

Mika Simonsson

**POLYMEROINTILAITOKSEN PAINE-
ILMAJÄRJESTELMÄN KARTOITUS JA
ENERGIAN-
SÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET**

Opinnäytetyö
Energiatekniikka

Maaliskuu 2017



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tekijä/Tekijät Mika Simonsson	Tutkinto Insinööri	Aika Maaliskuu 2017
Opinnäytetyön nimi Polymerointilaitoksen paineilmajärjestelmän kartoitus ja energiansäästömahdollisuudet		30 sivua 3 liitesivua
Toimeksiantaja BASF Oy		
Ohjaaja Lehtori Hannu Sarvelainen		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää BASF Haminan polymerointilaitoksen paineilmalaitteiston toimintaa, uudistamistarvetta sekä energiansäästömahdollisuuksia. Lisäksi selvitettiin olisiko kannattavaa uudistaa paineilmakompressoreita sekä kuivaimia uusilla energiatehokkaammilla laitteilla. Laitoksella käytetään paineilmaa eniten tuotteen pumppaamiseen prosessivaiheesta toiseen. Työssä selvitettiin myös vaihtoehtoisia energiatehokkaampia pumppausmenetelmiä.</p> <p>Työssä tehtiin aluksi paineilmalaitteiston sekä paineilmaverkoston yleiskartoitus. Paineilmaverkosto on jaettu instrumentti- ja työilma verkoksi. Verkostojen kulutustiedot mitattiin yhteistyössä laitetoimittajan kanssa. Laitetoimittajan avustuksella mietittiin mahdollisuuksia alentaa paineilmasäiliön painetta, vaihtoehtoisia uutta kompressoria sekä paineilma-kuivainten uusimista. Tutkittiin myös paineilmakompressorien tuottaman lämpöenergian hyödyntämistä viereisten rakennusten lämmityksessä, sekä energiansäästömahdollisuuksia erilaisten pumppausmenetelmien välillä.</p> <p>Lopputuloksena löydettiin useita erilaisia mahdollisuuksia energiansäästöihin. Työilma- verkostossa olevan suuren paineilmasäiliön ansiosta, voidaan kyseisen verkoston painetasoa laskea ilman, että prosessi tai kompressorit häiriintyvät. Nykyisten työilma- kompressorien kuivainten kastepisteohjauksen vikaantumisen johdosta kuivaimet toimivat aikaohjauksella. Kuivaimet kuluttavat tästä johtuen runsaasti ylimääräistä energiaa, ja niiden uusinnalla saataisiin kompressorien ominaisenergiankulutusta laskettua. Vaihtoehtoisesti työilmakompressorien korvaaminen uudella energiatehokkaammalla taa- juusmuuttajaohjatulla kompressorilla säästäisi energiaa. Jos uuden kompressorin sijoituspaikka on tuotantovarastossa nykyisen instrumenttikompressorin tavoin, sen lämpö- energia saataisiin hyödynnettyä tuotantovaraston lämmityksessä. Nykyisen paineilma- keskuksen lämpöenergialla saataisiin myös korvattua osa tuotantovaraston lämmityk- seen käytettävästä maakaasusta. Paineilmankulutusta ja sitä kautta energiaa saataisiin myös säästettyä korvaamalla tuotannossa olevat paineilmakäyttöiset kalvopumput säh- kökäyttöisillä ruuvipumpuilla.</p>		
Asiasanat paineilmajärjestelmä, energiansäästö, kompressori, painetaso		

Author (authors)	Degree	Time
Mika Simonsson	Bachelor of Science	March 2017
Thesis Title		
Polymerization Plant Compressed Air System Mapping and the Potential for Energy Savings		30 pages 3 pages of appendices
Commissioned by		
BASF Oy		
Supervisor		
Hannu Sarvelainen, Senior Lecturer		
Abstract		
<p>The aim of this thesis was to study the operation of compressed air system in the BASF Hamina polymerization plant, and to examine the need to modernize as well as to clarify energy saving potential. In addition, it was investigated whether it would be profitable to renew air compressors and dryers with energy efficient equipment. At the plant, majority of the compressed air is used for the pumping of the product from one process stage to another. In the study, also alternative more energy efficient pumping system was investigated.</p> <p>The general charting of a compressed air equipment and the air network was conducted first. The compressed air network is divided into instrumental and work air network. Networks consumption data was measured in co-operation with the equipment supplier. With the assistance of the equipment supplier, the possibilities to reduce the air pressure in the air tank, an alternative new compressor and the renewal of dryers were pondered. The use of thermal energy produced with air compressors for heating the adjacent buildings and potential energy savings by comparing various pumping methods were also investigated.</p> <p>As a result, several different opportunities to save energy were found. Because of the big air tank in the work air network, the pressure level can be reduced without disturbing the process or the compressors. Due to the malfunction of the dew point control, the dryers of the work air compressors work with time control and consume plenty of extra energy. By renewing the dryers, the specific power of compressors can be reduced. Alternatively, the replacement of work air compressors with the new energy-efficient inverter controlled compressor would save energy. If the new compressor was placed in the production warehouse, its thermal energy could be utilized in the heating of the building. The thermal energy of a current compressed air center can be used to compensate the part of natural gas, which is used for heating of the production warehouse. Compressed air consumption, and therefore energy would also be saved by replacing the pneumatic diaphragm pumps in production with electrically driven progressive cavity pumps.</p>		
Keywords		
compressed air system, energy saving, compressor, pressure level		

SISÄLLYS

LYHENTEET JA SELITTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 KOHTEEN PERUSTIEDOT	8
2.1 BASF SE	8
2.2 Haminan tehdas.....	8
3 TUOTANTOPROSESSIN KARTOITUS.....	9
3.1 Tuotantoprosessi	9
3.2 Polymerointi.....	11
4 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN KARTOITUS	11
4.1 Paineilma.....	11
4.2 Kompessorit.....	13
4.3 Kompessorien ohjausjärjestelmät.....	14
4.4 Paineilman jälkikäsittely	15
4.5 Paineilman tuotanto, jakelu ja käyttö	16
4.6 Laitoksen sähkönkulutus	19
5 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN ENERGIANKULUTUS	20
5.1 Aiemmat mittaukset	20
5.2 Paineilman kulutus- ja tehomittaukset	20
6 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN ENERGIANSÄÄSTÖKOHTEET.....	23
6.1 Energiansäästötoimenpiteet	23
6.2 Paineilman kulutuskohteet.....	24
7 PARANNUSEHDOTUKSET	24
7.1 Verkoston painetason laskeminen	24
7.2 Kuivaimien vaihto uuteen lämpöelvytteiseen adsorptiokuivaimeen	25
7.3 Uuden kompressorin hankinta	26
7.4 Kompessorien LTO.....	27

7.5	Suodatuksen kalvopumppujen korvaaminen ruuvipumpuilla	28
8	YHTEENVETO	29
	LÄHTEET.....	30

LIITTEET

Liite 1. Kalvopumpun tuottokäyrä

Liite 2. Paineilmasäiliö

Liite 3. Maakaasun kulutus 2015

LYHENTEET JA SELITTEET

Tunnus	Selite	Yksikkö
p	Paine	[bar]
p_a	Absoluuttinen paine	[bar _a]
p_g	Ylipaine = [bar _a] - 1[bar]	[bar _g]
T	Lämpötila	[°C]
qV	Tilavuusvirta	[m ³ /min]
P	Teho	[W]
S	Ominaisteho	[kW/(m ³ /min)]
E	Energia	[Wh]
I	Virta	[A]
t	Tunti	[h]
cos φ	Tehokerroin	[-]
X	Tehtaan tuotanto	[t/a]

1 JOHDANTO

Energiansäästö ja energiatehokkuus ovat termejä, jotka tulevat nykyään vastaan kaikkialla teollisuudessa. Prosessi- ja kemianteollisuudessa myös käytettävyys ja käyttövarmuus ovat erittäin tärkeässä asemassa. Teollisuuslaitoksissa paineilma on välttämätön käyttöhyödyke, johon ei välttämättä kiinnitetä huomiota ennen kuin on pakko. Viimeisen 15 vuoden aikana teollisuuden energiakustannukset ovat nousseet huomattavasti, minkä seurauksena koneiden ja laitteiden energiatehokkuuteen on alettu kiinnittää aiempaa enemmän huomiota. Paineilmajärjestelmien käyttövarmuus on teollisuudessa ollut huomattavasti tärkeämmässä asemassa kuin järjestelmän energiankulutus. Paineilmajärjestelmän elinkaarikustannuksista n. 70 % koostuu energiakustannuksista ja tähän seikkaan on alettu kiinnittämään entistä enemmän huomiota. Oikein suunniteltu ja rakennettu paineilmajärjestelmä on sekä käyttövarma että energiatehokas.

Työn tarkoituksena oli tutkia BASF Haminan polymerointilaitoksen paineilmajärjestelmän toimintaa. Tavoitteena oli löytää järjestelmästä energiansäästömahdollisuuksia ja samalla parantaa laitteiston käyttövarmuutta. Polymerointilaitoksella tarvittavapaineilma tuotetaan kolmella laitoksen omalla kompressorilla. Paineilmaverkosto on jaettu instrumentti- ja työilmaverkostoksi. Työilmaa tuotetaan omassa paineilmakeskuksessa olevilla ruuvikompressoreilla ja instrumentti-ilmantuotosta vastaa tuotantovarastoon sijoitettu hammasroottori-kompressori. Laitoksella paineilmaa käytetään prosessin instrumentoinnissa, prosessipuhalluksissa ja tuotannon pumppauksissa.

Paineilmajärjestelmän energiatehokkuutta tutkiessa selvitettiin kompressorien ominaisteho. Ominaisteholla tarkoitetaan koko kompressorilaitteiston sähkötehon suhdetta kompressorin tuottamaan ilmamäärään. Energiatehokkuuden kannalta on myös olennaista, ettei paineilmaa yliprosessoida ja tähän asiaan kiinnitettiin huomiota ilmakeivaimia tarkasteltaessa. Paineilman tuottamiseen käytetyn sähköenergian muuttuessa lämpöenergiaksi tutkittiin myös järjestelmän lämmöntalteenottomahdollisuuksia.

2 KOHTEEN PERUSTIEDOT

2.1 BASF SE

BASF SE on suurin kemikaalien tuottaja maailmassa ja pääkonttori sijaitsee Ludwigshafenissa Saksassa. BASF-konserniin kuuluvat tytär- ja yhteisyritykset yli 80 maassa. Yhtiöllä on tuotantolaitoksia Euroopassa, Aasiassa, Australiassa, Amerikassa ja Afrikassa yhteensä 390. Tuotevalikoimaan kuuluu öljyt, kaasut, muovit, maataloustuotteet ja hienokemikaalit. (BASF 2016a.)

Friedrich Engelhorn perusti yhtiön, BASF (Badische Anilin und Sodafabrik) 6. huhtikuuta 1865 Mannheimissa, Saksassa. Vuoden 2015 lopussa yhtiön palveluksessa oli yli 112 000 ihmistä, yli 52 800 pelkästään Saksassa. Vuonna 2015 yhtiön liikevaihto 70,4 mrd € ja tuotot ennen kertaluonteisia eriä noin 6,7 mrd €. (BASF 2016a.)

Yhtiö toimii Suomessa neljällä paikkakunnalla Helsingissä, Haminassa, Riihimäellä ja Espoossa. Työntekijöitä on Suomessa noin 110. Tehdas sijaitsee HaminaKotkan satamassa Haminan nestesatamassa. Tehtaalta on matkaa sataman pääportille noin 3 km. (BASF2016b.)

2.2 Haminan tehdas

Opinnäytetyökohteen toimiala on Kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden valmistus.

Polymerointilaitoksella valmistetaan styreeni-butadieeni- ja styreeni-akrylaattipohjaisia dispersioita. Haminan tehtaan alkuperäinen tuotantokapasiteetti on 140 000 t/a. Polymerointilaitos on käynnissä keskimäärin 8 000 tuntia vuodessa.

Tehtaan käytöstä vastaa oma käyttöhenkilökunta. Päivittäisestä huollosta ja kunnossapidosta vastaa oma kunnossapito henkilöstö, mutta tarvittaessa käytetään lisänä ulkopuolisia urakoitsijoita. Prosessilaitteita puhdistetaan säännöllisesti ulkopuolisen urakoitsijan suorittamana korkeapainepesuna.

Kiinteistö	BASF Oy, Haminan tehdas
• Osoite	Kaasusatamantie 6, 46800 Hamina
• Rakennustyyppi	Kemikaalien ja kemiallisten tuotteiden valmistus /20
• Rakennusvuosi	2002
• Rakennustilavuus	67411 m ³
• Bruttoala	9204 m ²
• Käyttöaika	TAM37

Tehtaalla käytettävä höyry tuotetaan tehdasalueella sijaitsevalla Haminan Energian höyrykattilalaitoksella. Kattilalaitos polttaa maakaasukattiloissa prosessista ja varastoinnista peräisin olevia orgaanisista yhdisteistä koostuvia tuotekaasuja.

Sähkön ja maakaasun myy ja siirtää Haminan Energia Oy.

Puhdas vesi (juoma ja prosessivesi) ostetaan myös Haminan Energialta. Tehaan jätevedet ohjataan kaupungin kunnalliseen viemäriverkkoon.

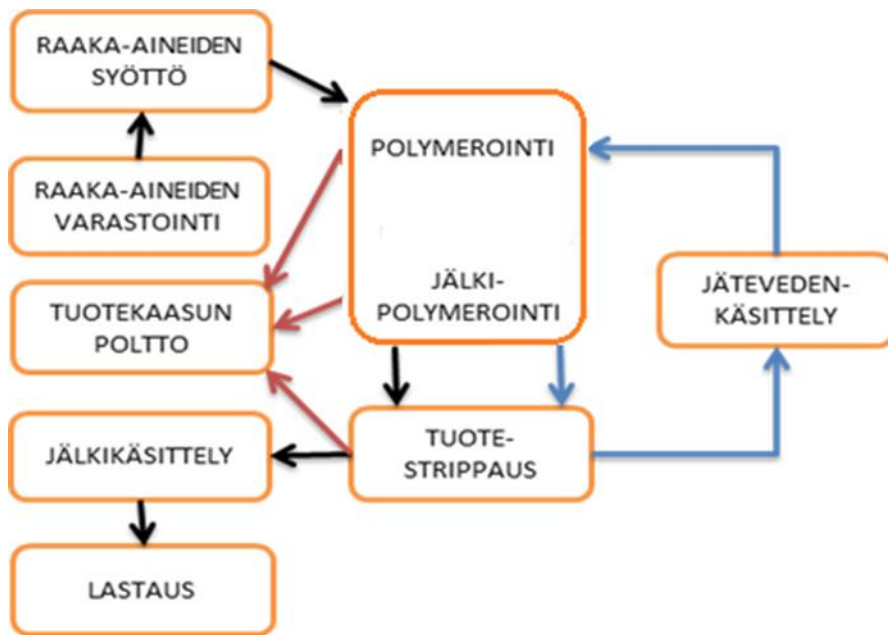
Laitoksen rakennukset on nimetty seuraavasti.

- LOT1 Tuotantorakennus
- LOT2 Toimistorakennus
- LOT3 Raaka-aine varasto
- LOT4 Tuotantovarasto
- LOT5 Putkisilta
- LOT6 Korjaamorakennus
- LOT7 Jätevedenkäsittely

3 TUOTANTOPROSESSIN KARTOITUS

3.1 Tuotantoprosessi

Tuotantoprosessi toimii panosperiaatteella. Pääosa raaka-aineista annostellaan reaktiosäiliöön, jossa polymerointi tapahtuu tarkoin kontrolloiduissa olosuhteissa. Polymerointireaktion jälkeen lateksi jälkipolymeroidaan. Tämän jälkeen lateksista poistetaan mahdolliset muut raaka-ainejäämät. Lateksi jäähdytetään ja suodatetaan ennen sen siirtoa tasaussäiliöön, jossa tuotteen ominaisuudet säädetään asiakasspesifikaation mukaiseksi (kuva1). (Tynkkynen 2016.)



Kuva 1. Tehtaan yksinkertaistettu prosessikaavio (Etteplan)

Prosessien toimintoja tarkkaillaan ja ohjataan prosessinohjausjärjestelmän (Distributed Control System) ja polymerointia valvovan turvalogiikan (Failsafe Programmable Logic Control) avulla. Polymerointia valvova turvalogiikka on suunniteltu siten, että se estää hallitsemattoman reaktion. Pahimmassa tapauksessa hallitsematon reaktio voisi aiheuttaa reagoimattomien raaka-ainesten vapautumisen reaktorista ulos. Kumpaakin järjestelmää on päivitetty ja muokattu häiriötilanteiden vähentämiseksi ja estämiseksi. Järjestelmien sähkönsyöttö on turvattu kaikissa tilanteissa varavoiman avulla. (Tynkkynen 2016.)

Prosessia ohjataan Emerson DeltaV prosessinohjausjärjestelmällä (DCS) ja turvalogiikkajärjestelmä (FPLC) on Triconex.

3.2 Polymerointi

Polymerointi tapahtuu vesivaipalla varustetuissa reaktoreissa. Reaktoria lämmitetään reaktion alkuvaiheessa höyryllä. Reaktion käynnistyessä reaktoria jäähdytetään eksotermisen reaktion pitämiseksi halutussa lämpötilassa.

Tuotteesta ja jätevedestä poistetaan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC), strippereissä ja jätevesikolonissa. Stripperit ovat alipaineessa ja niissä syntyvät tuotekaasut lauhdutetaan erillisissä lämmönvaihtimissa. Syntyvät lauhteet palautetaan osittain takaisin prosessiin. Kuiva kaasu jae toimitetaan poltettavaksi kattilalaitokselle. Tuote- ja jätevesistriippaus ovat tehtaan suurimmat höyrynkulutuskohteet.

Strippereiltä tuote pumpataan suodatettavaksi tuotesuotimille. Tuotesuodattimilla tuotteesta erotetaan sakka, joka otetaan talteen ja siirretään muun laitoksen kuivajätteen mukana käsiteltäväksi.

Suodatuksen jälkeen dispersio pumpataan viimeiseen prosessivaiheeseen eli tasaussäiliöön. Tuotteen kuiva-ainepitoisuus ja pH-arvo säädetään tasaussäiliössä halutuksi. Säiliössä voidaan tehdä tarvittaessa myös muita kemikaaliliikkeitä, joilla säädetään tuotteen ominaisuuksia. Tuote siirretään tasaussäiliöstä varastoon tai suoraan säiliöautoon. (BASF eDMS, 2016)

4 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN KARTOITUS

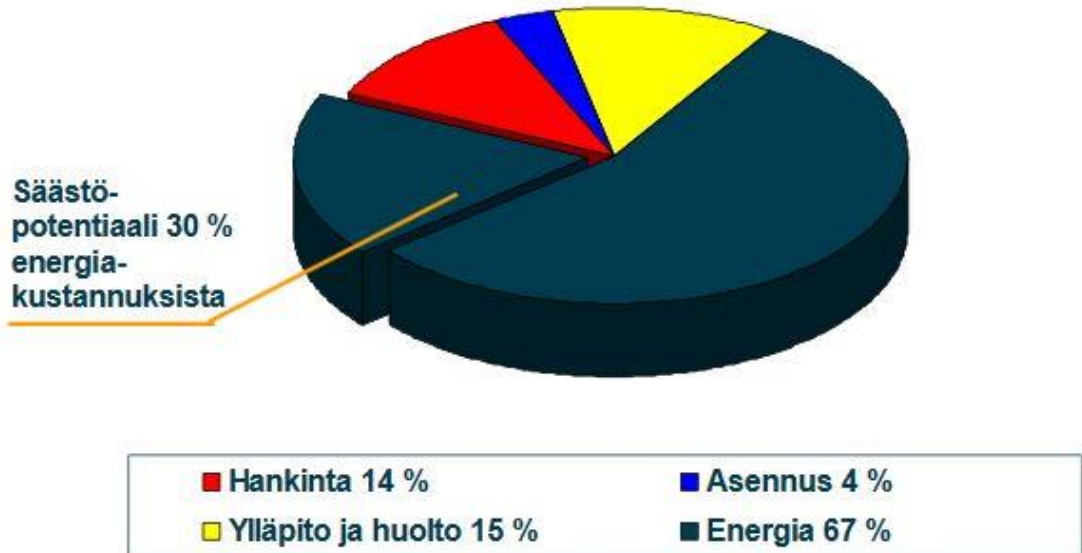
4.1 Paineilma

Paineilma on käytännössä ilmakehän ilmaa puristetussa tilassa. Paineilmaa voidaan ajatella varastoituna energiana, jota hyödynnetään erilaisena työnä ylipaineen purkautuessa (Paalumäki, Lappalainen & Hakapää 2015, 295). Paineilmaa tarvitaan ja käytetään kaikilla teollisuudenaloilla ympäri maailmaa. Paineilmaa käytetään esim. prosessiautomaatiossa, erilaisten kappaleita liikuttamisessa ja sekä prosessin ilmasyötöissä. (MOTIVA 2015a.)

Paineilmaa tuotetaan erityyppisillä kompressoreilla. Kompressorit käyttävät paineilman tuottamiseen sähköenergiaa. Keskeisiä käsitteitä paineilmateknii-

kassa ovat ylipaine, absoluuttinen paine, kompressorin tuotto, moottorin pätöteho, moottorin näennäisteho sekä ominaisteho. Kompressorin ominaisteholla tarkoitetaan sähkön ottotehon ja kompressorin tuottaman ilmamäärän suhdetta. Kompressorin ottoteho pitää sisällään kaikkien laitteistossa olevien sähkönkuluttajien (päämoottori, tuuletin, öljypumppu jne.) ottotehot. (Paalumäki ym. 2015, 295.)

Pääoma- ja käyttökustannukset muodostavat paineilmajärjestelmän kokonaiskustannukset. Käyttökustannukset muodostuvat energia- ja ylläpitokustannuksista sekä tarvittavista jäähdytysvesikustannuksista (kuva 2). Paineilman tuottaminen tapahtuu sähköllä, joten laitteiden ja paineilmakäyttöisten työkalujen hyötysuhteet vaikuttavat olennaisesti käyttökustannuksiin. Paineilman tuottamiseen käytetystä sähköstä suurin osa muuttuu lämpöenergiaksi ja ainoastaan n. 6 % saadaan hyödynnettyä työnä. Paineilma on huonon hyötysuhteen vuoksi teollisuuden kalleimpia energiamuotoja. (MOTIVA 2015a.)



Kuva 2. Kompressorin elinkaarikustannukset (SARLIN)

Teollisuuden sähköenergiankulutuksesta on arvioitu kuluvan paineilman tuottamiseen n. 5 – 10 %. Erilaisten tutkimusten mukaan paineilmajärjestelmien säätämällä on mahdollista säästää yli 30 % paineilmakustannuksista (Paalumäki ym. 2015, 299).

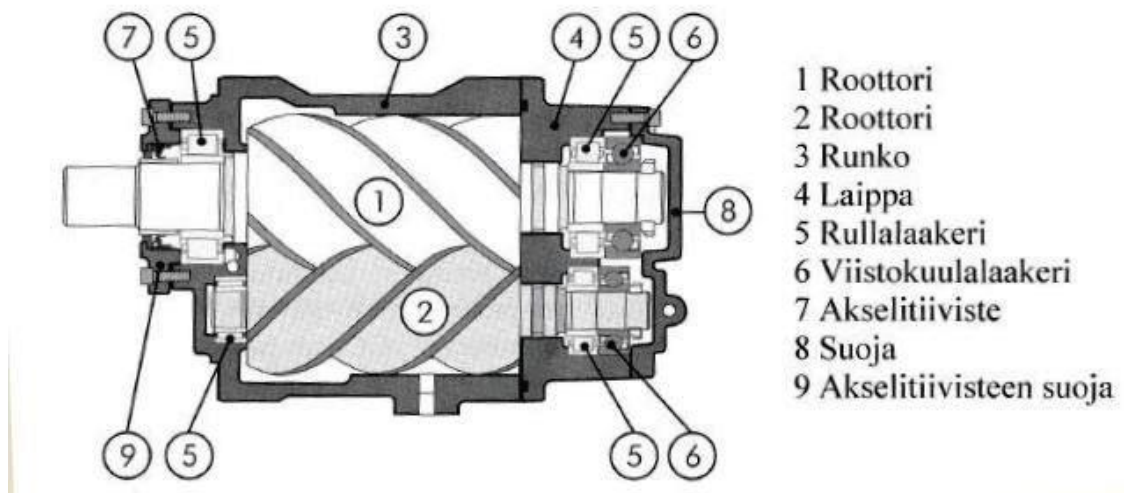
4.2 Kompressorit

Kompressorit voidaan jakaa kahteen pääryhmään staattisen ja kineettisen puristuksen perusteella. Kineettisessä kompressorissa ilma virtaa juoksupyörään, jossa se kiihdytetään suureen nopeuteen keskipakovoiman avulla. Ilma ohjataan johtolaitteeseen (diffuusori), missä sen kineettinen energia muuttuu potentiaalienergiaksi, staattiseksi paineeksi. (Ellman, Hautanen, Järvinen & Simpura 2002, 43.)

Staattiset eli syrjäytyskompressorit imevät ilmaa laitteistoon ja sulkevat tämän jälkeen ilman sisäänsä. Laitteessa sisällä oleva ilma puristetaan kokoon ja tämä aiheuttaa paineen muodostumisen. Kompressorityyppejä ovat ruuvi- ja mäntäkompressorit, joista ruuvikompressorit on yleisin. (Paalumäki ym. 2015, 295.)

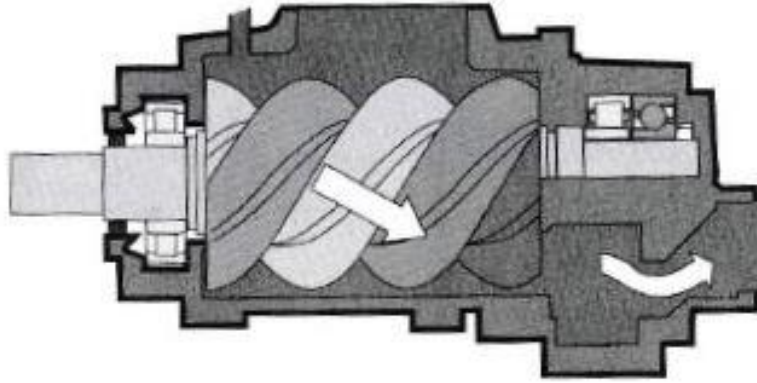
Jo vuonna 1930 kehitettiin öljyttömän ruuvikompressorin toimintaperiaate. Kehitystyön tavoitteena oli saavuttaa suuri ja tasainen tilavuusvirta kahden rynnössä pyörivän roottorin avulla. (Ellman ym. 2002, 44.)

Ruuviyksikössä on ruuvi- ja luistiroottori, joiden väliin jäävissä urissa ilman koonpuristuminen tapahtuu. Roottoreiden ympärillä on tiivis runkorakenne (kuva 3).



Kuva 3. Kompressorin ruuviyksikkö (Ellman 2002, 44)

Ilmaa imetään roottorien uriin rungossa olevasta imuaukosta. Pyöriessään roottorit sulkevat yhteyden imuaukkoon ja roottoreiden välinen tila pienenee pyörimisliikkeen edetessä. Puristettu ilma johdetaan lopuksi ruuviyksikön poistokoukkuun (kuva 4). (Ellman ym. 2002, 45.)



Kuva 4. Ilman puristus ruuviyksikössä (Ellman 2002, 45)

4.3 Kompressorien ohjausjärjestelmät

Kompressorit ovat yleisesti oikosulkumoottorikäyttöisiä ja niiden käytetyimpiä ohjaustapoja ovat kuormitus/kevennys-säätö ja kierroslukusäätö. Kompressorit käyvät todellisen paineilmakulutuksen mukaisesti ja siirtyvät kevennetyille käynnille paineen noustessa asetettuun irtikytkentäpaineeseen. Kevennyskäynnissä kompressori ei tuota paineilmaa, mutta kuluttaa energiaa 20-40 % kuormituskäytön tarpeesta. Kevennyskäynnin energiankulutus on kompressorin toimintatavasta riippuvainen. (Paalumäki ym. 2015, 298.)

Kuormitus/kevennys-säätöinen kompressori pysähtyy, kun verkoston paine pysyy tarpeesi pitkän ajan halutulla tasolla. Kompressori kestää paremmin, kun pysäytyksiä tulee harvemmin.

Kierroslukusäätöisen kompressorin pyörimisnopeutta säädetään taajuusmuuttajalla. Kompressori käy kuormituksella täyttäen paineilmaverkostoa ja pyrkii pitämään asetetun paineen verkostossa kompressorin kierroslukua säätämällä. Kierroslukusäätö on joissain olosuhteissa energiatehokas ratkaisu. Taajuusmuuttajakäyttöisen kompressorin hyötysuhde vaihtelee huomattavasti säätöalueella. Kompressorit mitoitetaan käymään optimaalisesti sähkön otto-
tehon ollessa 65 %. Energiatehokkuus heikkenee tästä pisteestä etäännyessä.

On myös syytä huomioida taajuusmuuttajan energiankulutus, joka on 3-5 % kuormituskäynnin nimellistehosta. Kierroslukusäätöinen kompressori on energiatehokas vaihtoehto, jos kompressori käy usein kevennetyllä käynnillä. (Paalumäki ym. 2015, 298.)

4.4 Paineilman jälkikäsitteleminen

Paineilmaa jälkikäsitellään kuivaimilla, jäähdyttimillä, suodattimilla ja lauhteenpoistojärjestelmillä. Kulutuskohteet määräävät vaatimukset käytettävän paineilman suodatukselle ja kuivaamiselle (taulukko 1.). Riippumatta siitä käytetäänkö paineilman tuottamiseen öljyjäähdytteisiä vai öljyttömiä kompressoreita on jäännösöljypitoisuus tuotetussa paineilmassa lähes sama. Paineilman kosteuspitoisuuteen ei kompressorityypillä ole vaikutusta. Kompressorit tuottavat kylläistä paineilmaa. (Paalumäki ym. 2015, 300.)

Taulukko 1. Paineilman laatustandardi ISO 8753-1 (Ellman 2002, 53)

Laatu - luokka	Kiinteät partikkelit		Kastepiste °C	Öljypitoisuus mg/m ³
	koko µm	määrä mg/m ³		
1	0.1	0.1	- 70	0.01
2	1	1	- 40	0,1
3	5	5	- 20	1
4	15	8	+ 3	5
5	40	10	+ 7	25
6	-	-	+ 10	-
7	-	-	-	-

Paineilman yleisimmät kuivausmenetelmät ovat jäähdytyskuivaus ja adsorptiokuivaus. Jäähdytyskuivauksella päästään alimmillaan +3 °C kastepisteeseen. Jäähdytyskuivattu ilma kelpaa ainoastaan lämpimissä tiloissa käytettäväksi. (Tamrotor 2016.)

Adsorptiokuivaimilla päästään -70 °C:n kastepisteeseen. Kuivaimet on täytetty kuivausaineella (esim. silicageeli), mihin kosteus imeytyy. Kuivaimia on useimmiten kaksi, joista toinen on käytössä ja toinen elvytyksessä. Elvytystä voidaan tehdä kolmella eri tavalla. Elvytys voi tapahtua kuivatulla paineilmalla, yhdessä paineilman ja kuivaimissa olevien sähkövastusten avulla tai erillisellä puhaltimella puhallettavan lämmitetyn ilman avulla.

Paineilmaelvytys kuluttaa eniten energiaa n. 20 % kokonaiskulutuksesta. Adsorptiokuivain kuluttaa energiaa ainoastaan elvytysvaiheessa ja elvytystä tarvitaan ainoastaan kastepisteen noustessa yli asetusarvon.

4.5 Paineilman tuotanto, jakelu ja käyttö

Erillisessä paineilmakeskuksessa (kuva 5) tuotetaan tehtaan käyttämä paineilma, josta se johdetaan paineilmasäiliöön ja sieltä edelleen putkistoa pitkin kulutuskohteisiin. Paineilmakeskukseen on sijoitettuna kaksi Boge S75 öljyvoideltua suorakäyttöistä ruuvikompressoria ja kaksi Rohrsystem-Technik DA90 kuivainparia. Kompressorit ja kuivaimet ovat alkuperäisiä vuodelta 2001.

Paineilmakeskuksessa olevien kompressorien ohjaus on toteutettu omalla Siemensin logiikalla. Kompressoreilta on tuotu käynti- ja vikatiedot prosessinohjausjärjestelmään.

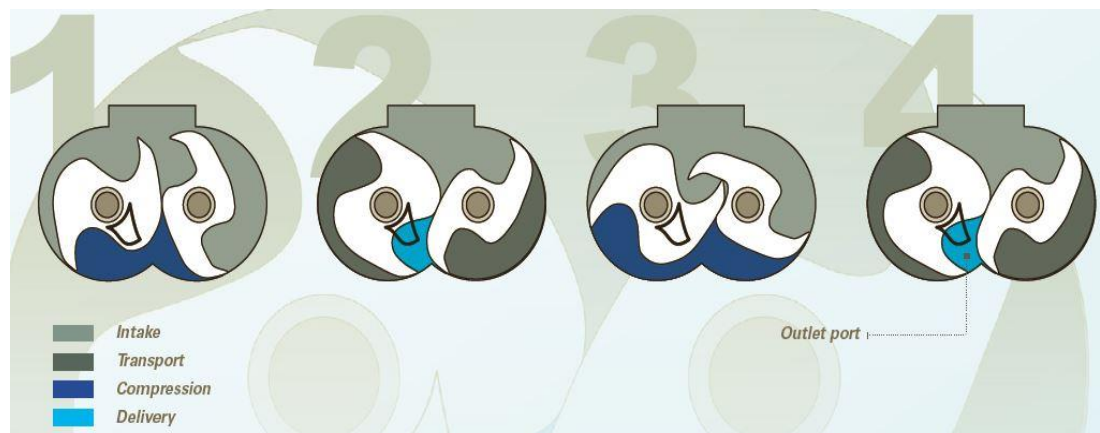


Kuva 5. Paineilmakeskus

Paineilmasäiliöltä (8bar, 30 m³) verkosto jakautuu kahteen osaan, instrumentti- ja työilmaverkkoon (Liite 2). Instrumentti-ilman painetaso on säädetty 4,5 baariin ja työilman 6 baariin. Verkostossa ei ole kiinteää kulutusmittausta.

Tehtaalle on hankittu syksyllä 2015 kolmas käytetty kompressorin varmistamaan paineilman tuotantoa. Tuotantovarastoon (LOT4) on sijoitettu Atlas-Copco ZT30 öljytön hammasrootorikompressorin (kuva 6) ja Hamarin VX-3-kuivainyksikkö. Kompressorin syöttää paineilmaa oman paineilmasäiliön (7 bar, 1,5 m³) kautta instrumentti-ilmalinjaan. Painetaso on säädetty 4,7 baariin. Kompressorin ja kuivainyksikkö on valmistettu vuonna 2001.

Kompressorin ohjataan laitteen omalla logiikalla, josta ei ole yhteyttä prosessinohjausjärjestelmään.



Kuva 6. Ilman puristus hammasrootorikompressorissa (Atlas Copco)

BOGE S75 -kompressorin A001

- Vuosimalli 2001, 55 kW
- Tuotto (10 bar) 9,1m³/min
- Käyttö- ja kuormitustunnit 72645 (64472) /21810 (19289) h
- Paineasetus:10,5/8 bar
- Vuorokäynnistys
- Kuivain Rohrsystem-Technik DA90 vm.2001
- Kastepistehjaus

BOGE S75 -kompessorori B001 (kuva 7)

- Vuosimalli 2001, 55 kW
- Tuotto (10 bar) 9,1m³/min
- Käyttö- ja kuormitustunnit 60399 (53604) /18003 (15387) h
- Paineasetus:10,5/8 bar
- Vuorokäynnistys
- Kuivain Rohrsystem-Technik DA90 vm.2001
- Kastepisteohjaus

Suluissa olevat käyttö- ja kuormitustunnit on luettu 14.4.2015. A-kompressorin käyttötuntimittaus on ilmeisesti nolautunut jossain välissä, koska lukema laitteen näytössä oli edellistä lukemaa huomattavasti pienempi (5446 h). A-kompressorin todelliset käyttötunnit on arvioitu.



Kuva 7. BOGE S75 -kompessorori B001

Atlas Copco ZT 30 (kuva 8)

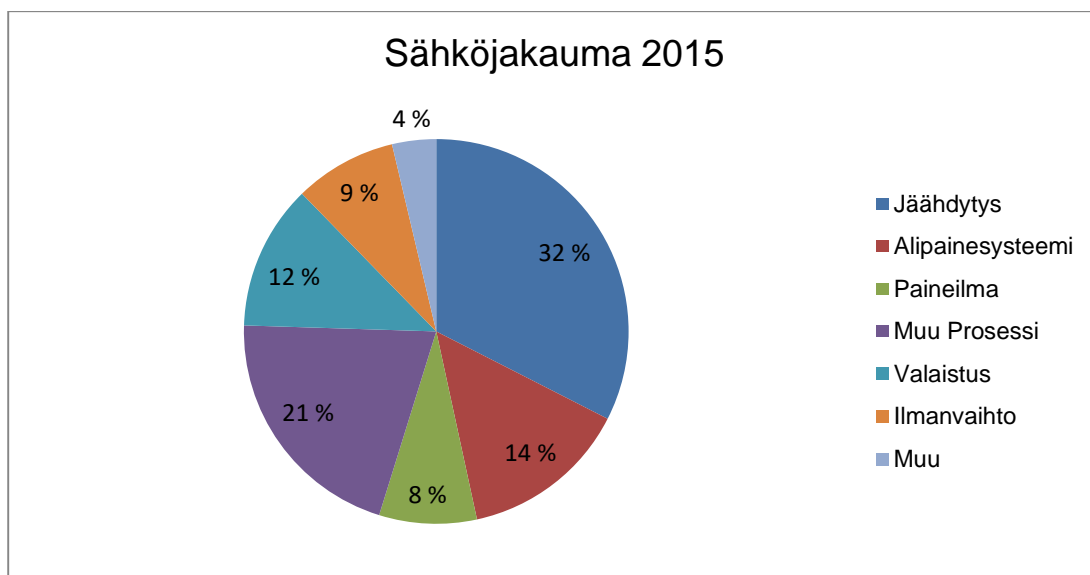
- Vuosimalli 2001, 30 kW
- Tuotto (7,5 bar) 4,7 m³/min
- Käyttö- ja kuormitustunnit 27746/12223h
- Paineasetus:7,0/4,7 bar
- Aina käynnissä
- Kuivain Hamarin VX-3
- aikaohjaus



Kuva 8. Atlas Copco ZT30 ja kuivaimet tuotantovarastossa

4.6 Laitoksen sähkönkulutus

Kohteen sähkönkulutus oli vuonna 2015 yhteensä 5051 MWh/a. Jakauman tiedot perustuvat tehtaan laite- ja käyttöaikatietoihin sekä Etteplanin tekemään energia-analyysiin (kuva 9). Suurin kuluttaja on prosessin jäähdytysvesijärjestelmä.



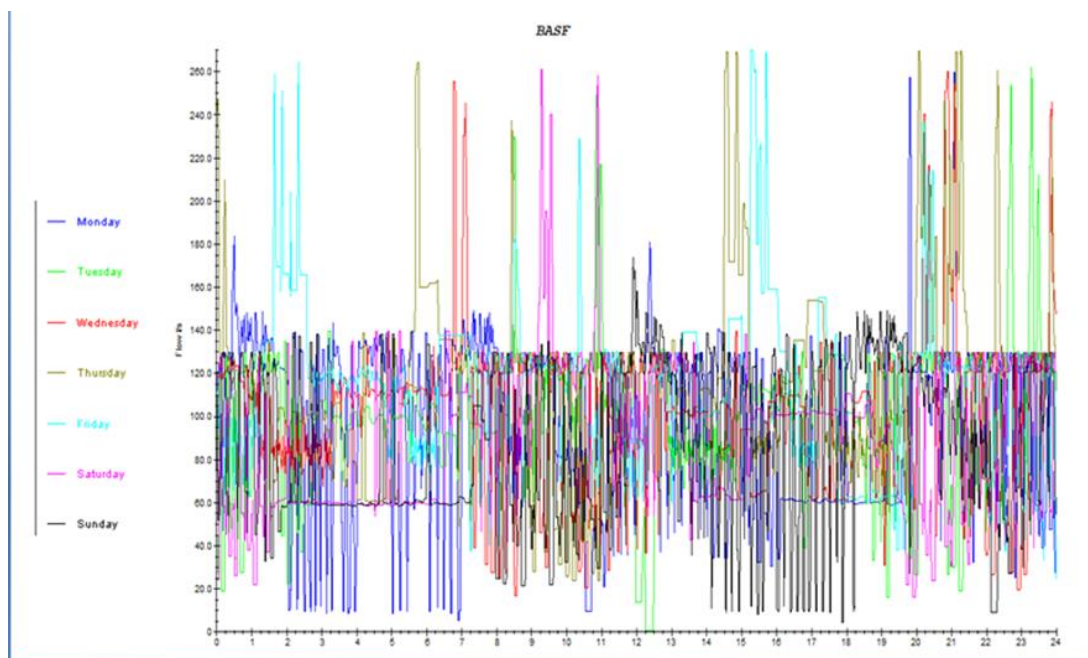
Kuva 9. Sähköenergian kulutusjakauma

Paineilman tuotantoon käytettiin vuonna 2015 n. 8 % koko laitoksen käyttämästä sähköenergiasta.

5 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN ENERGIANKULUTUS

5.1 Aiemmat mittaukset

Atlas Copcon aiemmin suorittaman paineilmamittauksen 14. – 21.4.2015 perusteella sähköenergian vuosikulutus oli n. 420 MWh/a ja paineilmankulutus 10- 260 l/s. Mittauksissa oli käytetty ainoastaan tehomittausta ja ZT 30 kompressorit ei ollut vielä käytössä.



Kuva 10. Atlas Copcon paineilmamittaus 2015.

Kuvassa 10 on esitetty mittausjakson yksi vuorokausi, x-akselilla on aika(24 h) ja y-akselilla tilavuusvirtaus (l/s).

5.2 Paineilman kulutus- ja tehomittaukset

Mahdollisimman tarkkojen mittaustulosten varmistamiseksi paineilmajärjestelmään asennettiin kulutusmittaukset Atlas Copcon toimesta. Väliaikaiset mittausanturit asennettiin työ- sekä instrumentti-ilmalinjaan. Anturit keräsivät ilmalinjoista virtaaman ja paineen sekunnin välein ajalla 21.9 – 10.10.2016 (kuva 11).



Kuva 11. Mittauslaitteisto instrumentti-ilmalinjassa

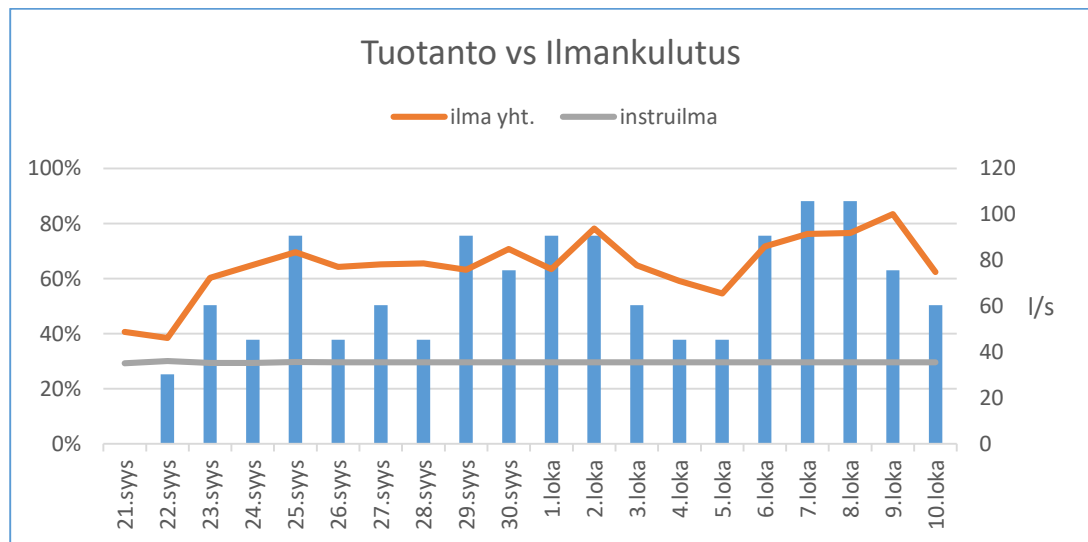
Lisäksi jokaiseen kompressoriin kytkettiin tehomittaus ajalle 24.9 – 6.10.2016. Kompressorien verkosta ottamaa virtaa mitattiin ja kerättiin myös sekunnin välein. Mittaus kytkettiin kahteen eri vaihejohtimeen mittauksen varmistamiseksi (kuva 12).



Kuva 12. Virtamittaus Boge B -kompressorissa

Kompressorit on kytketty niin, että kaksi Boge-kompressoria tuottavat työilmaa ja ZT 30 -kompressori tuottaa instrumentti-ilmaa. Ainoastaan silloin, kun ZT 30 -kompressori ei ole käytössä instrumentti-ilma tuotetaan Boge-kompresso-reilla. Mittausjaksolla instrumentti-ilma tuotettiin kokonaan ZT 30 -kompresso-rilla.

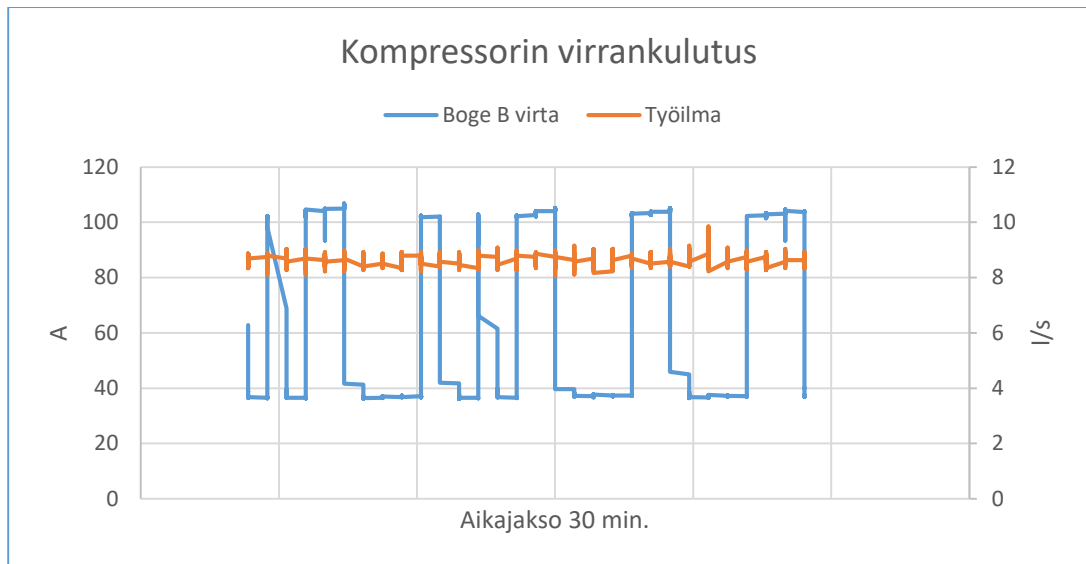
Mittausjaksolla työilman vaihteluväli oli 5 – 326 l/s ja instrumentti-ilman vaihte-luväli 7 – 67 l/s. Instrumentti-ilman päiväkohtainen keskiarvo oli hyvin tasainen tuotannon vaihteluista huolimatta (35,5 l/s). Työilman kulutus taas seurasi hy-vin paljon tuotantoa, johtuen tuotteen pumppaamiseen käytettävistä kalvo-pumpuista (kuva 13).



Kuva 13. Tuotannon vaikutus instrumentti -ja kokonaisilmankulutukseen.

Kompresso-reille saatiin laskettua ominaistehonkulutus ajalta 24.9 – 6.10. Inst-ruimentti-ilmaa tuottavan Atlas Copco ZT 30 kompressorin ominaisteho oli mit-tausjaksolla hyvällä tasolla 7,0 kWh/(m³/min). Työilmaa tuottavat Bogen S75 kompresso-reilta laskettu ominaisteho oli todella korkea 16,9 kWh/m³/min.

Bogen korkea ominaisteho on selitettävissä energiasyöpöillä kuivaimilla. Kuivaimien kastepistehjaus on vikaantunut ja varaosien puutteessa kuivain-ten elvytys on toteutettu aikaohjauksella. Kuivaimia elvytetään tällä hetkellä varmuuden vuoksi aivan liian usein ja elvytys on toiminnassa, vaikka työilmaa ei kulutettaisi lainkaan. Mittausjaksolla jossa työilman kulutuskeskiarvo oli 8,8 l/s kompressori kävi 35 kW keskiteholla (kuva 14).



Kuva 14. Boge B:n kuormitus ja kevennyskäynti minimikulutuksella

Tehomittausarvoista saatiin myös selville kompressorien käyntiasteet. Bogen kompressorit olivat käyntiajastaan n. 50 % kuormituksella ja 50 % kevennyksellä. Instrumentti-ilmaa tuottava ZT 30 kompressori kävi 60 % kuormituksella ja 40 % kevennyksellä.

Teholaskennassa käytettiin yleisiä $\cos \phi$ arvoja, kuormituksella tehokerroin 0.85 ja kevennyksellä 0,45 (Hyypiä, 2016).

6 PAINEILMAJÄRJESTELMÄN ENERGIANSÄÄSTÖKOHTEET

6.1 Energiansäästötoimenpiteet

Tehtaan paineilmajärjestelmässä on useita eri kohteita, joissa voidaan joko hukata tai säästää energiaa. Teollisuudessa merkittävimpiä energiaa säästäviä toimenpiteitä paineilmajärjestelmissä ovat yleensä (Penttinen 2009, 113):

- Verkoston painetason alentaminen
- Paineilmavuotojen korjaus
- Puhalluksiin ja puhallussuuttimiin liittyvät toimenpiteet
- Kompressoriohjauksen muutos
- Energiatehokkaamman laitteiston hankinta
- Kompressorien imuilman lämpötilan alentaminen
- Paineilmakäyttöisen laitteen korvaaminen

6.2 Paineilman kulutuskohteet

Tehtaalla olevat paineilman käyttökohteet:

- Instrumentointi
- Kattilalaitoksen instrumentointi
- Lastausvarsien paineilmatoimiset sylinterit
- Ex-luokitellut kytkentäkaapit
- Raaka-ainesäiliöiden ilmapursotukset
- Kalvopumput
- Paineilmatoimiset työkalut

Merkittävimmät paineilman kulutuskohteet ovat kalvopumput, joita tehtaalla käytetään useassa eri prosessivaiheessa.

7 PARANNUSEHDOTUKSET

7.1 Verkoston painetason laskeminen

Verkostopaineen ei tarvitse olla paljoka suurempi kuin käyttökohteiden vaatima suurin painearvo. Paineilmalaitteille johdettavan ilmanpaineen tulisi olla verkoston painehäviön verran suurempi kuin laitteen vaatima painearvo. Oikein suunnitellun ja toimivan paineilmanverkoston painehäviö on 0,1 – 0,3 bar. Paineilmaverkoston painetta on syytä alentaa useassa vaiheessa pienin askelin. Prosessia ei saa vaarantaa laskemalla painetasoa liikaa ja laitteiden toimintaa täytyy seurata painetason laskun aikana sekä sen jälkeen. (MOTIVA 2009.)

Työilmaa tuottavien kompressorien jälkeen on 30 m³ säiliö (liite 2), jossa mitausjakson aikana paine vaihteli välillä 7,2 barg – 8,2 barg. Suurimman vaaditun painetason ollessa 6 barg voidaan säiliön painetaso laskea välille 6,5 – 7,0 barg. Suuren painesäiliön ansiosta kompressorien kuormitus ja kevennys käyntisuhde säilyisi hyvällä tasolla. Painetason alentamisella saavutettaisiin arviolta 10 %:n säästö sähköenergiankulutuksessa.

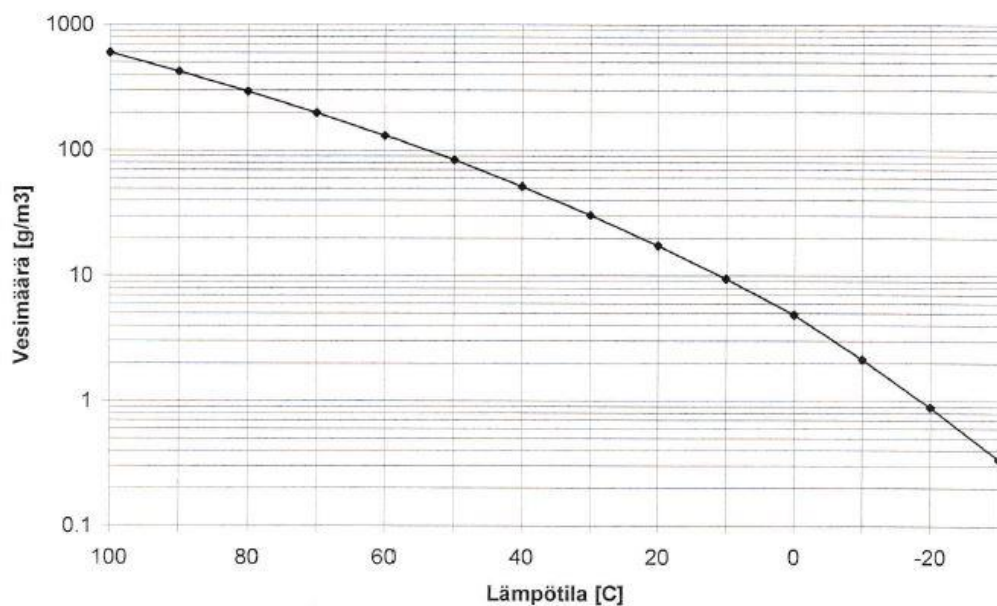
Säästölaskelma

Kompressorit, Boge sähköenergiankulutus	349 MWh/a
Sähköenergian kulutus lasketulla tasolla	313 MWh/a
Sähkönsäästö	36 MWh/a
Sähkön hinta	62 €/MWh
Säästö	2230 €/a
Investointikustannus	0 €
Takaisinmaksuaika	0 a

7.2 Kuivaimien vaihto uuteen lämpöelvytteiseen adsorptiokuivaimeen

Käytössä olevat kuivaimet eivät ole energiatehokkaita ja ovat herkästi vikaantuvia. Kuivainten kastepisteohjaus on vikaantunut ja ohjaus on jouduttu toteuttamaan aikaohjauksella.

Työilmaa tuottavien Boge-kompressorien kuivaimia elvytetään jatkuvasti 4 minuutin vaihtosyklillä, vaikka paineilmaa ei käytettäisi lainkaan. Tämä kuluttaa runsaasti ylimääräistä energiaa. Kastepisteohjaus on energiatehokas ohjaustapa, koska ilman kuivaustarve on talvella vain n.10 % kesäajan tarpeesta (kuva 15).



Kuva 15. Kylläisen höyryn vesimäärä lämpötilan funktiona (Ellman 2002, 39)

Mittausten perusteella työilmakompressorit käyvät 16,6 kWh/m³/min ominaisteholla. Uusilla lämpöelvytteisillä kuivaimilla saataisiin ominaisteho laskettua normaalille tasolle 7 kWh/m³/min. Lämpöelvytteiset kuivaimet kuluttavat energiaa n. 10 %. Ongelmana on myös elvytyksestä tulevan kostean poistoilman vapautuminen paineilmakekukseen ja takaisin kompressorin imuilman sekaan.

Säästölaskelma

Kompressorit, Boge sähköenergiankulutus	349 MWh/a
Keskimääräinen työilmankulutus	2,6 m ³ /min
Boge sähköenergiankulutus, 7kWh/m ³ /min	147 MWh/a
Nykyisten kuivaimien arvioitu energiankulutus	217 MWh/a
Uuden kuivaimen arvioitu energiankulutus	15 MWh/a
Sähkönsäästö	202 MWh/a
Sähkön hinta	62 €/MWh
Säästö	12520 €/a
Investointikustannus	16 000 €
Takaisinmaksuaika	1,3 a

7.3 Uuden kompressorin hankinta

Työilmaa tuottavat Bogen kaksi kompressoria korvattaisiin uudella energiatehokkaalla taajuusmuuttajaohjatulla kompressorilla. Laite sijoitettaisiin tuotantovarastoon (LOT) ja sen tuottama lämpöenergia saataisiin suoraan hyödynnettyä varaston lämmityksessä.

Säästölaskelmassa on oletettu uuden kompressorin käyvän 7kW/m³/min ominaisteholla ja paineilmankulutuksen pysyvän samalla tasolla.

Säästölaskelma

Boge A + B energiankulutus	349 MWh/a
Keskimääräinen työilmankulutus	2,6 m ³ /min
Uuden kompressorin energiankulutus	147 MWh/a
Hyödynnettävä lämpöenergia	100 MWh/a
Sähkösäästö	202 MWh/a
Sähkön hinta	62 €/MWh
Maakaasun hinta	34 €/MWh
Säästö	15 900 €/a
Investointikustannus	47 000 €
Takaisinmaksuaika	3,0 a

7.4 Kompressorien LTO

Kaksi Boge-kompressoria sijaitsevat laitoksella erillisessä paineilmakeskuk- sessa. Laitteiden kuluttama sähköteho muuttuu lähes kokonaan lämpötehoksi. Johtamalla lämmin ilma viereiseen tuotantovarastoon saadaan lämpötehoa hyödynnettyä. (Hyypiä, 2016.)

Säästölaskelmassa on huomioitu lämmityskausi ja tuotantovarastoon jo aiem- min sijoitetun kompressorin tuottama lämpöteho (Liite 3). Paineilmajärjestel- män muuttaminen energiatehokkaammaksi vähentää vapautuvan lämpöener- gian määrää.

Säästölaskelma

Kompressorien sähköenergiankulutus	349 MWh/a
Vapautuva lämpöenergia, 94%	328 MWh/a
Maakaasusta saatava säästö	166 MWh/a
Maakaasun hinta	34 €/MWh
Säästö	5640 €/a
Investointikustannus	12 000 €
Takaisinmaksuaika	2,1 a

7.5 Suodatuksen kalvopumppujen korvaaminen ruuvipumpuilla

Tehtaan koko tuotanto pumpataan suodatuksen jälkeen kalvopumpuilla ta-saussäiliöön. Kytkemällä palautuslinjojen ruuvipumput suodatukseen saadaan pienennettyä pumppaamiseen käytettävää energiankulutusta. Nykyisiä kalvo-pumppuja voitaisiin hyödyntää tuotteen palautuslinjoissa. Palautettavan tuotteen määrä on hyvin pieni verrattuna tehtaan tuotantoon.

Kalvopumppujen tuotoksi mitattiin n. 28 m³/h ja ilmankulutus n. 50 l/s eli 3 m³/min. Nykyisellä paineilmantuoton ominaisteholla 16,6 kWh/m³/min kalvo-pumpun laskennallinen tehonkulutus on 49,8 kW. Mittaustulokset vastaavat hyvin valmistajan antamia arvoja (liite 1). Tuotannossa vastaavassa positiossa oleva ruuvipumppu ottaa verkosta 10 kW tehoa tuoton ollessa 38 m³/h.

Säästölaskelma on tehty nykyisellä paineilmajärjestelmällä. Paineilmajärjestelmän muuttaminen energiatehokkaammaksi muuttaa laskelmaa olennaisesti.

Säästölaskelma

Kalvopumppujen energiankulutus	142 MWh/a
Ruuvipumppujen energiankulutus	21 MWh/a
Laskelmassa käytetty vuosituotanto	xxx t/a
Sähkösäästö	121 MWh/a
Sähkön hinta	62 €/MWh
Säästö	7500 €/a
Investointikustannus	8 000 €
Takaisinmaksuaika	1,1 a

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa laitoksen paineilmajärjestelmä ja selvittää energiansäästömahdollisuuksia. Työ saatiin onnistuneesti tehtyä kulutusmittausten avulla. Paineilmajärjestelmän energiatehokkuutta voidaan olennaisesti parantaa hankkimalla uudet energiatehokkaammat kuivaimet. Työilmakompressorien korvaaminen uudella energiatehokkaalla taajuusmuuttajaohjatulla laitteella on huomattavasti suurempi investointi, mutta sitä on syytä harkita lähitulevaisuudessa. Käytössä olevat Boge-kompressorit ikääntyvät käyttötunneiltaan 4-5:n vuoden kuluttua.

Instrumentti-ilmaa tuottava AtlasCopco-kompressori on sijoitettuna tuotantovarastoon ja sen tuottama lämpöenergia saadaan hyödynnettyä suoraan rakennuksen lämmityksessä. Boge-kompressorit sijaitsevat erillisessä paineilma-keskuksessa ja niiden tuottama lämpöenergia puhalletaan taivaalle. Johtamalla paineilma-keskuksen lämpöenergia viereiseen tuotantovarastoon saadaan lämmityksessä käytettävää maakaasua säästettyä. Uusittaessa kompressoreita on myös syytä harkita sijoituspaikaksi tuotantovarastoa.

Paineilmankulutusta voitaisiin olennaisesti vähentää muuttamalla suodatuksen jälkeinen pumppaus kalvopumpuista ruuvipumppuihin. Tuotteen pumppaaminen ruuvipumpulla on huomattavasti energiatehokkaampaa. Tuotteen palautuslinjoissa olevat ruuvipumput voitaisiin vaihtaa suodatuksessa oleviin kalvopumppuihin. Suodatuksen läpi ajetaan koko tehtaan tuotanto ja palautettavaa lateksia on tähän verrattuna vain pieni osa.

Energiaa saadaan säästettyä myös ilman investointeja, alentamalla työilmaverkoston ilmasäiliön painetta. Tällä hetkellä kompressorit on putkitettu siten, että työilmakompressoreilta saadaan tarvittaessa myös instrumentti-ilmaa. Instrumentti-ilma kompressori olisi myös hyvä putkittaa niin, että se voisi tuottaa paineilmaa tarvittaessa myös työilmaverkkoon.

Tuotevarastossa sijaitsevalta instrumentti-ilma kompressorilta ei tällä hetkellä tule ohjausjärjestelmään minkäänlaista käynti- tai vikatietaoa. Tuotannon varmistamiseksi nämä kytkintiedot olisivat tuotannon henkilöstölle arvokkaita.

LÄHTEET

BASF eDMS. 2016. Integrated Management System Hamina. [Online] Available at: [http://gondor12g2.rz-c007-j650.basf-ag.de/data/basf-ab/edmschea.nsf/WebCurrentBySite?SearchView&Start=1&Count=30&Expand=7&Query=\(%5BSiteApplicability%5D%20Contains%20Hamina\)&Seq=4](http://gondor12g2.rz-c007-j650.basf-ag.de/data/basf-ab/edmschea.nsf/WebCurrentBySite?SearchView&Start=1&Count=30&Expand=7&Query=(%5BSiteApplicability%5D%20Contains%20Hamina)&Seq=4) [Viitattu 6.9.2016]. Ei avoin

BASF. 2016a. BASF: Historical Milestones. [Online] Available at: <http://www.basf.com/group/corporate/en/about-basf/history/index> [Viitattu 6.9.2016].

BASF. 2016b. BASF: Corporate website. [Online] Available at: <https://www.basf.com/fi/en/company/about-us/BASF-in-Finland.html> [Viitattu 6.9.2016].

Ellman, A., Hautanen, J., Järvinen, K. & Simpura, A. 2002. Pneumatiikka. Helsinki: Edita Prima Oy

Hyypiä, I. 2016. Atlas Copco Oy. Haastattelu 11.10 2016.

MOTIVA. 2015a. Energiatehokas paineilmajärjestelmä. [Online] Available at: http://www.motiva.fi/yritykset/hallitse_ja_tehosta_yrityksen_energian_kayttoa/energiankayton_tehostamistoimenpiteet/tuotannon_energian_saasto/paineilma [Viitattu 21.9.2016].

MOTIVA. 2015b. PATE-analyysi. [Online] Available at: http://www.motiva.fi/files/1318/PATE-analyysi_Paineilman_energia-analyysmalli.pdf [Viitattu 21.9.2016].

Paalumäki, T., Lappalainen, P. & Hakapää, A. 2015. Kaivos- ja louhintatekniikka. 3. uudistettu painos. Kaivosteollisuus ry, Opetushallitus. Tampere: Juvenes Print Oy

Penttinen, P. 2009. Teollisuuden paineilmaenergia-analyyseissä havaittujen säästötoimenpiteiden toteutusaste ja saavutettu säästö. Diplomityö. Helsingin teknillinen korkeakoulu. [Online] Available at: http://www.motiva.fi/files/2329/Diplomityo_paineilma.pdf [Viitattu 21.9.2016].

Sarlin. 2015. Paineilmajärjestelmän vuotokartoitus. [Online] Available at: <http://www.sarlin.com/loader.aspx?id=193b5a8e-c5a1-4c3d-9e4c-083cc38e8207> [Viitattu 11.10.2016].

Tamrotor. 2016. Paineilmajärjestelmien suunnittelu. [Online] Available at: http://www.compressor.fi/media/EsitePDF/Paineilmajarjestelmien_suunnittelu.pdf [Viitattu 9.10.2016].

Tynkkynen, A. 2016. BASF Oy. Haastattelu 21.12.2016.

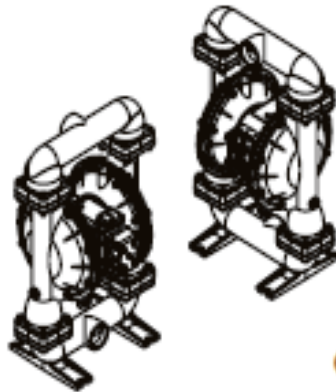
WARREN RUPP®

Quality System
ISO 9001 Certified

Environmental
Management System
ISO 14001 Certified

IMEX
FLUID MOTION

U.S. Patent #5,996,927 &
6,261,857
Other U.S. Patents Applied for



SANDPIPER®
A WARREN RUPP PUMP BRAND

**S20 Metallic
Design Level 1
Ball Valve**

**Air-Operated
Double Diaphragm Pump**

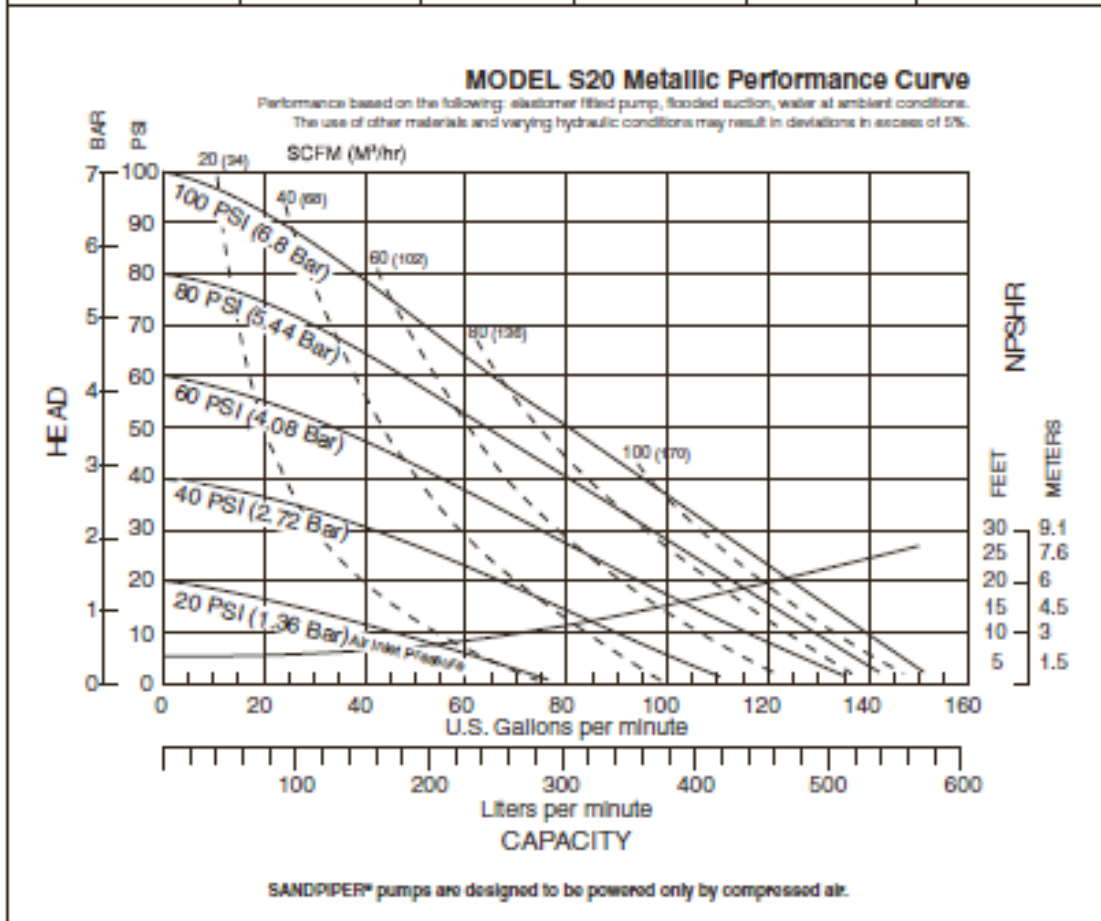
ENGINEERING, PERFORMANCE
& CONSTRUCTION DATA

CE



I M2 c T5
II 2GD T5

INTAKE/DISCHARGE PIPE SIZE	CAPACITY	AIR VALVE	SOLIDS-HANDLING	HEADS UP TO	DISPLACEMENT/STROKE
2" NPT (Internal) 2" NPT Thread (External)	0 to 110 (gallons per minute) (0 to 167 liters per minute)	Includes raised edge	Up to .20 in. (5mm)	120 psi or 20% h. of water (8.4 kg/cm ² or 0.8 meters)	.42 Gallon / 1.67 Bar





Maakaasun kulutus 2015						
	MWh, yht.	Käyttövesi	Lämmitys	Lot2 lämmitys	Lot4 lämmitys	Lot6 lämmitys
Tammi	76	3	73	16,0	54,8	2,3
Helmi	63	3	60	13,1	45,0	1,9
Maalis	60	3	57	12,5	42,8	1,8
Huhti	43	3	40	8,8	30,0	1,3
Touko	35	3	32	7,0	24,0	1,0
Kesä	9	3	6	1,3	4,5	0,2
Heinä	3	3	0	0,0	0,0	0,0
Elo	3	3	0	0,0	0,0	0,0
Syys	6	3	3	0,7	2,3	0,1
Loka	47	3	44	9,6	33,0	1,4
Marras	35	3	32	7,0	24,0	1,0
Joulu	47	3	44	9,6	33,0	1,4
yht.	427	36	391	85,5	293,3	12,2