €/MWh, alv 0%
Kaukolämpö säästö	7500 €/a
Sähkö lisäkustannus	100 €/a
Säästö = 7500 €/a - 100 €	<b>7400 €/a</b>
Takaisinmaksuaika (koroton)	<b>1,33 a</b>

### 5.3.2 Päätehdas

Paineilmakompressori-talteenottojärjestelmän kustannusarvio on 19100 €. Kustannusarviot sisältävät lvi- ja rakennusautomaatiotyöt, mutta eivät rakennus- eikä sähkötekniisiä töitä. Taulukon 8 kustannusarvio sisältää päätehtaan lämmönsiirtimen, putkiston, pumpun, varolaitteet, säätölaitteet ja asennustyön.

Talteenottojärjestelmän takaisinmaksu ajaksi saadaan päätehtaallakin alle 2 vuotta.

**TAULUKKO 8. Päätehtaan kustannusarvio ja takaisinmaksuaika**

<b>Paineilmakompressori LTO, ilman lisä LS</b>	
<b>Laitteiston kustannusarvio, alv 0%</b>	
Putkisto ja putkistovarusteet	15 100 €
Lämmönsiirrin	2 500 €
Rakennusautomaatio	1 500 €
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>19 100 €</b>
Energiansäästö	235 MWh/a
Sähkön kulutus	
Kaukolämmönhinta	50 €/MWh, alv 0%
Sähköenergian hinta	75 €/MWh, alv 0%
Kaukolämpö säästö	11750 €/a
Sähkö lisäkustannus	100 €/a
Säästö = 9900 €/a - 100 €	<b>11650 €/a</b>
Takaisinmaksuaika (koroton)	<b>1,65 a</b>

**6 POHDINTA**

Ovensuljintehtaalla paineilmakompressori lämmöntalteenottojärjestelmä saatiin toiminta kuntoon helmikuussa. Talteenottopiiri toimi odotetulla tavalla ja sitä pystyttiin seuraamaan kompressorien valvontajärjestelmän avulla. Talteenottopiirin energianmittaus piti hoitaa pumppuun kytkettävän anturin avulla, jota ei kuitenkaan saatu toimimaan vielä kevään pakkasille. Ensi vuonna energianmittaus on tarkoitus saada toimimaan koko lämmityskauden ajaksi.

Lämmöntalteenottojärjestelmän pitäisi poistaa lähes kokonaan ovensuljintehtaan tuloilman lämmityksen käyttämä kaukolämpöenergia.

Paineilmakompressorin tuottama lämpöenergia on ns. ilmaisenergiaa ja ennen talteenottojärjestelmää lämpöenergia on jätetty hyödyntämättä. Hyödyntämällä tämä lämpöenergia saadaan järjestelmän investoinnit maksettua ovensuljintehtaalla reilussa vuodessa ja tämän jälkeen kaukolämmössä säästetään n. 7500 € vuodessa. Todelliset säästöt saadaan, kun talteenottopiiri on ollut konkreettisesti käytössä ja sen talteen ottama energia on saatu mitattua.

Kompressorien lämmöntalteenottoa kannattaa miettiä, jos kompressorien käyttöaste on korkea ja kompressorit ovat kokoluokaltaan useita kymmeniä kilowatteja. Ongelmaksi

voi tulla mihin talteen otettu lämpöenergia hyödynnetään. Monesti teollisuudessa tilojen lämmitysenergia saadaan hoidettua työaikana koneiden lämpökuormalla ja käyttöajan ulkopuolella kompressorit ovat sammutettuna, jolloin niiden tuottamaa lämpöenergiaa ei voida hyödyntää. Vanhemmissa kohteissa myös lämmitysverkot ovat mitoitettu vanhoille, korkeammille lämpötiloille, jolloin kompressorien tuottama suhteellisen matala lämpöinen jäähdytysvesi/-ilma on hankala hyödyntää lämmönvaihtimien avulla.

Paineilmakompressoreiden lämmöntalteenotto on kuitenkin, ehdottomasti miettimisen arvoinen asia, etenkin teollisuuskohteissa. Saavutettavat energiansäästöt ovat monesti hyvät investointeihin verrattuna ja lämmöntalteenotto ei välttämättä vaadi monimutkaisia järjestelmiä. Jo pelkällä kompressorin jäähdytysilman poistopuolen kanaviston uudelleen suunnittelulla voidaan saavuttaa merkittävät säästöt. Tulevaisuudessa mietitään varmasti yhä enemmän eri talteenottojärjestelmiä. Kompressoreiden hukkalämmöntalteenottojärjestelmät ovat yksi potentiaalinen kohde, johtuen kompressoreiden huonosta paineilman tuoton hyötysuhteesta. Huonoa energian käytön hyötysuhdetta voidaan parantaa talteenottojärjestelmillä, kunhan muistetaan pitää huolta paineilman tuoton toimivuudesta.

Energiansäästöt ovat useasti määräävät asiat lämmöntalteenotto -investoinneille yritysmaailmassa, mutta myös ympäristöasiat ovat tärkeitä moderneille yrityksille. Talteenoton avulla voidaan vähentää mm. lämmitys kuluja, jolloin lämmittämisestä aiheutuvat ympäristöhaitat pienentyvät.

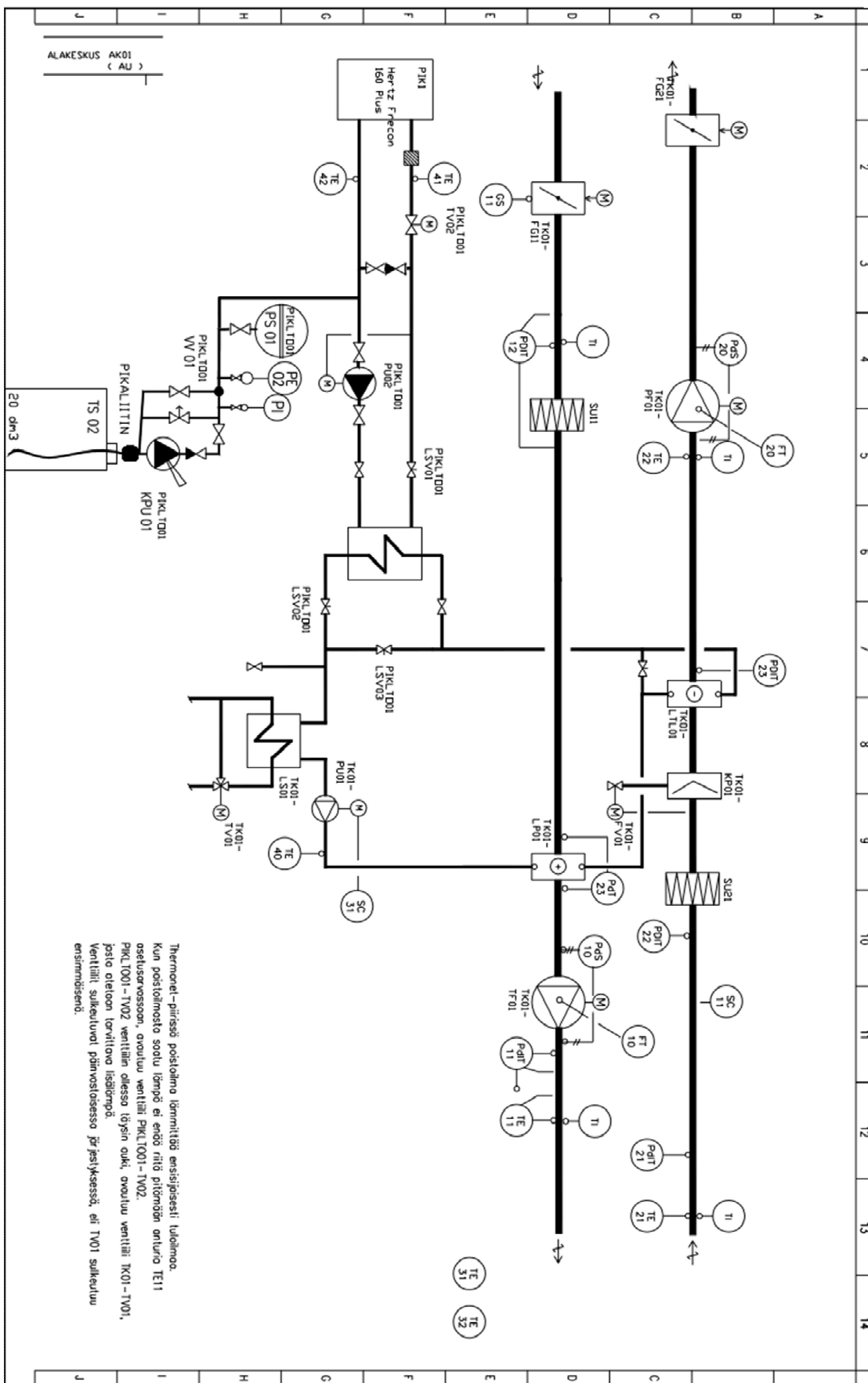


## 7 LÄHDELUETTELO

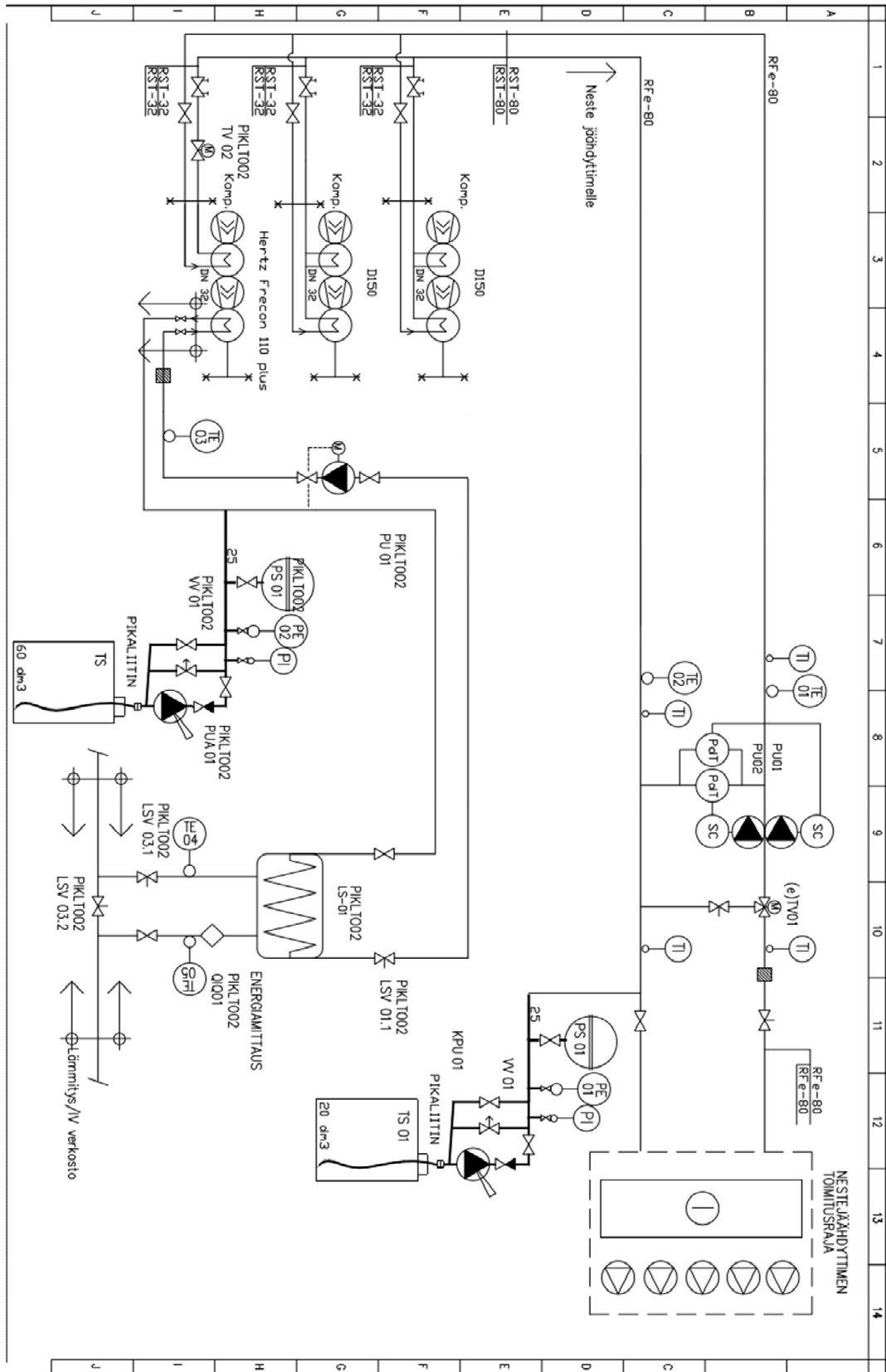
1. Fonselius Jaakko, Hautanen Juha, Mutikainen Tuomo, Pekkola Kari, Salmijärvi Olli, Simpura Antti. Koneautomaatio, pneumatiikka. Helsinki, Oy Edita Ab. 1997.
2. Kauppa- ja teollisuusministeriö energiaosasto. Paineilma. Energiavihko n:o 7. 1991.
3. Burkert Oy. 2016. Paineilman tuottaminen. Yrityksen WWW-sivut. <https://www.burkert.fi/fi/Asiakaspalvelu-ja-varaosat/Tuki/Terminologia/Paineilman-tuottaminen>. Päivitetty 13.6.2016. Luettu 13.6.2016
4. Airila Mauri, Hallikainen Keijo, Kääpä Juha, Laurila Timo. Kompressorikirja Hydor. Helsinki, KK laakapaino. 1983.
5. Tamrotor kompressorit Oy. Paineilmajärjestelmien suunnittelu, vesijäähdytteinen paineilmakeskus. PDF –dokumentti. [http://www.compressor.fi/media/EsitePDF/Paineilmajärjestelmien\\_suunnittelu.pdf](http://www.compressor.fi/media/EsitePDF/Paineilmajärjestelmien_suunnittelu.pdf). Päivitetty 15.4.2016. Luettu 22.5.2016.
6. Motiva Oy. Energiakatselmoija käsikirja Osa 3. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.motiva.fi/files/1720/kat-energiakatselmoijan-kasikirja-osa-3-2-A.pdf>. Päivitetty 21.4.2009. Luettu 3.6.2016.
7. Hulkkonen Veli. Pneumatiikka 2. Helsinki, Otava. 1978.
8. Keaser kompressorit. Lämmön talteenotto ja hyödyntäminen lämmityksessä ja lämpimän veden tuotannossa. PDF –dokumentti. <http://fi.kaeser.com/Images/P-645-FI-tcm18-6757.pdf>. Päivitetty 17.5.2016. Luettu 17.5.2016.
9. Keaser kompressorit. Paineilmatekniikka. PDF –dokumentti. <http://fi.kaeser.com/Images/P-2010-FI-tcm18-6752.pdf>. Päivitetty 17.5.2016. Luettu 17.5.2016
10. Oy grundfos pumput Ab. Grundfos magna3 –datakirja. PDF-dokumentti. <http://fi.grundfos.com/tuotteet/etsi-tuote/magna3.html#brochures>.
11. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta. Ohjeet. 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. PDF –dokumentti. <http://www.ym.fi/download/no-name/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468>.
12. Aalto Esa, Alijoki Tapio, Hakala Pertti, Kaappola Esko, Karvinen Tapio, Lähdenperä Heikki, Rauno Ossi, Seinelä Antti, Aittomäki Antero. Kylmäteknikka. Jyväskylä, Gummerus. 1996.
13. TA säätöpiirien säätäminen. PDF –dokumentti. <http://vantalvi.fi/wp-content/uploads/2014/05/TA-K%C3%84SIKIRJA-S%C3%A4%C3%A4t%C3%B6piirien-S%C3%A4%C3%A4t%C3%A4minen-2011.pdf>. Päivitetty 26.5.2014. Luettu 13.6.2016

14. Kianta Jani. Kylmätekniiikan käsikirja. Kylmätekniiikan käsikirja. Tampere, Eräsalon kirjapaino Oy. 2013.
15. Flamco group. Paisunta-astian mitoittaminen. [https://flamcogroup.com/files/calculationtools/ins\\_fin\\_flexcon\\_calculation.pdf](https://flamcogroup.com/files/calculationtools/ins_fin_flexcon_calculation.pdf). Päivitetty 22.1.2016. Luettu 13.6.2016.
16. Varoventtiilin valinta LVI -ohjekortti. PDF –dokumentti. [https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5eczM8oF/5efG5yDTz/Files/CurrentFile/LVINayte\\_1110329.pdf](https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5eczM8oF/5efG5yDTz/Files/CurrentFile/LVINayte_1110329.pdf). Päivitetty 21.5.2009. Luettu 13.6.2016.
17. Danfoss tekninen esite. PDF-dokumentti. [http://lampo.danfoss.com/PCMPDF/ED97L720\\_VS2.pdf](http://lampo.danfoss.com/PCMPDF/ED97L720_VS2.pdf). Päivitetty 27.8.2012. Luettu 17.5.2016
18. Rakennusten kaukolämmitys K1. Määräykset ja ohjeet. 2013 Energiateollisuus ry. [http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1\\_2013\\_20140509.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2013_20140509.pdf). Päivitetty 9.5.2014. Luettu 20.1.2016.

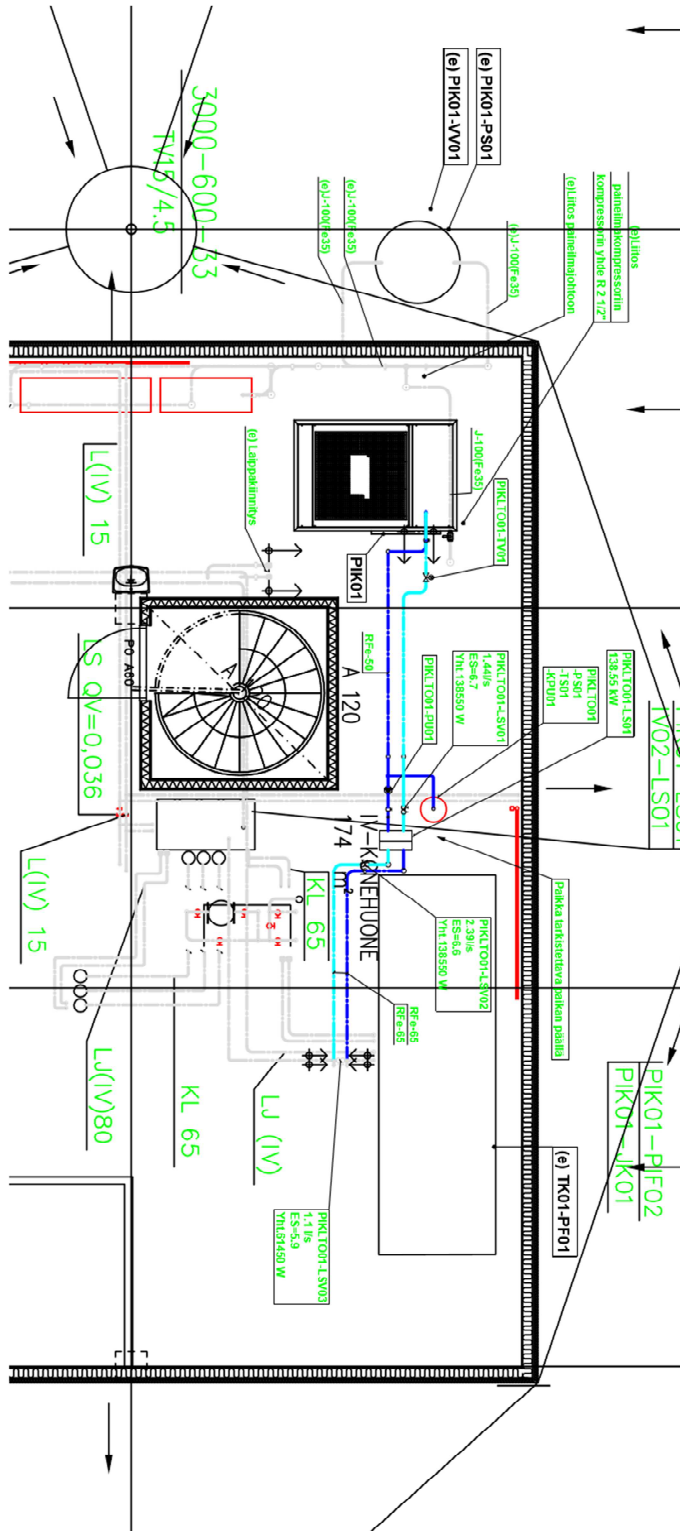
Ovensuljintehdas kytkentäkaavio



Päätedas kytkentäkaavio



Ovensuljintehdas tasokuva kompressori LTO





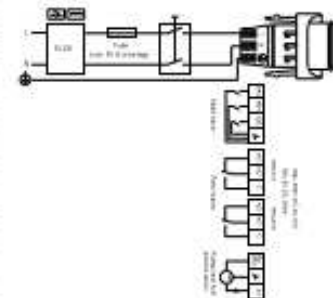
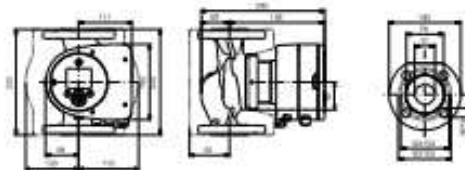
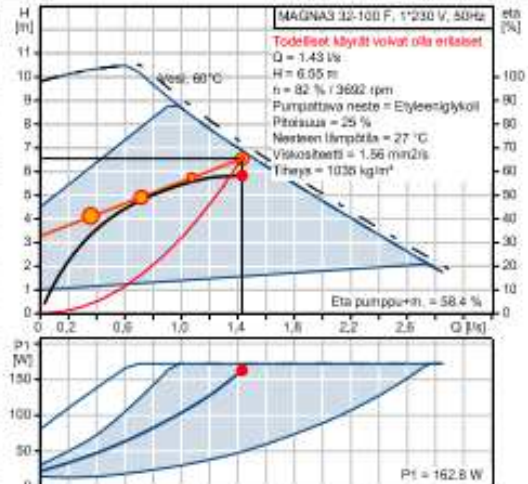
Yhtiön nimi:

Luotu:

Puhelin:

Päiväys: 11/26/2015

Kuvaus	Arvo
<b>Yleistiedot:</b>	
Tuotteen nimi:	MAGNA3 32-100 F
Tuotenumro:	97924258
Posiio:	
EAN-numero:	5710626493333
<b>Tekniset:</b>	
Tod. laskettu virtaama:	1.43 l/s
Pumpun kehittämä paine:	6.561 m
Suurin nostokorkeus:	100 dm
TF luokka:	110
Hyväksynyt nimikivessä:	CE, VDE, EAC
Malli:	B
<b>Materiaalit:</b>	
Pumpun pesä:	Vakurauta EN-GJL-200 ASTM A48-200B
Juoksupyörä:	PES 30%GF
<b>Asennus:</b>	
Ympäristön lämpötila-alue:	0 .. 40 °C
Suurin sall. toimintapaine:	10 bar
Vakiolaippa:	DIN
Putkiliitäntä:	DN 32
Painejako:	PN6/10
Asennusmitat:	220 mm
<b>Neste:</b>	
Pumpattava neste:	Etyleeniglykoli
Nesteen lämpötila-alue:	-10 .. 110 °C
Pitoisuus:	25 %
Nesteen lämpötila:	27 °C
Tiheys:	1035 kg/m <sup>3</sup>
Kinemaattinen viskositeetti:	1.56 mm <sup>2</sup> /s
<b>Sähkö tiedot:</b>	
Ottoteho - P1:	9 .. 180 W
Suurin virrankulutus:	0.09 .. 1.47 A
Syöttötaajuus:	50 Hz
Nimellisjännite:	1 x 230 V
Suojausluokka (IEC 34-5):	X4D
Eristysluokka (IEC 85):	F
<b>Muut:</b>	
Label:	Grundfos Blueflux
Energy (EEL):	0.19
Nettopaino:	7.79 kg
Bruttopaino:	8.32 kg
Lähetysilavuus:	0.016 m <sup>3</sup>



## Ovensuljintehdas laskelmat

## OVENSULJINTEHDAS

## Lähtoarvot

Taul. 1

	Symboli	Arvo
Thermonet -poistoilman vuosihyötysuhde	$\eta$	0,6
IV-koneen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24)	$t_d$	1
IV-koneen viikottainen käyntiaikasuhde (vrk/7)	$t_v$	5/7
Ilmantiheys (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_i$	1,2
Ilmanominaislämpökapasiteetti (J/(Kg K))	$C_{pi}$	1000
Poistoilmavirta (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{v,poisto}$	7
Tuloilmavirta (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{v,tulo}$	7,5
Sisälämpötila (°C)	$T_s$	20
Ulkolämpötila (°C)	$T_u$	Taul. 2
Sisäänpuhalluslämpötila (°C)	$T_{sp}$	15
Ulkolämpötiloina käytetty ilmatieteen laitoksen V.1981-2010 lämpötilojen keskiarvoja		

## Kuukausittaiset keskilämpötilat ( V.1981-2010)

Taul. 2

tammikuu	-9,6
helmikuu	-9,7
maaliskuu	-4,4
huhtikuu	1,6
toukokuu	8,7
kesäkuu	14,1
heinäkuu	17,2
elokuu	14,5
syyskuu	9,2
lokakuu	3,6
marraskuu	-2,6
joulukuu	-7,3

## Thermonet -LTOlla saatu teho kuukausittain

Taul. 3

		W
tammikuu	$\phi_{lto}$	106560,00
helmikuu	$\phi_{lto}$	106920,00
maaliskuu	$\phi_{lto}$	87840,00
huhtikuu	$\phi_{lto}$	66240,00
toukokuu	$\phi_{lto}$	40680,00
kesäkuu	$\phi_{lto}$	21240,00
heinäkuu	$\phi_{lto}$	10080,00
elokuu	$\phi_{lto}$	19800,00
syyskuu	$\phi_{lto}$	38880,00
lokakuu	$\phi_{lto}$	59040,00
marraskuu	$\phi_{lto}$	81360,00
joulukuu	$\phi_{lto}$	98280,00

## Ovensuljintehdas laskelmat

## Thermonet -lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila

Taul. 4

		°C
tammikuu	Tlto	6,976
helmikuu	Tlto	6,932
maaliskuu	Tlto	9,264
huhtikuu	Tlto	11,904
toukokuu	Tlto	15,028
kesäkuu	Tlto	17,404
heinäkuu	Tlto	18,768
elokuu	Tlto	17,58
syyskuu	Tlto	15,248
lokakuu	Tlto	12,784
marraskuu	Tlto	10,056
joulukuu	Tlto	7,988

## Thermonet-järjestelmän tarvitsema lisä

## lämmitysenergiantarve kuukausittain

Taul. 5

tammikuu	Qiv	33594,78857
helmikuu	Qiv	31624,25143
maaliskuu	Qiv	22651,61143
huhtikuu	Qiv	9701,485714
toukokuu	Qiv	-4916,777143
kesäkuu	Qiv	-15755,65714
heinäkuu	Qiv	-22804,66286
elokuu	Qiv	-17122,62857
syyskuu	Qiv	-5776,457143
lokakuu	Qiv	5815,954286
marraskuu	Qiv	18255,08571
joulukuu	Qiv	28754,53714

## Kompressorilta saatava lämpöenergia

Taul. 6

Kompressorilta saadaan	160	kW
Öljyn jäädyttimelle	138,55	kW
jäähdytysnesteeseen öljystä	138,55	kW
Kompressorin käyntiaika	50	%
Kompressorilta keskimäärin	69	kW



## Ovensuljintehdas laskelmat

## Kompressorilta saatava lämpöenergia kuukausittain:

Taul. 7

	h	kWh
tammikuu	744	51336
helmikuu	696	48024
maaliskuu	744	51336
huhtikuu	720	49680
toukokuu	744	51336
kesäkuu	720	49680
heinäkuu	744	51336
elokuu	744	51336
syyskuu	720	49680
lokakuu	744	51336
marraskuu	720	49680
joulukuu	744	51336

## Kompressorilta saatavaa lämpöenergiaa voidaan hyödyntää:

Taul. 8

tammikuu	0,654409938	65 %
helmikuu	0,658509317	66 %
maaliskuu	0,441242236	44 %
huhtikuu	0,195279503	20 %
toukokuu	-0,095776398	-10 %
kesäkuu	-0,317142857	-32 %
heinäkuu	-0,444223602	-44 %
elokuu	-0,333540373	-33 %
syyskuu	-0,116273292	-12 %
lokakuu	0,113291925	11 %
marraskuu	0,367453416	37 %
joulukuu	0,560124224	56 %
Yhteensä	0,43	43 %

## Kompressorilta hyödynnettävissä oleva lämpöenergia:

Taul. 9

	MWh
tammikuu	33,59478857
helmikuu	31,62425143
maaliskuu	22,65161143
huhtikuu	9,701485714
toukokuu	-4,916777143
kesäkuu	-15,75565714
heinäkuu	-22,80466286
elokuu	-17,12262857
syyskuu	-5,776457143
lokakuu	5,815954286
marraskuu	18,25508571
joulukuu	28,75453714

## Ovensuljintehdas laskelmat

## Kompressorilta hyödynnetty lämpöenergia

Taul. 10

tammikuu	€	1679,739429
helmikuu	€	1581,212571
maaliskuu	€	1132,580571
huhtikuu	€	485,0742857
toukokuu	€	-245,8388571
kesäkuu	€	-787,7828571
heinäkuu	€	-1140,233143
elokuu	€	-856,1314286
syyskuu	€	-288,8228571
lokakuu	€	290,7977143
marraskuu	€	912,7542857
joulukuu	€	1437,726857
Kaukolämpö 0% alv 50 €/MWh	Yhteensä €	7519,9

## Pumpun mitoitus

Taul.11

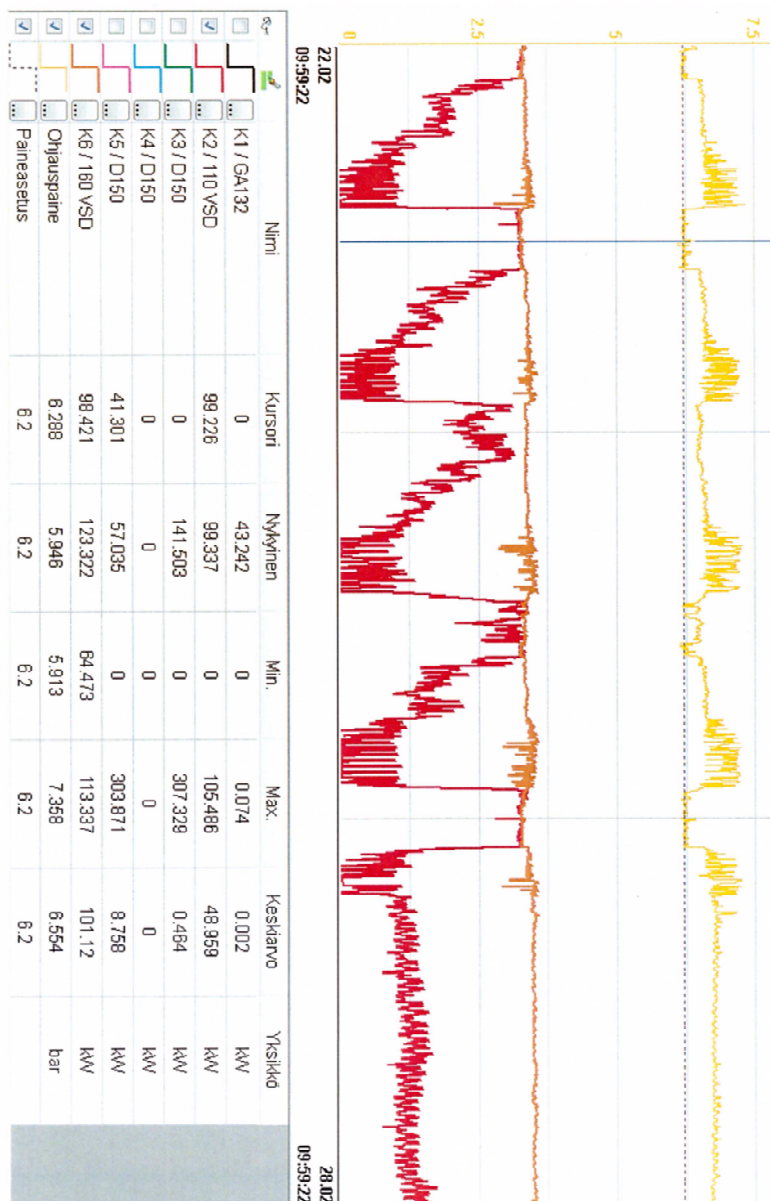
piirin tilavuusvirta	1,4 l/s
neste etyleeniglykoli-/vesiseos	25 %
Putkisto	2 kPa
Kompressorin lämmönsiirrin	20 kPa
Lämmönsiirrin	10 kPa
Linjasäätöventtiili	6,5 kPa
lianerotin	2 kPa
2 -tiesäätöventtiili	25 kPa
<b>Yhteensä</b>	<b>65,5 kPa</b>

Kompressoreiden käyttöaste

Kompressoreiden tehojen keskiarvot  
valvontajärjestelmästä

Taul. 11

	KA:	käyttö- aste
Ovensuljintehdas Hertz frecon 160 plus		
11-17.1.2016	75,4 kW	47 %
22-28.2.2016	101,1 kW	63 %
21-27.3.2016	81,6 kW	51 %
Ajanjaksojen KA:	<b>86,0 kW</b>	54 %
Päätetehdas Hertz frecon 110 Plus		
11-17.1.2016	87,7 kW	79 %
22-28.2.2016	49,0 kW	45 %
21-27.3.2016	43,7 kW	39 %
Ajanjaksojen KA:	<b>60 kW</b>	54 %



## Ovensuljintehdas laiteluettelo

SYS.NRO	LAITE-TUNNUS	LAITTEIMI	SIJAINTI	TEKNISET ARVOT			SÄHKÖTEHO kW	LISÄTietoJA
				ILMAVIRTÄ, dm <sup>3</sup> /s	ALUE °C/(%)	PAINE-ERO Pa		
		VAIKUTUSALUE		NESTEVIRTÄ, dm <sup>3</sup> /s	ALUE °C	PAINE-ERO kPa	TOEELLINEN	
PIKLTO01-	TV02	2-temoottoriventtiili PIKLTO01	Ovensuljintehdas AU	1,41	39 / 14	25	0,1 / 24V	Putkiasennus PU
	LSV01	Linjasäätöventtiili PIKLTO01	Ovensuljintehdas PU	1,41	39 / 14			Putkiasennus PU
	PU01	Pumppu PIKLTO01	Ovensuljintehdas PU	1,41	39 / 14	65,5	0,19 / 230V	Vexve DN50 Grundfos Magna3 32-100F, 1,5 A + Ip-anturi 20% etulyeenikytköji
	PS01	Paisuntasäiliö PIKLTO01	Ovensuljintehdas PU					Flexcon Top 8 dm3-6bar, esp. 50 kPa tuotenumero: 16008
	VV01	Varoventtiili LTO-verkosto	Ovensuljintehdas PU					Avautumis. 250 kPa, DN20
	LS01	Lämmönsiirrin PIKLTO01 ja TK01	Ovensuljintehdas PU	1,41 / 1,9	39-14 / 11-30			Levylämmönsiirrin 138 kW
	KPU01	Täyttöpumppu PIKLTO01	Ovensuljintehdas PU					Putkiasennus PU Nira 6b
	LSV02	Linjasäätöventtiili	Ovensuljintehdas PU	1,88	30 / 11			Putkiasennus PU Vexve DN50
	LSV03	Linjasäätöventtiili	Ovensuljintehdas PU	1,4	26 / 11			Putkiasennus PU Vexve DN50