

**Matias Merilehto**

**TAAJUUSMUUTTAJAOHJAUS KOKSAAMON  
KIERTOVEDIPUMPUILE**

**SSAB Europe, Raahen tehdas**

**Opinnäytetyö**

**CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU**

**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

**Huhtikuu 2015**

**TIIVISTELMÄ**

<b>Yksikkö</b> Ylivieskan yksikkö	<b>Aika</b> Huhtikuu 2015	<b>Tekijä/tekijät</b> Matias Merilehto
<b>Koulutusohjelma</b> Sähkötekniikka		
<b>Työn nimi</b> Taajuusmuuttajaohjaus koksaamon kiertovesipumpuille		
<b>Työn ohjaaja</b> Jari Halme	<b>Sivumäärä</b> 53 + 14	
<b>Työelämäohjaaja</b> Pekka Myllymäki		
<p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin kiertovesipumpuille uutta säätömahdollisuutta taajuusmuuttajalla SSAB Europen koksaamon kiertovesipumppaamolle Raahen. Työn tavoitteena oli tehdä kattava selvitys kuristussäädön korvaamisesta taajuusmuuttajaohjauksella.</p> <p>Työssä selvitettiin vanhan ja uuden pumppukäytön vuosittainen energiankulutus. Työssä mitoitettiin pumppu, moottori ja taajuusmuuttaja. Uudelle järjestelmälle laskettiin takaisinmaksuaika.</p> <p>Taajuusmuuttajaohjauksella saadaan merkittävä säästö kiertovesipumppujen energiankulutuksessa. Taajuusmuuttajan myötä virtauksien ja paineen säätö tulee olemaan nykyistä huomattavasti tarkempi. Pumppuille laadittiin ajoaikaohjelma, jonka avulla estetään tilanne, jossa varapumppu ei toimisi. Taajuusmuuttajan avulla estetään myös suuret paineiskut.</p>		

**Asiasanat**

Energiatehokkuus, kiertovesipumppu, keskipakopumppu, moottori, taajuusmuuttaja

## ABSTRACT

<b>Unit</b> Ylivieska unit	<b>Date</b> April 2015	<b>Author/s</b> Matias Merilehto
<b>Degree programme</b> Electrical engineering		
<b>Name of thesis</b> The frequency converter control for the circulation pumps of a coking plant		
<b>Instructor</b> Jari Halme		<b>Pages</b> 53 + 14
<b>Supervisor</b> Pekka Myllymäki		
<p>In this thesis a new adjustment for circulation pumps was examined by using a frequency converter in the circulating water pumping stations of the coking plant of SSAB Europe in Raahе. The aim of this thesis was to make a comprehensive analysis of the replacement of the throttling control by using the frequency converter control. In the thesis the annual energy consumption was determined between the old and the new pumps. The pump, motor and frequency converter were dimensioned. The payback time was calculated for the new system.</p> <p>With the Inverter control a significant save can be achieved in the energy consumption of the circulation pumps. The drive of the flows and the pressure control will be more accurate. A running time program will be drawn up for the pumps, which will help preventing the situation where the spare pump does not work. The frequency converter is also used to prevent high pressure shocks.</p>		

### Key words

Centrifugal pump, circulation pump, energy efficiency, frequency converter , motor

# SISÄLLYS

## SISÄLLYS

### KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

### ESIPUHE

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 TERÄSTEHDAS JA SEN KOKSAAMO</b>	<b>2</b>
<b>2.1 SSAB</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Raahan terästehtas</b>	<b>3</b>
<b>2.3 SSAB:n Raahan terästehtaan koksaamo</b>	<b>4</b>
<b>2.4 Koksaamon rakentaminen</b>	<b>5</b>
<b>3 KIERTOVIKESIPUMPPAAMO</b>	<b>6</b>
<b>3.1 Prosessi</b>	<b>6</b>
<b>3.2 Kiertovesipumppu 3</b>	<b>7</b>
<b>3.2.1 Pumppu</b>	<b>7</b>
<b>3.2.2 Moottori</b>	<b>9</b>
<b>3.2.3 Säätöventtiili</b>	<b>9</b>
<b>3.3 Kiertovesipumppu KVP 1</b>	<b>10</b>
<b>3.3.1 Pumppu</b>	<b>10</b>
<b>3.3.2 Moottori</b>	<b>11</b>
<b>3.3.3 Säätöventtiili</b>	<b>11</b>
<b>3.4 Kiertovesipumppu 2</b>	<b>12</b>
<b>3.4.1 Pumppu</b>	<b>12</b>
<b>3.4.2 Moottori</b>	<b>12</b>
<b>3.4.3 Säätöventtiili</b>	<b>13</b>
<b>3.5 Kiertovesipumppu KVP 4</b>	<b>13</b>
<b>3.5.1 Pumppu</b>	<b>13</b>
<b>3.5.2 Moottori</b>	<b>14</b>
<b>3.5.3 Säätöventtiili</b>	<b>15</b>
<b>4 PUMPPUJEN SÄÄTÖTAVAT</b>	<b>17</b>

4.1 Yksinkertaiset säätömenetelmät	17
4.2 Kuristussäätö	17
4.3 On-off-säätö	18
4.4 Ohitusvirtaussäätö	19
4.5 Pyörimisnopeuden säätö	20
5 TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTÖT	22
5.1 Taajuusmuuttajan käyttökohteita	22
5.2 Taajuusmuuttajan rakenne	25
5.3 Tasasuuntaaja	26
5.4 Välipiiri	26
5.5 Vaihtosuuntaaja	27
6 AC-KÄYTÖN ETUJA	28
7 TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTÖN MITOITUS	31
7.1 Taajuusmuuttajan asennus	35
8 TESTIT JA SELVITYKSET KIERTOVESIPUMPPAAMOLLA	37
8.1 Varapumpulle vaihtaminen	37
8.2 KVP3:n ja KVP2:n mekaanisen kuristuksen selvitys.	39
9 ENERGIANSÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET KIERTOVESIPUMPPAAMOSSA	41
9.1 Energiankulutus nykyisin	41
9.1.1 Hyötysuhteen selvittäminen	42
9.1.2 Vuotuinen energiankulutus	43
9.2 Energiankulutus kierrosnopeussäädöllä	44
9.2.1 KVP3 ja KVP2 Käyttöaste	44
9.2.2 KVP4 ja KVP1 käyttöaste	45
9.3 Investoinnin kannattavuuden tarkastelu	46
10 YHTEENVETO	49
LÄHTEET	51
LIITTEET	53

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

KVL1 kiertovesilinja 1

KVL2 kiertovesilinja 2

KVP1 Kiertovesipumppu 1

KVP2 kiertovesipumppu 2

KVP3 kiertovesipumppu 3

P<sub>1</sub> Ottoteho

P<sub>2</sub> Akseliteho

## **ESIPUHE**

Haluan kiittää tuotantopäällikkö Timo Vierimaata, työelämäohjaajaani, kehitysinsinööri Pekka Myllymäkeä, ja muita koksamolla työskenteleviä henkilöitä, jotka ovat tukeneet opinnäytetyöni tekemisessä. Kiitän myös opinnäytetyövalvojaani, yliopettaja Jari Halmea asiantuntevasta ja joustavasta ohjauksesta. Kiitän myös kaikkia muita, jotka edistivät ja auttoivat opinnäytetyöni tekemisessä.

Raahessa 18.3.2015

Matias Merilehto

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan SSAB Europe-yhtiön Raahen koksaamon sivutuotelaitoksen kiertovesipumppaamon virtauksen säätöä pumppujen kierrosnopeutta säätämällä. Tähän asti virtauksen säätö on tapahtunut kuristussäätönä.

Sivutuotelaitoksella pumput ovat keskipakopumppuja. Suurin osa pumpuista ja niiden moottoreista on alkuperäisiä. Pumppujen suuri koko ja mekaaninen kuristussäätö aiheuttavat paljon energiahävikkiä, joka saataisiin taajuusmuuttajasäädöllä vähenemään.

Kiertovesipumpuista kolme neljästä on alkuperäisiä neuvostoliittolaisia pumppuja vuodelta 1987. Neljäs kiertovesipumppu on suomalainen Ahlströmin pumppu, joka asennettiin paikoilleen laajennuksen yhteydessä vuonna 1992. Pumppua pyörittävistä moottoreista kaksi neljästä on neuvostoliittolaisia. Loput ovat ABB:n ja Strömberg Oy:n moottoreita.

Taajuusmuuttajaohjauksen myötä saadaan poistettua kuristussäätö putkistosta. Moottoreille toteutetaan vuorotteluajojärjestelmä. Pumpun vaihto tapahtuu pehmeästi ja ilman paikallisajoa sekuntikellon kanssa. Tämän lisäksi saadaan huomattavia säästöjä, jonka johdosta takaisinmaksuaika on lyhyt.



## 2 TERÄSTEHDAS JA SEN KOKSAAMO

### 2.1 SSAB

SSAB on pohjoismainen ja yhdysvaltalainen teräsyhtiö. SSAB on pitkälle kehitettyjen lujien terästen ja nuorrutusterästen sekä nauha-, levy- ja putkituotteiden sekä rakentamisen ratkaisujen tarjoaja. (SSAB 2015a.)

Tuotantolaitoksista suurimmat sijaitsevat Ruotsissa (Oxelösundissa, Borlängessä ja Luleåssa), Suomessa (Raahessa ja Hämeenlinnassa) ja Yhdysvalloissa (Montpelierissä ja Mobilessa). SSAB:lla on muun muassa Kiinassa terästuotteiden prosessointi- ja viimeistelylaitoksia. Suomessa ja Ruotsissa tuotanto on osa masuuni-prosessia. Yhdysvalloissa kierrätysteräkseen perustuva valmistus tapahtuu valokaariuuneissa. (SSAB 2015a.)

Uusi yhdistynyt yhtiö on jaettu divisiooniin:

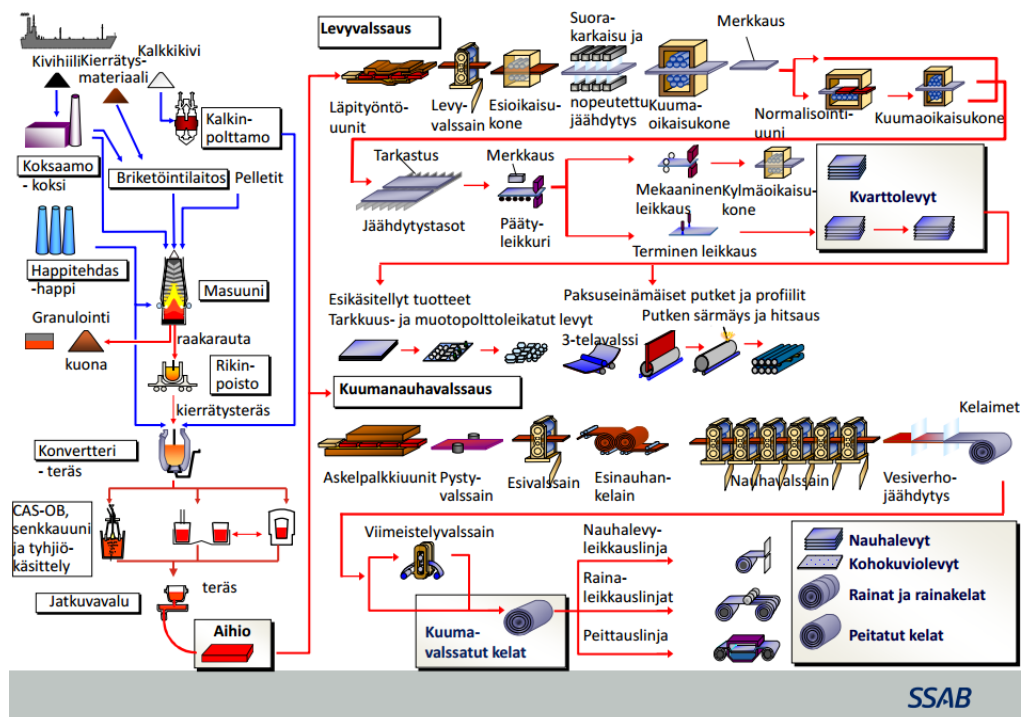
- SSAB Special Steels
- SSAB Europe
- SSAB America
- Tibnor
- Ruukki Construction

Raahen terästehdas kuuluu SSAB Europe-divisioonaan. Yhtiöiden liikevaihto vuonna 2013 oli noin 6,4 miljardia euroa. Pääkonttori sijaitsee Tukholmassa. SSAB:llä on yhteensä noin 17 300 työntekijää. Yhtiön vuotuinen terästuotantokapasiteetti on 8,8 miljoonaa tonnia. (SSAB 2015a.)

## 2.2 Raahen terästehdas

Rautaruukki perustettiin 1960 valtionyhtiöksi turvaamaan kotimaisen telakka- ja muun metalliteollisuuden raaka-ainehuolto. Aluksi se hyödynsi kotimaisia malmivaroja. 1970-luvulla Rautaruukin tuotantoa laajennettiin ohutlevy- ja putkituotantoon. Vuonna 1976 Raahessa käynnistettiin toinen masuuni ja 1970-luvun lopussa Rautaruukki työllisti jo yli 7 000 henkeä Suomessa. (SSAB 2015a.)

Koksaamon ensimmäinen patteri saatiin tuotantoon vuonna 1987. Toisen patterin tuotanto alkoi vuonna 1992. Kahden patterin myötä Rautaruukki onnistui kaksinkertaistamaan koksen tuotannon lähes miljoonaan tonniin vuodessa. Rautaruukki tuli koksen suhteen omavaraiseksi. Rautaruukki vaihtui pörssiyhtiöksi vuonna 2004. Rautaruukin osakkeet siirtyivät SSAB:lle vuonna 2014. Raahen tehtaasta tuli osa SSAB Europe-organisaatiota. (SSAB 2015a.)



KUVA 1. Raahen terästehtaan prosessikaavio. (SSAB 2015a.)

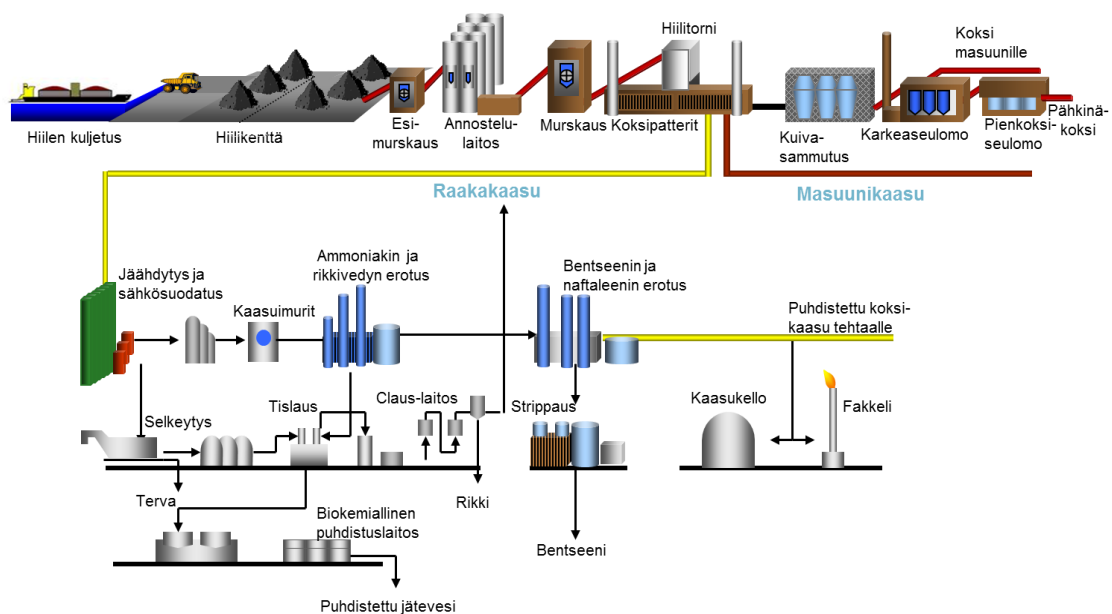
### 2.3 SSAB:n Raahen terästehtaan koksamo

Koksaamalla koksia syntyy koksausprosessin päätuotteena kuumentamalla kivihiiltä patterin uuneissa. Kivihiilen koksausuminen tapahtuu kahdessa patterissa. Kahdessa patterissa on yhteensä 70 uunia. Uunien välissä on lämmityshormeja, joissa koksikaasun tai masuuni- ja koksikaasun seoksen polttamisen tuottama lämpöenergia lämmittää uunin lähes 1300 C° lämpötilaan. Kivihiili muuttuu näissä olosuhteissa koksiksi 16 tunnissa. (SSAB 2015b.)

Uuneihin panostetaan kivihiiliseosta panostusvaunulla. 16 tunnin jälkeen työntövaunu työntää koksikakun siirtovaunuun. Siirtovaunua liikuttaa miehittämätön veturi, joka vie uunista ulos tulleen kaksin kuivasammutuslaitokselle. Koksikuupa nostetaan nosturilla kuivasammutuslaitoksen huipulle, missä koksikuupan sisältä pudotetaan kuivasammutuslaitoksen sammutuskammioon, jossa se kuivasammuteaan tyypellä 160 C°. Karkeakoksiseulomolla ja pienkoksiseulomolla koksi jaetaan eri fraktioihin toimitettavaksi loppukäyttöpaikkoihin.

Kivihiiliseoksesta haihtuu erilaisia komponentteja koksausprosessin aikana, ne johdetaan sivutuotelaitokselle jatkokäsittelyyn. Ennen sivutuotelaitosta kuuma raakakaasu jäädytetään esijäädytystorneissa kiertohuuhteluvedellä. (SSAB 2015b.)

Raakakaasusta poistetaan tervamaiset aineet, ammoniakki, rikkivety, bentseeni, tolueeni, ksyleeni ja naftaleeni sivutuotelaitoksen prosesseissa. Näiden komponenttien erottelun jälkeen saatua koksikaasua käytetään polttoaineena. Ammoniakki ja rikkivety erotetaan kaasusta ammoniakin ja rikkivedyn pesutorneissa, minkä jälkeen ne lopullisesti erotetaan toisistaan vedestä tislaamalla. Bentseenilaitoksella kaasusta erotellaan bentseeni, tolueeni, ksyleeni ja naftaleeni. Naftaleeni syötetään tervan joukkoon, ja loput sivutuotteet muodostavat ns. raakabentseenin. Raakakaasusta talteen otetut terva, rikki ja bentseeni myydään eteenpäin vientituotteina. (SSAB 2015b.)



KUVA 2. Koksausprosessi. (SSAB 2015a.)

## 2.4 Koksaamon rakentaminen

Päätös koksaamon rakentamisesta tehtiin maaliskuussa 1984. Koksaamoa ympäröivän metsän raivaus aloitettiin saman vuoden marraskuussa. Koksaamon perustuksen rakentaminen alkoi huhtikuussa 1986. Ensimmäisen patterin muuraus aloitettiin kesäkuussa 1986. Patterin esilämmitys aloitettiin vuoden kuluttua muurauksen aloittamisesta. Tuotanto koksaamalla aloitettiin yhdellä patterilla lokakuussa 1987. (SSAB 2015.a)

Toisen patterin muuraus aloitettiin syyskuussa 1991. Toisen patterin esilämmitys aloitettiin seuraavan vuoden elokuussa ja patteri saatiin tuotantoon marraskuussa 1992. Bentseenilaitos aloitti toimintansa samaan aikaan rikinpoistolaitoksen kanssa vuonna 1992. (SSAB 2015.a.)

## 3 KIERTOVESIPUMPPAAMO

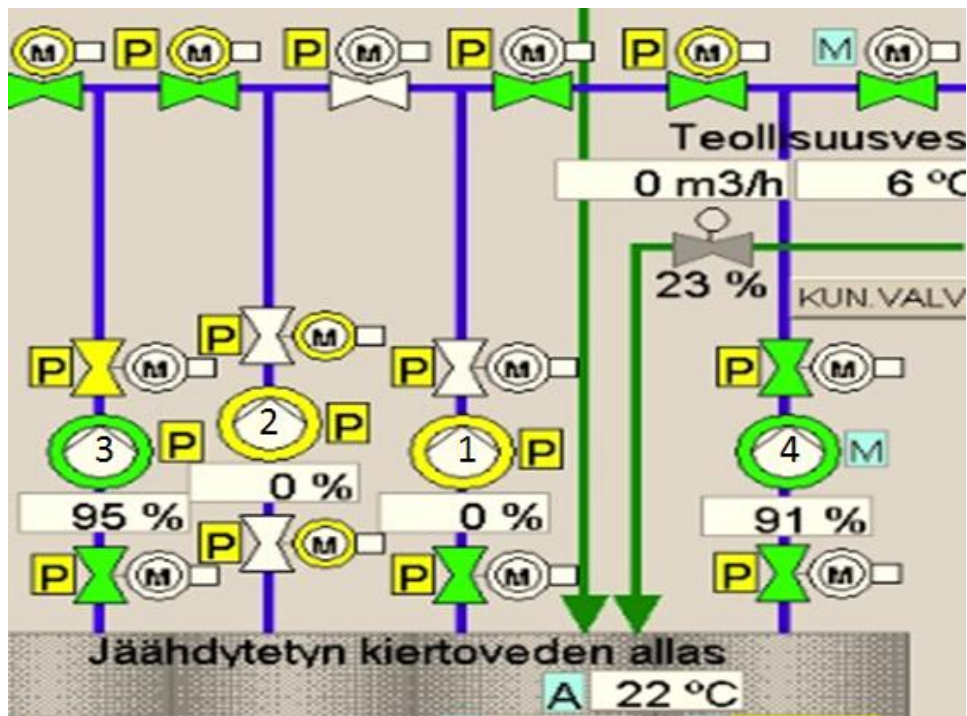
### 3.1 Prosessi

Teknistä jäähdytysvettä tarvitaan koksaamon eri prosessivaiheissa kaasun, prosessiveden ja laitteiden jäähdytykseen. Jäähdytysvesikierto on välttämätön koksaamon prosessissa.

Jäähdytysvesi kulkee kahdessa kiertovesilinjassa sivuotelaitoksella suljetussa kierrossa. Linjat menevät yhtenäisenä esijäähdyttimille saakka, josta toinen linja jatkaa ammoniakkilaitokselle saakka. Palaava jäähdytysvesi johdetaan jäähdytystorneille, joissa se lauhtuu ja valuu jäähdytetyn kiertoveden altaaseen. Jäähdytystorneilla tapahtuu veden haihtumista ilmaan, joten tämä haihtuva osa korvataan Kuljunlahden pumppaamolta saatavalla teollisuusvedellä vedellä. (SSAB 2015b.)

Teknistä jäähdytysvettä pumppaa neljä kiertovesipumppua kahteen kiertovesilinjaan. Pumpuista kaksi on käynnissä jatkuvasti. Yhtä kiertovesipumppua kohden on kaksi varapumppua. Pumput ovat yhteydessä toisiinsa, ja näin ollen yhdellä linjapumpulla voidaan hätätilassa pumpata ristiin kahteen linjaan. Putkiston paine ja tilavuusvirta vaihtelevat vuodenajan ja/tai teknisen veden tarpeen mukaan eri käyttökohteista riippuen. (SSAB 2015b.)

Jäähdytystorneilla säädetään kiertoon lähtevän veden lämpötila esijäähdyttimien jälkeisen koksikaasun lämpötilan mukaan. Jäähdytysvesipiirissä on kolme hiekkasuodinta, joiden avulla suodatetaan osa käytettävästä vedestä koko ajan. Suotimien pesuvesi saadaan suodatusvesialtaasta. (SSAB 2015b.)



KUVA 3. Kiertovesipumput prosessikuvassa.

Prosessikuvassa 3 vihreä väri tarkoittaa venttiilin olevan auki ja moottorin olevan käynnissä. Valkoinen väri tarkoittaa, että venttiili on kiinni. Keltainen tarkoittaa, että venttiili on osittain auki tai moottori on sammutettu. Näissä tapauksissa venttiilin aukioloaste on merkitty prosentteina.

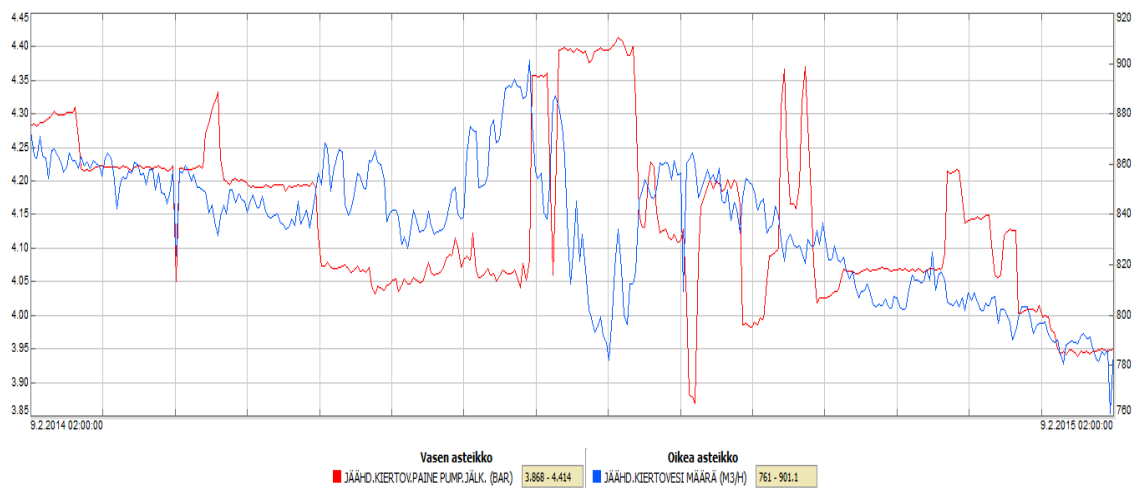
### 3.2 Kiertovesipumppu 3

#### 3.2.1 Pumppu

Kiertovesipumppu KVP3 on neuvostoliittolainen keskipakopumppu D1250-65A, joka on alkuperäinen pumppu vuodelta 1985. Kuvassa 4 esitellään pumppu ja kuvassa 5 esitetään pumpun paine- ja tilavuusvirtamittaukset.



KUVA 4. Kiertovesipumppu KVP 3. Tilavuusvirta pumpun jälkeen on keskimäärin 835,5 m<sup>3</sup>/h ja paine 4.14 bar.



KUVA 5. Paine- ja tilavuusvirtamittaukset kierto-vesipumpulle KVP3. Mittaukset ovat 9.2.2014 - 9.2.2015 väliseltä ajalta sivutuotelaitoksen prosessimittapisteestä.

### 3.2.2 Moottori

Kuvassa 6 on neuvostoliittolainen Tvikatel-oikosulkumoottori, jonka nimellisteho on 250 kW. Moottori on kolmivaiheinen ja sen nimellisjännite on 380V. Moottori on alkuperäinen.



KUVA 6. Kiertovesipumpun KVP3 moottori.

### 3.2.3 Säätoventtiili

Virtausta ja painetta kuristetaan mekaanisesti neuvostoliittolaisella luistiventtiilillä, jota ajetaan toimilaitteen avulla pumpun käynnistyksen yhteydessä 20 sekuntia auki. Tämä on vanha neuvostoliittolainen ajo-ohje, joka toimii edelleen. Venttiili on alkuperäinen vuodelta 1985. Kuvassa 7 esitellään säätoventtiilin toimilaite.





KUVA 7. Luistiventtiin toimilaite.

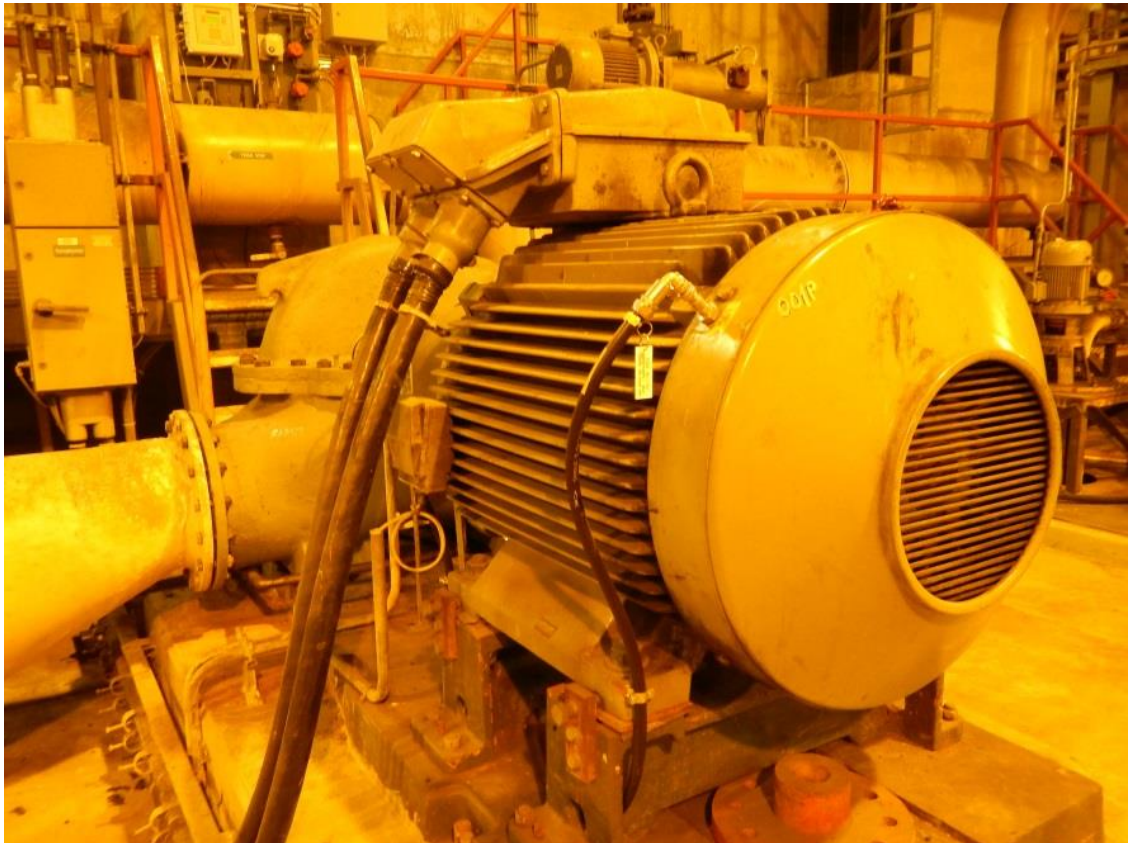
### **3.3 Kiertovesipumppu KVP 1**

#### **3.3.1 Pumppu**

Pumppu on neuvostoliittolainen keskipakopumppu, joka toimii varalla pumpulle KVP4. Pumppua käytetään pääpumpun huollon aikana. Kiertovesipumppu KVP1 vastaa täysin kiertovesipumppuja KVP3 ja KVP2.

### 3.3.2 Moottori

Kuvassa 8 on Strömberg Oy:n valmistama oikosulkumoottori, jonka nimellisteho on 250 kW. Moottori on kolmivaiheinen, nimellisjännite on 380V.



KUVA 8. Strömberg Oy:n valmistama oikosulkumoottori.

### 3.3.3 Säätoventtiili

Virtausta ja painetta kuristetaan mekaanisesti neuvostoliittolaisella luistinventtiilillä. Luistinventtiili on 100 % auki. Venttiili on samanlainen kuin KVP3 venttiili.

## 3.4 Kiertovesipumppu 2

### 3.4.1 Pumppu

Pumppu on neuvostoliittolainen keskipakopumppu joka toimii varalla kiertovesipumppu KVP3. Pumppua käytetään pääpumpun huollon aikana. Kiertovesipumppu KVP2 vastaa täysin kiertovesipumppua KVP3.

### 3.4.2 Moottori

Kuvassa 9 on neuvostoliittolainen Tvikatel-oikosulkumoottori, jonka nimellisteho on 250 kW. Moottori on kolmivaiheinen, nimellisjännite on 380V. Moottori on alkupe-  
räinen.



KUVA 9. Kiertovesipumpun KVP2 oikosulkumoottori.

### 3.4.3 Säätoventtiili

Tilavuusvirtaa ja painetta kuristetaan mekaanisesti neuvostoliittolaisella Elektropri-  
vod Ty G0792- luistiventtiilillä.

## 3.5 Kiertovesipumppu KVP4

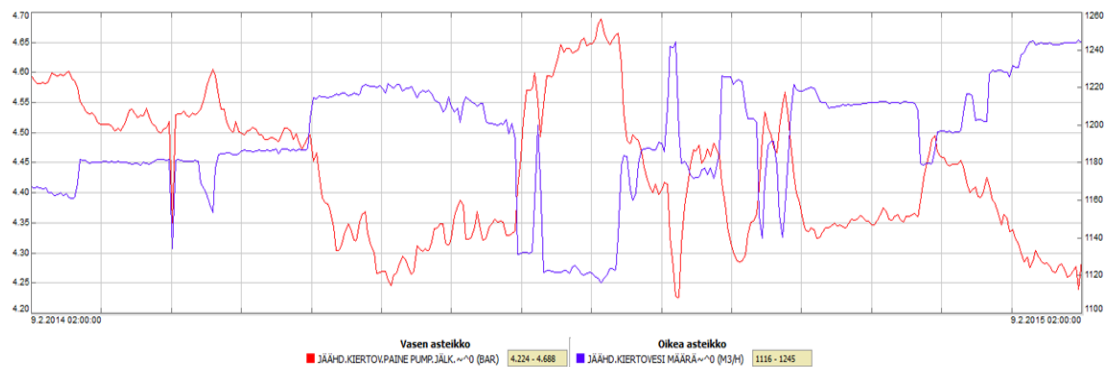
### 3.5.1 Pumppu

Kuvassa 10 on suomalainen Ahlström Oy:n valmistama keskipakopumppu vuodel-  
ta 1992. Sillä pumpataan kiertovesilinjaan KVL2 teknistä vettä. Pumpun juoksu-  
pyörän halkaisija on 445 mm.



KUVA 10. Ahlström AP53-250-keskipakopumppu.

Kiertovesipumppu KVP4 tuottaa keskimäärin 1193 m<sup>3</sup>/h tilavuusvirran ja 4.4 bar  
paineen. Kuvassa 11 esitetään paineen ja tilavuusvirran mittaukset.



KUVA 11. Paine ja tilavuusvirta kiertovesipumpulle KVP4. Mittaukset ovat ajalta 9.2.2014 - 9.2.2015 sivutuotelaitoksen prosessipisteestä.

### 3.5.2 Moottori

Kuvassa 12 on ABB:n 250 kW oikosulkumoottori HXR 355S. Moottori on kiertovesipumppaamon, uusin vuodelta 1992. Moottori on 3-vaiheinen, nimellisjännitteeltään 380V.



KUVA 12. Kiertovesipumpun KVP4 oikosulkumoottori

### 3.5.3 Säätoventtiili

Kuvassa 13 on säätoventtiili AUMA Oy SA 07.5-G0. Venttiili on 100 % auki. Säätoä ei tuotannossa koskaan tarvita, koska vikatilanteessa KVP4 ei voi pumpata KVL1- linjaan. Venttiili toimii käytännössä huoltoventtiilinä.



KUVA 13. Auma SA 07.5-G0- säätoventtiili

TAULUKKO 1. Pumppukäyttöjen tekniset tiedot.

	<b>Moottori</b>	<b>Pumppu</b>	<b>Venttiili</b>
<b>KVP1</b>	Strömberg 3156428	Tvikatel D1250-65A	Elektroprivod Ty G0792
<b>KVP2</b>	TVIKATEL 4A355S4U3	Tvikatel D1250-65A	Elektroprivod Ty G0792
<b>KVP3</b>	TVIKATEL 4A355S4U4/147859	Tvikatel D1250-65A	Elektroprivod Ty G0792
<b>KVP4</b>	ABB HXR 355 4 B3	Ahlström AP53-250	AUMA SA 07.5-G0

## **4 PUMPPUJEN SÄÄTÖTAVAT**

### **4.1 Yksinkertaiset säätömenetelmät**

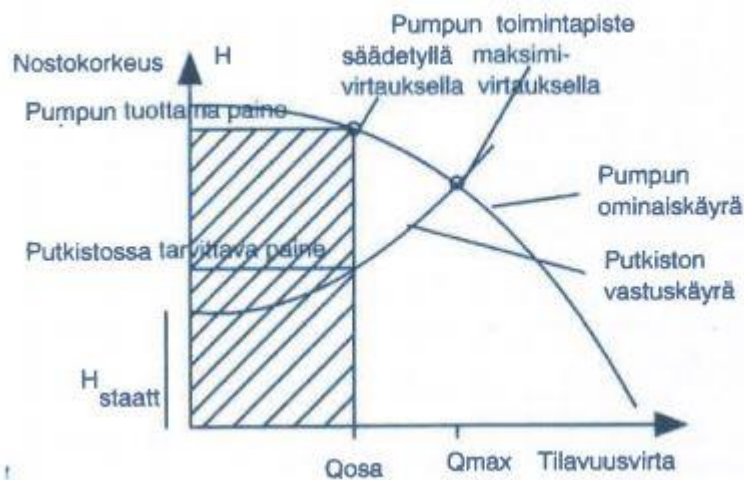
Yleisimmät yksinkertaiset säätömenetelmät ovat kuristussäätö, ohitussäätö ja On-Off-säätö. Yksinkertaisissa säädöissä on omat huonot puolensa. Esimerkiksi pumppukäytöissä kuristussäädölle on haastavaa saada virtaamat optimaalisesti prosessiin. Yllättävä tuotantokapasiteetin nosto ei käy helposti, sillä joudutaan uudelleen rakentamaan koko prosessi. Jokainen käynnistys suoraan verkosta lisää mekaanisen vaurion riskiä. Keskipakopumppujen käynnistys tapahtuu suljettua venttiiliä vasten. Tällä minimoidaan paineiskua putkistoon. (ABB Tekninen opas nro 4)

Yksinkertaiset säätömenetelmät ovat myös epätaloudellisia. Energiaa kuluu hukkaan, kun iso moottori pumppaa kuristettua venttiiliä vasten. Tästä voidaan vetää suora johtopäätös siihen, että moottori on liian suuri ja virtaamaa joudutaan kuristamaan prosessiin sopivammaksi. Kokonaisuudessaan yksinkertaiset säätömenetelmät kasvattavat kustannuksia ja tulevat kalliimmaksi vaihtoehdoksi kuin kierrosnopeussäädetyt käytöt. Kierrosnopeussäädetyt ohjatut käytöt vähentävät ympäristövaikutuksia CO<sub>2</sub>-päästöjen vähenemisen myötä. CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentäminen tuo tuotantolaitokselle taloudellisia säästöjä. (ABB Tekninen opas nro 4)

### **4.2 Kuristussäätö**

Kuristussäätö on yleisin pumppujen säätötapa. Kuristussäädössä virtaamaa rajoitetaan säätöventtiilillä, joka kasvattaa painehäviötä. Painehäviöllä on suora vaikutus tilavuusvirtaan. Kuristussäädön heikkous on häviöiden kasvu pumppauksessa. Häviöiden takia teollisuudessa halutaan nykyisin kuristussäädöstä siirtyä energia-  
tehokkaampaan kierrosnopeussäätöön. (Motiva 2011.)





KUVA 14. Kuvassa havainnollistetaan pumpun toimintaa kuristussäädössä. Viivoitettu alue kuvaa energiankulutusta. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen, 2011,141.)

### 4.3 On-off-säätö

On-off-säädössä pumpppua käytetään jaksoittain järjestelmässä, jossa pumpun jatkuva säätö ei ole tarpeen. On-off-säädöllä voidaan pitää esimerkiksi paine tai säiliön pinnankorkeus automaatio-ohjelmaan määriteltujen raja-arvojen sisällä. Jaksoittainen säätö ei ole yleensä vaihtoehto muille säätötavoille prosessin jatkuvan tilavuusvirtatarpeen takia, mutta on-off-säädettyihin järjestelmiin voidaan liittää myös muita säätötapoja, kuten kierrosnopeussäätöä. (Motiva 2011)



KUVA 15. On-Off-säätö. (Motiva 2011)

#### 4.4 Ohitusvirtaussäätö

Ohivirtaussäädössä osa pumpun läpi virranneesta nesteestä johdetaan takaisin pumpun ohi imupuolelle, josta se pumpataan uudelleen pumpun läpi. Ohivirtaussäädöstä käytetään myös nimitystä hullunkierto. Ohitusvirtaussäätö ei ole energiatehokas. Pumppu kierrättää nestettä edestakaisin ja pumppaukseen käytetty teho muuttuu osittain suoraan häviöksi. (Motiva 2011.)

Ohivirtaussäädön muuttaminen kierrosnopeussäädöksi tekee järjestelmästä energiatehokkaamman. Nesteen virtausnopeus säädetään suoraan pumpulla oikeaksi eikä virtaus näin aiheuta häviöitä. (Motiva 2011.)



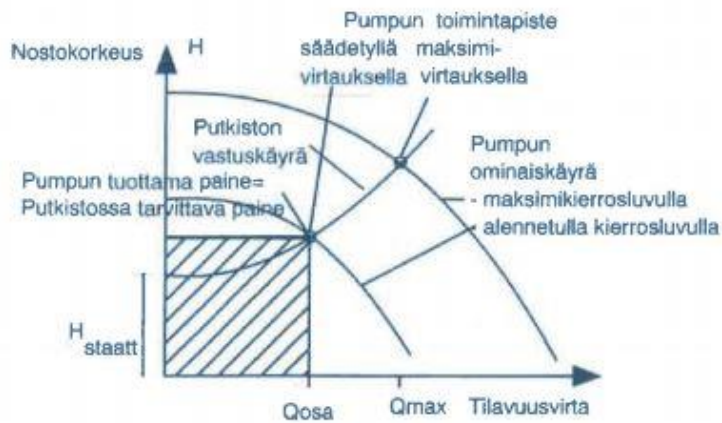
KUVA 16. Ohitusvirtaussäätö. (Motiva 2011.)

#### 4.5 Pyörimisnopeuden säätö

Pumpun pyörimisnopeuden säädössä pumpun kierrosnopeus vaihtelee. Kierroksen säätö tapahtuu taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttajalla muutetaan vaihtovirran taajuutta. Normaalisti taajuus Suomessa on 50 Hz. Taajuutta muuttamalla alaspäin pumpun kierrosluku alkaa laskea samassa suhteessa. Kun kierrosluku laskee, pumpulta lähtevän virtauksen voimakkuus pienenee. Kierrosnopeussäädöllä saadaan merkittäviä säästöjä ja energiatehokkaita pumppausratkaisuja. Kierrosluvun ollessa lähellä mitoituspistettä pumppauksen hyötysuhde pysyy korkeana. Jos kierrosluku siirtyy kauemmaksi toimipisteestä, alkaa hyötysuhde kärsiä. (Motiva 2011.)

Moottorin verkosta ottama sähköteho muutetaan mekaaniseksi tehoksi eli akselin pyöriväksi liikkeeksi. Akselin liike pyörittää pumppua, joka pumppaa nesteen putkistoon. Näin ollen taajuuden säätö vaikuttaa pumpun kierrosnopeuteen. (Motiva 2011.)

Kuvassa 17 havainnollistetaan pumpun toimipisteen muutosta taajuusmuuttajakäytöllä. Vertailemalla kuvia 17 ja 14 huomataan selvä energiankulutuksen alenema ja pumpun alue on edelleen optimaalisella alueella.



KUVA 17. Pumpun toimipisteen muuttuminen taajuusmuuttajakäytössä. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä & Urpalainen 2011,143)

## 5 TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTÖT

Taajuusmuuttajalla saadaan optimaalinen ja tarkka säätö prosessiin. Taajuusmuuttajalla saadaan myös aikaan energiatehokas käyttö, minkä ansiosta saadaan jopa puolet käytetystä sähköenergiasta säästettyä.

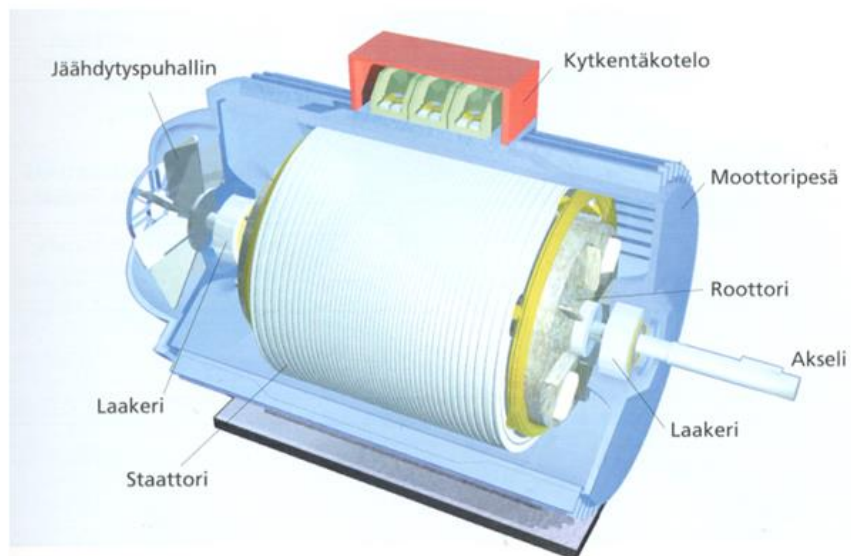
### 5.1 Taajuusmuuttajan käyttökohteita

Taajuusmuuttajia käytetään vaihtosähkömoottorin kierrosnopeuden säätöön. Vaihtosähkömoottorissa staattorikäymityksen tuottama kiertokentän nopeus, synkroninen nopeus:

$$n_s = f / p \quad (1)$$

missä  $f$  on syöttävän sähköverkon taajuus (Hz) ja  $p$  on moottorin napapariluku. Esimerkiksi nelinapaiselle moottorille ( $p=2$ ) synkroninen nopeus on 50 Hz verkossa 25 r/s eli 1500 r/s.

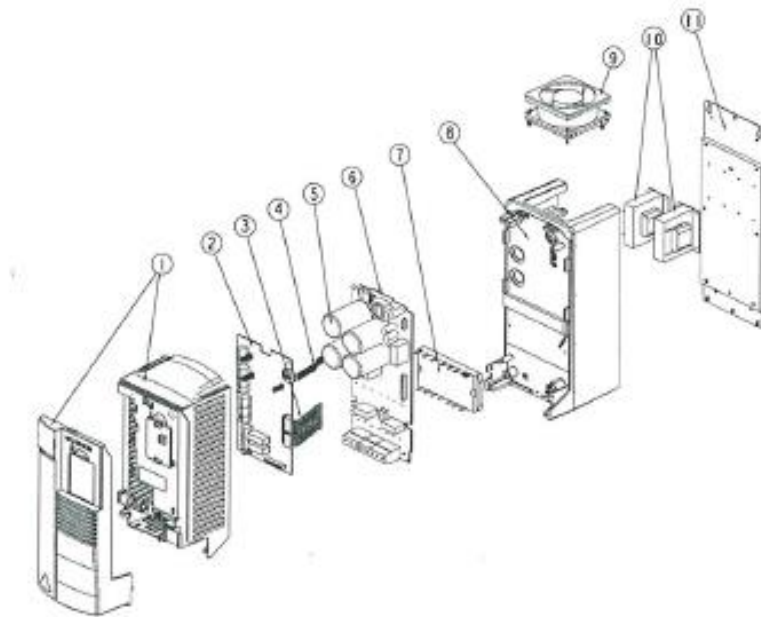
Epätahtimoottoreissa moottorin ja akselin kierrosnopeus on muutamia prosentteja synkronista nopeutta alhaisempi, riippuen akseliin vaikuttavasta momentista. Teollisuuden tärkein käyttömoottori, kolmivaiheinen oikosulkumoottori, kuuluu epätahtimoottorien ryhmään.



KUVA 18. Oikosulkumoottorin rakenne. (Kördel & Johnsson 2004.)

Taajuusmuuttajalla saadaan moottorijännitteen taajuutta säädettyä, yleensä alueella 0...100 Hz. Tällöin moottorin nopeus saadaan vaihtelevaan alueella 0...200 % nimellinopeudesta.

Taajuusmuuttajan koko ja sisältö vaihtelevat sen tehokkuuden ja valmistajan mukaan. Kuvassa on 19 ABB:n taajuusmuuttaja.



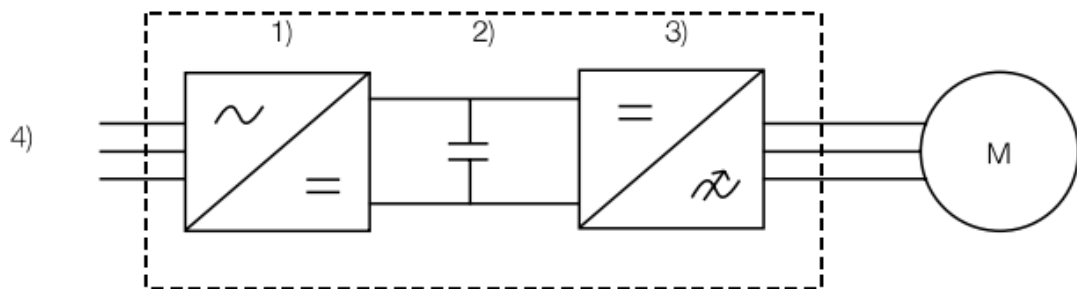
KUVA 19. ABB ACS400-taajuusmuuttajan rakenne. (Valkama, Väänänen & Dammerert 2002.)

Kuvan 19 komponentit:

1. Kotelo (1)
2. PCB, piirikortit (2 ja 6)
3. Kaapelit (3 ja 4)
4. Elektrolyyttikondensaattorit, elkot (5)
5. IGBT- transistori (7)
6. Jäähdytyslevy (8)
7. Tuuletin (9)
8. Kuristuskäämit (10)
9. Takalevy (11)

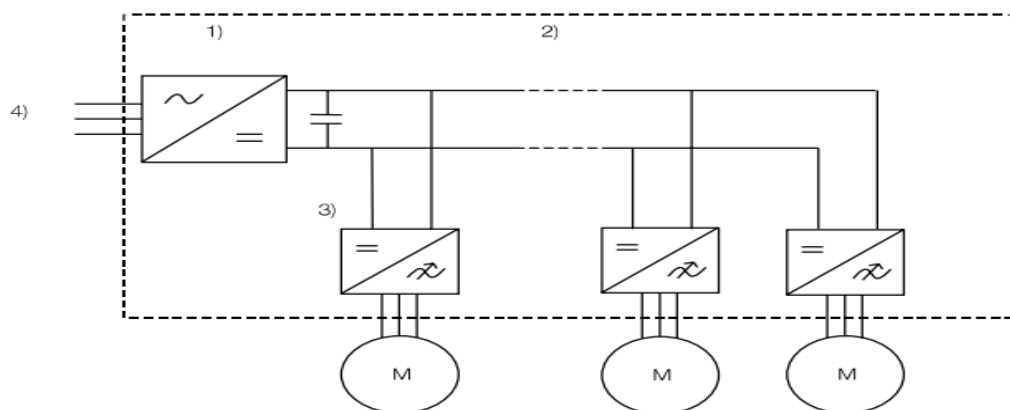
## 5.2 Taajuusmuuttajan rakenne

Jänniteohjatussa taajuusmuuttajassa ohjataan moottorin jännitettä, suuntaa ja taajuutta.



KUVA 20. Jänniteohjattu taajuusmuuttaja, 1) Tasasuuntaaja, 2) Tasajännitevälipiiri, 3) Vaihtosuuntaaja, 4) Sähkösyöttö. (ABB tekninen opas nro 7.)

Useista moottoreista koostuvassa sähkökäytössä on yleensä erillinen tasasuuntaajayksikkö. Vaihtosuuntaajayksiköt kytketään suoraan yhteiseen tasajännitevälipiiriin. (ABB tekninen opas nro 7)

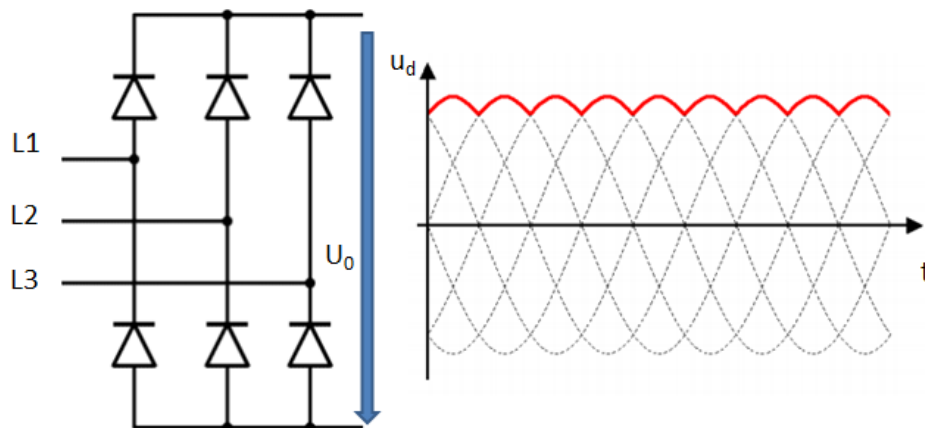


KUVA 21. Monimoottorikäyttö, 1) Erillinen syöttöyksikkö, 2) Yhteinen tasajännitevälipiiri, 3) Vaihtosuuntaajayksiköt ja 4) Sähkösyöttö. (Tekninen opas nro 7.)



### 5.3 Tasasuuntaaja

Tasasuuntauksessa muunnetaan vaihtosähkö tasasähköksi. Tasasuuntaus voidaan toteuttaa käyttämällä diodisiltaa, tai tyristorisiltaa. Yleisin ratkaisu on diodisilta, joka tuottaa vakion tasajännitteen. (Hedman 2009)



KUVA 22. Diodisilta ja sen tuottama tasajännite (ABB tekninen opas nro 7.)

### 5.4 Välipiiri

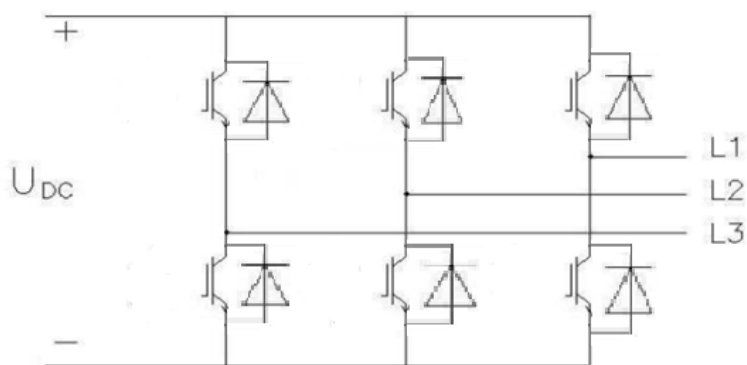
Taajuusmuuttaja on kahdenlaisia, välipiirillisiä ja suorita. Tasajännitevälipiirin pääasiallinen tehtävä on toimia energiavarastona. Välipiirejä on kahdenlaisia jännite- ja virtävälipiirejä. Jännitevälipiirissä energia varastoidaan kondensaattoreihin. Virtävälipiirissä energian varastointi tapahtuu kuristimen avulla. (Hedman 2009.)



KUVA 23. Jänniteohjatun taajuusmuuttajan välipiiri.

### 5.5 Vaihtosuuntaaja

Vaihtosuuntaaja voidaan toteuttaa tehotransistorein (IGBT) tai hilalta sammutettavien tyristorein (IGC tai GTO). Tehotransistorit ovat yleisimmät.



KUVA 24. Vaihtosuuntaus tehotransistorein (IGBT).

## 6 AC-KÄYTÖN ETUJA

Oikosulkumoottorit toimivat vaihtovirralla. Taajuusmuuttaja oikosulkumoottoriyhdistelmää nimitetään AC-käytöksi. Moottorin nopeutta säädetään taajuutta muuttamalla, mikä tapahtuu taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttajaa säädetään prosessista kerättävien tietojen perusteella. (ABB Tekninen opas nro 4)

AC-käytön etuja ovat:

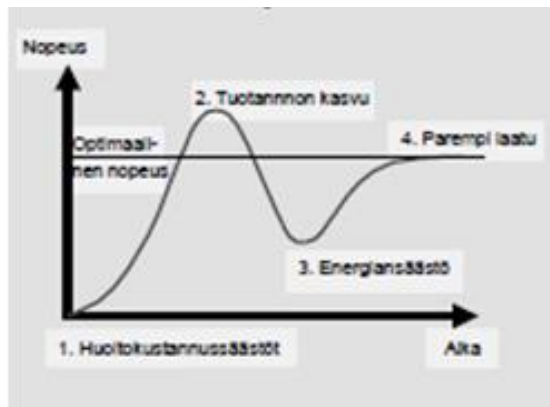
- alhaiset huoltokustannukset
- energiansäästö
- hyvä ja tarkka prosessin säädettävyys

Suoraan verkosta käynnistettävälle pumppu-moottori-yhdistelmälle kohdistuu sähköisiä ja fyysisiä rasitteita. Taajuusmuuttajalla pumppu voidaan käynnistää pehmeästi, ja näin syntyvä rasite on huomattavasti pienempi. Tämä vaikuttaa huoltokustannuksiin ja käyttöikään. (ABB Tekninen opas nro 4)

Prosessissa tulee aina huomioida mahdollinen tuotannon kasvu tulevaisuudessa. Yksinkertaisella säätötavalla varustettujen vakionopeuksisten laitteiden kapasiteetin nosto vaatii aikaa ja mahdollisesti koko järjestelmän uudelleen rakentamisen. Toisaalta kapasiteetin nostamiseen on varauduttu laittamalla esimerkiksi pumpulle liian suuri moottori, jota mekaanisesti kuristetaan sitten, että virtaus saadaan prosessiin sopivaksi. Tässä säästöjä ei synny lainkaan, sillä energiaa menee hukkaan. Taajuusmuuttajakäytöissä nopeuden lisääminen taajuutta kasvattamalla onnistuu käden käänteessä, ja tuotannon lisäys hoituu ilman lisäinvestointeja. Taajuusmuuttajan mitoitus on kuitenkin tarkka ja suuria tehon nostoja taajuusmuuttajalla ei voida tehdä. (ABB Tekninen opas nro 4)

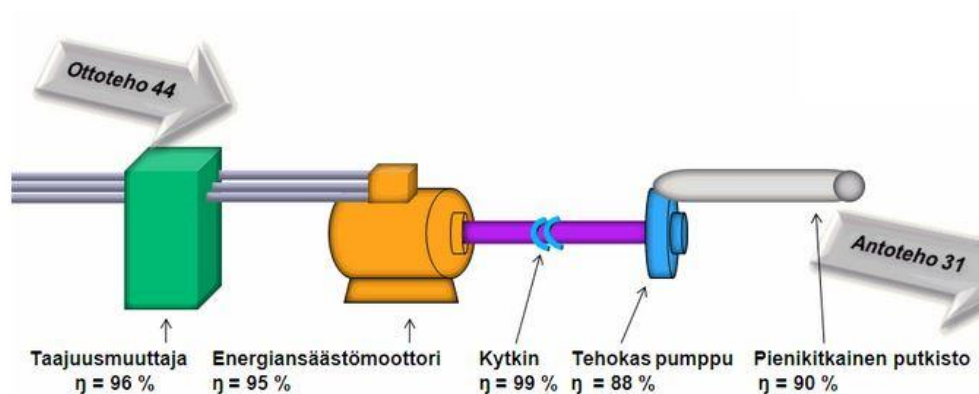
Tuotantolaitoksissa on useita osaprosesseja, jotka muodostavat kokonaisprosessin. Näissä prosesseissa tuotantomäärät vaihtelevat. Pumppusovelluksissa virtauksen ja paineen määrä vaihtelee. Taajuusmuuttajan nopeussäädöllä saadaan

muutokset hoidettua jo ennen pumppua. Tällä muutoksella voidaan jättää mekaaninen kuristus pois pumpun painepuolelta. Tämä tuo huomattavia säästöjä. (ABB Tekninen opas nro 4)



KUVA 25. AC-käytön edut. (ABB Tekninen opas nro 4)

Taajuusmuuttajalla säädettävä pumppukäyttö antaa mahdollisuudet optimaaliseen energiankulutukseen.



KUVA 26. Kierrosnopeussäätö pumppukäytölle. (VEM 2015)

Taajuusmuuttajan mitoituksessa tulee huomioida koko järjestelmä. Järjestelmää mitoittaessa edetään niin sanotusti puusta tyveen. Moottorin mitoituksessa tulee tarkastella prosessin tarpeita. Näitä ovat vastamomentti, pyörimisnopeus ja käyttötapa. Usein moottorit ovat ylimitoitettu prosessiin nähden. Tällä on haluttu varmistaa, että teho riittää myös mahdollisten prosessi muutosten takia. Tällainen ajattelutapa johtaa energiatehottomaan järjestelmään.

Taajuusmuuttajan valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat:

- kuormituskäyrän muoto ja kuormitustapa (jatkuva, hetkellinen)
- virta
- teho
- jännite
- mitoitustaulukot, tekninen tuki
- kotelointiluokka
- ulkomitat
- merkki/malli

Taajuusmuuttajan lisälaitteet:

- jarrukatkoja/vastus
- kenttäväyläliityntä
- tulo/lähtö suodin (RFI, du/dt, sinifilter)
- pulssianturi (moottorin nopeuden takaisinkytkentä)
- laajennuskortit
- ohjelmisto

(AEL 2015)

## 7 TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTÖN MITOITUS

Taajuusmuuttajakäytön mitoituksessa tulee selvittää pumpun kuorma. Tämä onnistui omassa työssäni Sulzer Oy:n sivustolla olevalla laskentaohjelmalla. Tätä ennen olin kerännyt tietoja prosessista ja haastatellut prosessista vastaavaa käyttökäyttökuntaa. Kävin myös neuvotteluja Sulzer Oy:n edustajan Jorma Naukkarisen kanssa. Lopulta sain selvitettyä kuorman pumpuille. Seuraavassa esimerkissä mitoitetaan KVP2 ja KVP3 moottori ja taajuusmuuttaja.

Valitun pumpun perusteella sille voidaan laskea sopiva moottori. Pumpun tehon ollessa 111 kW, kierrosluku on 1014 r/min. Moottorille tulee laskea momentti.

Moottorilta tarvittava momentti:

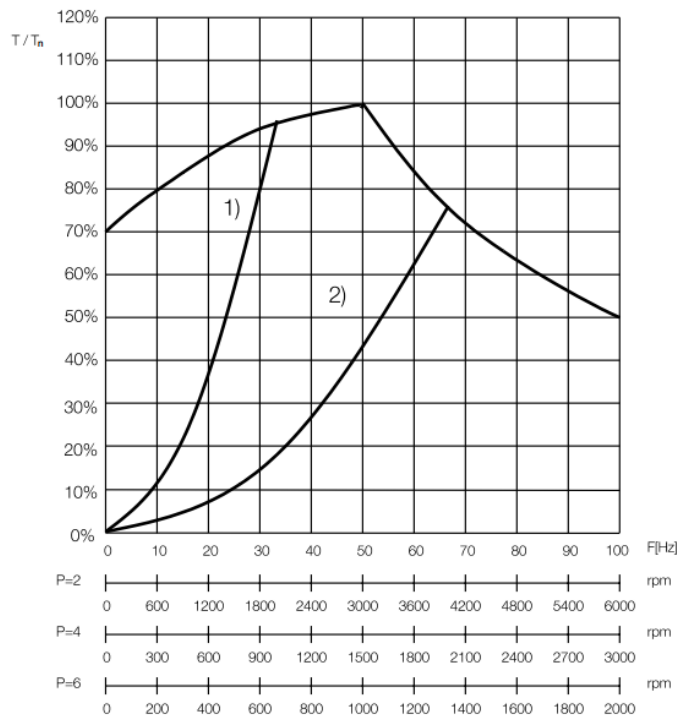
$$T = 9550 \cdot P_2 / n \quad (2)$$

missä P on nimellisteho [kW] ja n on kierrosnopeus [r/min]

TAULUKKO 2. Moottorilta tarvittava momentti.

Teho [kW]	Kierrosnopeus [rpm]	Momentti [Nm]
111	1014	1045

Moottorin terminen kuormitettavuus tulee ottaa huomioon mitoituksessa. Terminen kuormitettavuus määrittelee moottorin pitkäaikaisen maksimikuormitettavuuden.



KUVA 27. Moottorin kuormitettavuuskäyrät pumppu- ja puhallinsovelluksessa. (ABB Tekninen opas nro 4)

TAULUKKO 3. Napaluvun vaikutus moottorin nimellismomenttiin

Napaluku	T [Nm]	Kuormitett %	$T_n$ [Nm]
2	1045	85	1229
4	1045	96	1089
6	1045	96	1089

Moottorin nimellisteho [kW]:

$$P_n = n_n \times T_n / 9550$$

missä  $n_n$  on nimellinopeus [r/min] ja  $T_n$  on nimellismomentti [Nm]

Laskemalla synkronisen kierrosnopeuden mukaan saadaan taulukon 4 arvot.

TAULUKKO 4. Napaluvun vaikutus nimellistehoon

Napaluku	$T_n$ [Nm]	$n_s$ [r/min]	$P_n$ [kW]
2	1229	3000	386
4	1089	1500	171
6	1089	1000	114

Taulukosta 4 moottoriksi valitaan 6-napainen moottori, koska tässä on pienin nimellisteho.

Mahdollisen kapasiteetin nousun takia valitaan taulukon arvoa suurempi oikosulkumoottori. Valitun moottorin tulee olla aina suurempi kuin laskennallisesti saatu arvo. Valitaan 200 kW (355 A, 50 Hz, 989 rpm ja 0,85) moottori.

200 kW moottori valitaan, koska KVP2 ja KVP3 täytyy tarvittaessa pumpata vettä viereiseen linjaan KVL2. Tämän vuoksi ei voida valita lasketun nimellistehon perusteella moottoria. Sääto hoidetaan taajuusmuuttajalla.

Valitulle 200 kW moottorille lasketaan momentti moottorin kilpiarvoista kaavan (2) mukaan. Moottorin momentti laskennallisesti on 1931 Nm.



Taajuusmuuttajan valintaan vaikuttaa virta-arvo. Moottorivirta 1000 rpm kierrosluvulla (vakiovuoalue) saadaan laskettua kaavalla:

$$i_n = (T_{kuorma} / T_n) \times I_n = P_k / P_n \times I_n \quad (5)$$

missä

$i_n$  = nimellisvirta (taajuusmuuttajalle)

$T_{kuorma}$  = moottorin kuormamomentti

$T_n$  = moottorin nimellismomentti

$I_n$  = uuden moottorin nimellisvirta

$P_k$  = 6-napaisen moottorin minimiteho

$P_n$  = 6-napaisen moottorin maksimiteho

TAULUKKO 5. Taajuusmuuttajan jatkuva virta

<b><math>P_k</math></b> <b>[kW]</b>	<b><math>P_n</math></b> <b>[kW]</b>	<b><math>I_n</math></b> <b>[A]</b>	<b><math>i_n</math></b> <b>[A]</b>
114	200	355	202

## 7.1 Taajuusmuuttajan asennus

Taajuusmuuttajan asennuksessa on noudatettava laitevalmistajan ohjeita.

Taajuusmuuttajan asennuksessa tulee ottaa huomioon kotelointiluokka, jäähdytys ja kaapelien läpiviennit. Taajuusmuuttajaa ei koskaan saa asentaa Ex-tilaan. Jäähdytyksessä taajuusmuuttajien sijoittelussa tulee huomioida taajuusmuuttajien etäisyys toisistaan. Päällekkäin kaapissa olevien taajuusmuuttajien ongelmana on alemman taajuusmuuttajan jäähdytysilman kulkeutuminen ylemmän taajuusmuuttajan jäähdytysilman ottoaukkoon. Tämä lyhentää ylemmän taajuusmuuttajan elinkaarta. Taulukosta 6 näkee lämpötilan vaikutuksen taajuusmuuttajaan. Läpivienneissä tulee ottaa huomioon EMC suojaus. (AEL 2015)

Sulakkeita valittaessa tulee ottaa huomion seuraavia. Niiden tehtävä on suojata taajuusmuuttajan tulosilta. Suurissa kokoluokissa on käytettävä erikoisnopeita sulakkeita. Taajuusmuuttaja valmistajasta riippuen, sulakkeet toimivat myös syöttökaapelin termisenä suojana. Hitaat sulakkeet eivät suojaa taajuusmuuttajan tulosiltaa. (AEL 2015)

Pääpiirin kaapeloinnissa syöttökaapelina voidaan käyttää nelijohdinjärjestelmää, mutta suojattu ja symmetrinen on suositeltavaa käyttää. Moottorikaapelina on oltava suojattu ja symmetrinen kaapeli esimerkiksi MCMK. Moottorikaapeli on oltava mahdollisimman lyhyt (häviöt). Etäisyys muihin kaapeleihin on huomioitava (häiriöt). Kytkennässä maadoitusjohto on oltava mahdollisimman lyhyt. Eristysvastus on mitattava. (AEL 2015)

Ohjauspiirin kaapeloinnissa on käytettävä häiriösuojattua ohjauskaapeleita esimerkiksi JAMAK. Ohjaussignaali-kaapelin suojavaipan kytkennässä voi esiintyä mahdollinen ristiriita. Taajuusmuuttaja valmistaja ilmoittaa, että suojavaipan kytkentä tulee taajuusmuuttaja päästä ja automaatiovalmistaja ilmoittaa kytkennän tulevan automaation päästä. Etäisyys pääpiirikaapeleihin on huomioitava mahdollisen häiriön takia. (AEL 2015)

TAULUKKO 6. Lämpötilan huomioiminen taajuusmuuttajan elinkaareissa

<b>Lämpötila (°C)</b>	<b>Kesto aika (vuosia)</b>
20 - 30	7 - 9
40	4 - 5
50	2
60	≥1
70	-

## 8 TESTIT JA SELVITYKSET KIERTOVIKESIPUMPPAAMOLLA

Kiertovesipumppujen varapumppuja ei ollut käytetty vuosiin. Tämän perusteella päätimme kokeilla pumppujen toimivuutta.

### 8.1 Varapumpulle vaihtaminen

KVL1 varapumpuna on KVP2. Vaihto onnistui hyvin ja tilanne näytti aluksi lupaavalta. Pumpun moottorissa oli pientä moottorin akselin pituussuuntaista tärinää. Tämä ei kunnonvalvonnan mukaan aiheuttanut erityistoimia. kahden päivän päästä tärinät alkoivat kasvaa moottorin molemmissa päädyissä. Kunnonvalvojat kävivät rasvaamassa moottoria. Tärinä lakkasi pumpun puolelta, mutta tuulettimen puolella tärinä jatkoivat kasvuaan. Tärinä kasvoi lopulta niin suureksi, että katsottiin parhaaksi vaihtaa KVP3:n takaisin ajoon.

KVP2:lla oli olemassa varamoottori. Se oli vastaavankokoinen Strömberg Oy:n moottori. Moottorin vaihto aloitettiin kuukauden kuluttua vanhan moottorin hajoamisen jälkeen. KVP1 toimi sen ajan varapumpuna sekä KVP3:lle että KVP4:lle. Moottoriin jouduttiin uusimaan kaapelointi, koska uuden moottorin kytkentäkotelo sijaitsi korkeammalla kuin edellisen moottorissa. Kaapelointi suoritettiin kahdella 3 x 180 mm<sup>2</sup> + 95 kaapelilla.

Käynnistyksen yhteydessä moottori otti ylivirtaa luistiventtiilin ollessa normaaliasennossa. Tämän vuoksi jouduttiin kuristamaan luistinventtiiliä lisää, jotta moottori saatiin toimialueelle. Tämä tarkoitti käytännössä sitä, että paine ja tilavuusvirta pienenivät normaalista. Toimenpide ei aiheuttanut ongelmia prosessissa.

Moottorin käynnistyksessä syntyi normaalia suurempi paineisku. Paineiskun seurauksena kiertovesilinjojen paine- ja tilavuusvirtamittaukset eivät toimineet oikein. Painemittareita tarkastettaessa huomattiin, että KVL2 mittauksessa oli tukos. Tämän seurauksena mitta-alueen nolla arvo oli pielessä.

Tukoksen aukaisun jälkeen, mitta-alueen nolla-arvoksi säädettiin 4mA. Tukoksen aukaisu nosti mittausta 0,5 bar. Se ei kuitenkaan ollut riittävä. Uuden painelähettimen vaihto vanhaan tuotti vastaavan tuloksen. Paineen laskeminen saattoi johtua pumppujen välisen venttiilin rikkoontumisesta, jonka vuoksi paine pääsi heittelemään tai mittaukselle oli kertynyt jälleen ylimääräistä humusta, joka vääristi oikeaa tulosta.

Kuvassa 28 havainnollistetaan painelähettimen nolla-arvon mittaus ja säätö. Kuvasta nähdään, että nolla-arvo on pielessä 1.31 mA. Virran mittaus tapahtuu diodin välisistä navoista. Säätö tapahtuu niin, että potentiometrin ruuvin kantaa kierrettään ruuvitaltalla takaisin oikeaan arvoon.



KUVA 28. Pinalähettimen alueen mittaus ja säätö

## 8.2 KVP3:n ja KVP2:n mekaanisen kuristuksen selvitys.

Luistiventtiilin pesän halkaisija on 500 mm. Venttiilin luistiosan tulee olla silloin vähintään 500 mm. Venttiilissä olevat tiivistepinnat tekevät halkaisijasta suuremman, joka tulee ottaa huomioon. Pumpun käynnistys tapahtuu suljettua venttiiliä vasten suuren paineiskun välttämiseksi.

Venttiilin kiinni - auki asentoon kellotettiin 60 sekuntia. Pumppua käynnistäessä venttiilin auki ajoaika on 20 sekuntia. Venttiilin avaaminen tapahtuu paikallisajona ja automaatiojärjestelmään välittyy vain tieto onko venttiili auki vai kiinni. Tämän vuoksi kukaan ei tiedä missä asennossa venttiili on kun 20 sekuntia on kulunut.

Venttiilin kokonaispinta-ala saadaan laskemalla:

$$A = \pi r^2 \quad (6)$$

missä

$\pi = \text{vakio}$

$r = \text{säde}$

TAULUKKO 7. Venttiilin luistiosan pinta-ala.

Halkaisija	Pinta-ala
500mm	0.196 m <sup>2</sup>

Venttiili nousee 20 sekunnin aikana 16.67 cm. Tähän tulee ottaa huomioon tiivistepinnat, jotka ovat noin 15 mm. Luistiosan alareunan ja venttiilin pinnan väli on 17,16 cm. Luistiventtiili on pyöreä, joten se auetessaan muodostaa kuunsirpin muotoisen aukon. Pinta-alan laskemiseen tarvitaan ympyrän segmentin pinta-ala laskukaavaa sekä trigonometriaa.

TAULUKKO 8. Luistiosan ja venttiilin välinen pinta-ala.

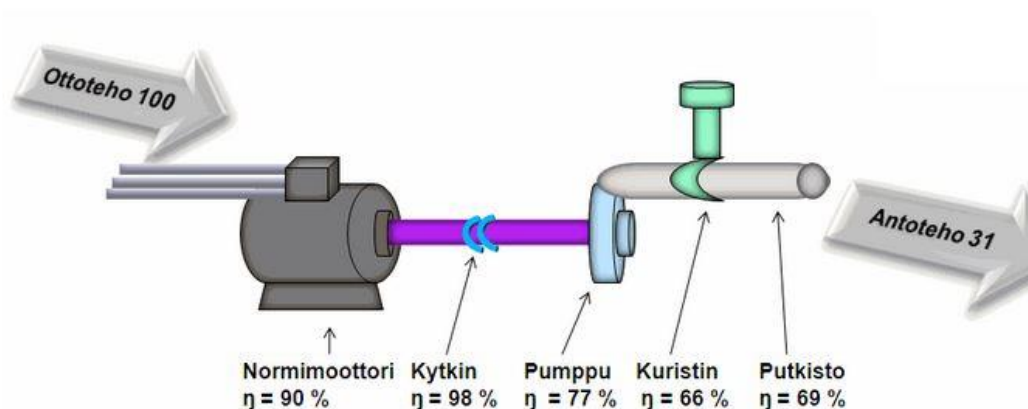
Luistiosan A	Venttiilin A	Pinta-alojen erotus %
0.084 m <sup>2</sup>	0.196 m <sup>2</sup>	42,8

Taulukko 8 arvojen perusteella voidaan tulkita kuristuksen olevan 57 %. Tämä kuristus saadaan optimoitua taajuusmuuttajalla.

## 9 ENERGIANSÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET KIERTOVIKESIPUMP- PAAMOSSA

### 9.1 Energiankulutus nykyisin

Kahden pumpun käydessä jatkuvasti 8760 tuntia vuodessa suurin kuluerä on sähköenergia. Moottoreiden matalan hyötysuhteen ja ylimitoituksen vuoksi energian kulutus on suuri. Kuvassa 29 havainnollistetaan perinteinen pumppukäyttö, jossa on kuristussäätö. Matala hyötysuhteisten koneiden vuoksi järjestelmän kokonaishyötysuhde on huono. Tämä on yleinen tilanne teollisuuden pumppusovelluksissa.



KUVA 29. Perinteinen pumppukäyttö. (VEM 2015)

Nykyinen energiankulutus saadaan selvittämällä pumppukäytön moottorin hyötysuhde. Tämän jälkeen saamme selvitettyä vuotuisen energian kulutuksen käyttötuntien avulla.



### 9.1.1 Hyötysuhteen selvittäminen

Hyötysuhde saadaan selville laskemalla moottorin antoteho jaettuna ottoteholla.

$$\eta = P / (\sqrt{3} * I * U * \cos\varphi) \quad (7)$$

missä,

P = akseliteho

I = virta

U = jännite

$\cos\varphi$  = korjauskerroin

$\eta$  = hyötysuhde

TAULUKKO 9. KVP moottorien hyötysuhteet

Moottori	$P_n$ (kW)	$U_n$ (V)	$I_n$ (A)	$\cos \varphi$	$\eta$ (%)
KVP 1	250	380	460	0,86	82,6
KVP 2	250	380	436	0,92	87,1
KVP 3	250	380	436	0,92	87,1
KVP 4	250	380	445	0,86	85,4

Taulukon 9 arvojen perusteella saamme laskettua sähköenergian vuotuisen energian kulutuksen.

### 9.1.2 Vuotuinen energiankulutus

$$E = \frac{P_n}{\eta} \times t \quad (8)$$

missä,

$P_n$  = nimellisteho

$t$  = käyttöaika

$\eta$  = hyötysuhde

TAULUKKO 10. KVP laskennallinen energiankulutus vuodessa.

<b>Moottori</b>	<b>MWh</b>
KVP 1	2651
KVP 2	2514
KVP 3	2514
KVP 4	2564

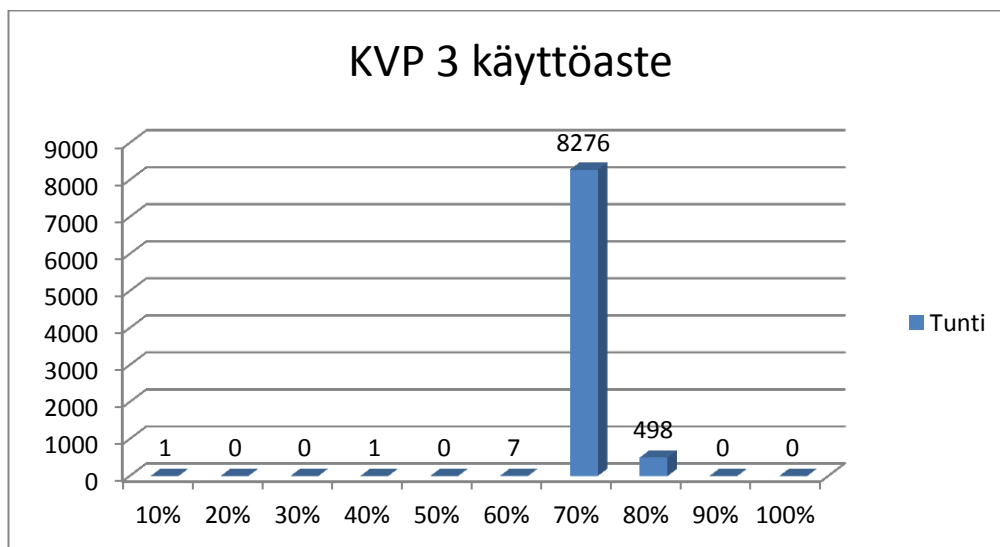
Taulukon 2 tuloksissa tulee ottaa huomioon se, että todellisuudessa ainoastaan kaksi pumppua käy jatkuvasti. Kahden pumpun yhtenäinen käyttö on noin 5000 MWh vuodessa.

## 9.2 Energiankulutus kierrosnopeussäädöllä

Tulevan ratkaisun mitoittamiseen käytin laitevalmistajilta löytyviä ohjelmia. Kappaleessa 5.9 lasketuissa laskuissa tuli selväksi, että pumppujen moottorit ovat ylimitoitettuja. Kierrosnopeussäädöllä päästäviin säästöjen laskemiseen käytin taajuusmuuttajavalmistajien ohjelmia.

Kiertovesipumpuista keräsin tietoja WEDGE-ohjelman avulla. Tiedot ovat jokaiselta tunnilta vuoden ajan. Tätä kautta sain selville käyttöasteen. Taulukon maksimiarvon selvitin vuotuisen maksimin perusteella.

### 9.2.1 KVP3 ja KVP2 Käyttöaste



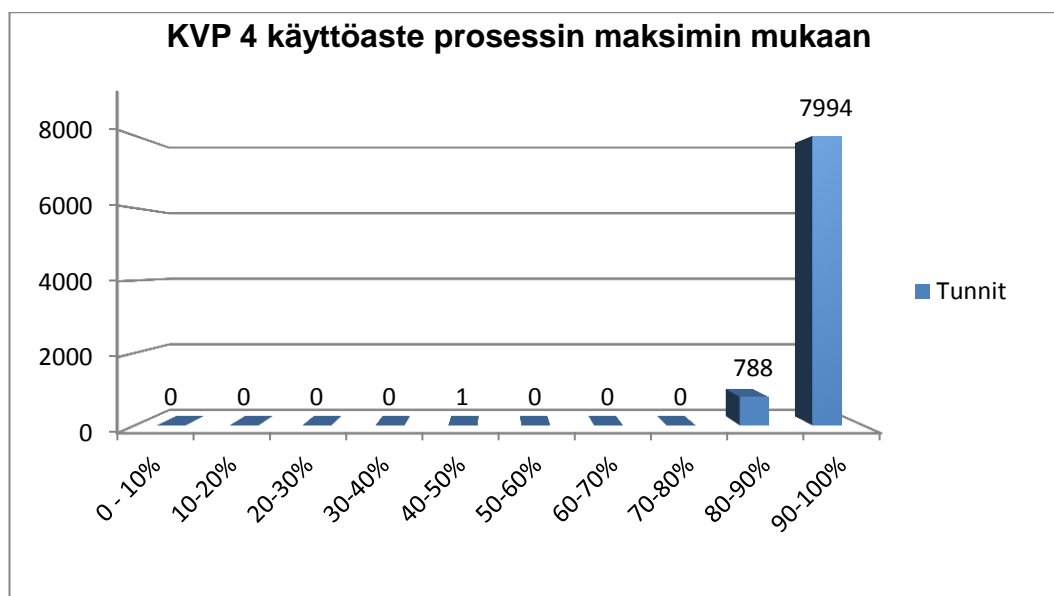
KUVA 30. KVP3 pumppukäytön käyttöaste prosessin maksimin mukaan

KVP3:n käytettävä kuristussäätö näkyy selvästi käyttöasteesta. Kuristussäädön vaihtaminen kierrosnopeussäätöön on suotavaa.

## 9.2.2 KVP4 ja KVP1 käyttöaste

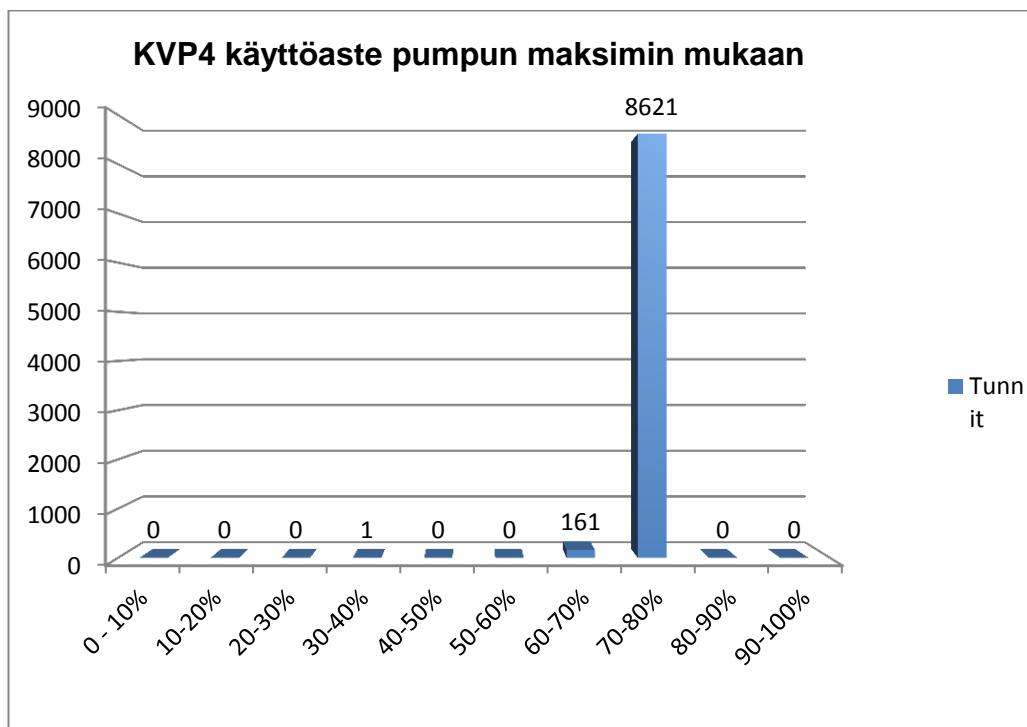
KVP3:n ja KVP4:n käyttöasteet selvitetään pumpun maksimitehon mukaan. KVP4:sta ei kuristeta laisinkaan. Kuristaminen tapahtuu ainoastaan, jos KVL1:n pumpput hajoavat. KVP4:sta ei käytetä koskaan KVL1:n pumppaukseen, sillä sen pääasiallinen tehtävä on pumpata vettä toiseen kiertovesilinjaan. Se ei ole käytännössä mahdollista, koska silloin KVL2:n ei menisi lainkaan kiertovettä.

Kuvassa 31 esitetään prosessin maksimiarvoon perustuva käyttöaste. Maksimiarvo on saatu vuoden mittaisen tietojen keräyksen maksimiarvosta, joten tässä ei ole otettu huomioon pumpun tuottamaa maksimia.



KUVA 31. KVP4 Käyttöaste prosessin maksimin mukaan

Kolmen vuoden ajanjaksolla tarkasteltuna maksimi tilavuusvirtaus on ollut 1272 m<sup>3</sup>/h. Uusien pumppujen maksimaalinen tuotto on noin 1600 m<sup>3</sup>/h. Taajuusmuuttaja- ohjauksella saadaan tarvittaessa nopea tehon nosto. Maksimiarvot ovat luettu pumpun ominaiskäyrältä.



KUVA 32. KVP4 Käyttöaste pumpun maksimin mukaan.

### 9.3 Investoinnin kannattavuuden tarkastelu

Investoinnin takaisinmaksuaika saadaan selvittämällä vuotuinen energiankulutus euroina ja jakamalla se investoinnin hinnalla. Kun tähän lisätään vuotuinen korkotaso, päästään lähelle tarkkaa takaisinmaksuaikaa.

Suurin vaikuttava tekijä investointiin on mahdollisimman todenmukainen virtausprofiili. Siinä määritellään käyttöaika tietyllä prosentuaalisella alueella. Taulukossa 11 esitetään takaisinmaksu aika jokaista pumppua kohden. Takaisinmaksuaika perustuu ABB:n laskurilla tehtyyn laskelmaan ja tulokset ovat suuntaa antavia. Koko järjestelmän takaisinmaksuaikaa pidentää se, että pumppuja vuorotellaan. Vuo-

rottelu ei ole huomioitu laskennoissa. Takaisinmaksuaikoihin on huomioitu pumpun ja moottorin uusiminen.

Takaisinmaksuajoissa tulee huomioida että pumput tulevat käymään 3 kk jaksoissa ja näin tulevat nostamaan takaisinmaksuaikaa.

TAULUKKO 11. Investointien takaisinmaksuaika pumppukohtaisesti

Pumppu	Nykyinen kulutus (MWh)	Optimaalinen kulutus (MWh)	Takaisinmaksuaika (a)
KVP1	1494	612	0.9
KVP2	1417	306 (612)	0.65 (0.72)
KVP3	1417	306 (612)	0.65 (0.72)
KVP4	1376	612	0.68

TAULUKKO 12. Investoinnilla saatavat säästöt

Pumppu	Nykyinen kulutus (€)	Optimaalinen kulutus (€)	Säästö vuodessa (€)
KVP1	1494	612	35 000
KVP2	1417	306 (612)	44 440
KVP3	1417	306 (612)	44 440
KVP4	1376	612	35 000

## 10 YHTEENVETO

Sivutuotelaitokselta valitsimme tarkemmaksi alueeksi kiertovesipumppaamon. Pumppaamolla on 14 pumppua, joiden teho vaihtelee 7.7 kW- 250 kW:n. Pumppujen läpikäynnin jälkeen valitsin kiertovesipumput tarkemman tarkastelen kohteeksi.

KVL1:ssä on kuristussäätö. Venttiili on neuvostoliittolainen luistinventtiili, jota ajetaan auki ajo-ohjeen mukaan 20 sekuntia käynnistysvaiheessa. Auki - kiinni asentoon menee 60 sekuntia. KVL2:n säätöventtiili on auki jatkuvasti, joten kuristusta ei ole.

Moottorin virta-arvoista, pumpun paineesta ja tilavuusvirta mittauksista pystyin laskemaan, että moottorit ovat ylimitoitettuja. Moottoreiden koon pudottaminen 50 kW:lla tuottaisi vuositasolla suuren säästön.

KVP3:n ja KVP4:n fyysisen kuristuksen määrän selvityksen laskin matemaattisesti. Luistinventtiilin halkaisijan perusteella laskin 20 sekunnin aikana aukeavan venttiilin ja putken välin. Alue on kuunsirpin muotoinen ja vaati hieman trigonometriaa ja segmentin pinta-alan laskua. Kuristus laskennallisesti tiivistepinnat huomioon ottaen on 57 %.

KVP2 oli ollut vuosia käyttämättä. Vaihdoimme pumppauksen KVP 3:lta KVP 2:lle. Aluksi vaikutti että kaikki sujui hyvin mutta parissa päivässä alkoi tulla moottorin tärinän kanssa ongelmia. Lopulta moottori jouduttiin sammuttamaan koska tärinät moottorin puolella nousivat uhkaavasti.

KVP2:lle uusittiin moottori. Koeajossa syntyi paineisku, joka sekoitti viereisen KVL2:n paine- ja virtausmittauksen. Tämän vuoksi en päässyt selvittämään tarkalleen kuinka paljon kuristaminen aiheutti energiahävikkiä. Suuntaa-antava laskelma saadaan vertailemalla KVP4: ja KVP3:n keskimääräistä vuosituottoa. Virtauksien keskimääräinen ero on 350 m<sup>3</sup>/h. Tästä saadaankin päätelty tulos, 57 % kuristuksella saavutetaan keskimäärin 350 m<sup>3</sup>/h erotus virtauksessa.



Esitän, että pumpuille asennetaan taajuusmuuttajaohjaukset sekä pumput että moottorit vaihdettaisiin uusiin. Pumppujen uusiminen on ajankohtaista, koska pumppuihin ei ole saatavilla varaosia muualta kuin Raahan tehtaan keskusvarastolta. Tehtaalla ei ole vastaavia pumppuja varalla.

Moottorien uusiminen on ajankohtaista sen vuoksi, koska ne ovat ylimitoitettuja. 50 kW ylimitoitus huonolla 85,6 % hyötysuhteella kuluttaa vuodessa 726.5 MWh enemmän sähköenergiaa.

Moottorien ajojärjestys tulee muuttua vuoroajojärjestelmäksi. Nykyinen pumpun varallapitojärjestelmä ei ole pumpulle ja moottorille kannattava. Automaatiojärjestelmään tulisi tehdä laskuri, joka laskee sovitun ajan ja ilmoittaa ohjaamoon tulevasta pumppujen vaihdosta. Näin pystytään varmistamaan se, että varakone on aina kunnossa ja viat havaitaan ajoissa. Käyttämätön pumppu ei maksa itseään takaisin ja on suuri riski prosessille.

TAULUKKO 13. Muutokset kiertovesipumppaamolle.

Taajuusmuuttaja	Moottori	Pumppu
ABB ACS 800-02-0260-3	ABB M3BP 315 LKC 6 200 kW	Ahlström APP53-250

KVP4 tulisi tehdä peruskorjaus, jossa säästetään 25 % uuden hankintaan verrattuna. Näillä muutoksilla saadaan energiatehokas järjestelmä, jota voidaan säätää optimaalisesti ja tarkasti. Lyhyt takaisinmaksuaika takaa investoinnin kannattavuuden.

## LÄHTEET

ABB tekninen opas nro 7 – Sähkökäytönmitoitus. Hakupäivä 2.3.2015.

ABB Tekninen opas nro 4–Nopeussäädettyjen käyttöjen opas. Hakupäivä 5.3.2015.

ABB 2009 Antti Hedman, Taajuusmuuttajat. Saatavissa [http://cna.mikkeli.ammk.fi/Public/KosonenH/s%C3%A4hk%C3%B6\\_ja\\_automatio/Taajuusmuuttaja\\_ABB.pdf](http://cna.mikkeli.ammk.fi/Public/KosonenH/s%C3%A4hk%C3%B6_ja_automatio/Taajuusmuuttaja_ABB.pdf) Hakupäivä 2.3.2015.

ABB PumpSave5.3-ohjelma. Saatavissa <http://new.abb.com/drives/software-tools/pumpsave>

AEL Taajuusmuuttajan perusteet ja ylläpito.2015. Koulutusmateriaali.

Aura, L & Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Porvoo: WSOY

Energiatehokkaat taajuusmuuttajat ja moottorit, Tommi Liikola ABB oy

Kördel, L & Johnsson, J. 2004. Moottorinohjausoppikirja. Iisalmi: IS-VET

Motiva 2011. Energiatehokkaat pumput. Saatavissa.

[http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/379/Energiatehokkaat\\_pumput.pdf](http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/379/Energiatehokkaat_pumput.pdf) Hakupäivä 2.3.2015

Huhtinen Markku, Korhonen Risto, Pimiä Tuomo & Urpalainen Samu. 2011. Voimalaitostekniikka.

SSAB 2015a esittelymateriaali.ppt. Hakupäivä 21.1.2015

SSAB 2015b tuotannon ohjeistus. Word Document Hakupäivä 21.1.2015

Jani Valkama, Auli Väänänen & Taina Dammert.2002. Sähkö- ja elektroniikkalaitteen ekologinen profiili - Esimerkkinä taajuusmuuttaja. Helsinki: Painopörssi.

VEM,Energiasäästöä taajuusmuuttajalla. Saatavissa:

[www.vem.fi/toimialaratkaisut/energiatehokkuus/energiansaastoa-taajuusmuuttajalla](http://www.vem.fi/toimialaratkaisut/energiatehokkuus/energiansaastoa-taajuusmuuttajalla). Hakupäivä 24.3.2015.

## LIITTEET

Liite 1. Kiertovesipumppaamon laitteet.

Liite 2. APP53-250 Pumpun ominaiskäyrä.

Liite 3. KVP3 Moottorin virran mittaus.

Liite 4. KVP4 Moottorin virranmittaus.

Liite 5. Kiertovesipumppujen takaisinmaksuaika vanhalla moottorilla ja pumpulla.  
(ABB Pump Save)

Liite 6. Kiertovesipumppujen KVP3 ja KVP2 takaisinmaksuaika uudella moottorilla ja pumpulla.(ABB Pump Save)

Liite 7. Kiertovesipumppuun takaisinmaksuaika vanhalla moottorilla ja pumpulla.  
(ABB Pump Save)

Liite 8. Kiertovesipumpun KVP1 takaisinmaksuaika vanhalla moottorilla ja pumpulla. (ABB Pump Save)

Liite 9. Kiertovesipumpun KVP4 takaisinmaksuaika vanhalla moottorilla ja pumpulla. (ABB Pump Save)

Liite 10. Kiertovesipumpun KVP4 takaisinmaksuaika vanhalla moottorilla ja pumpulla. (ABB Pump Save)

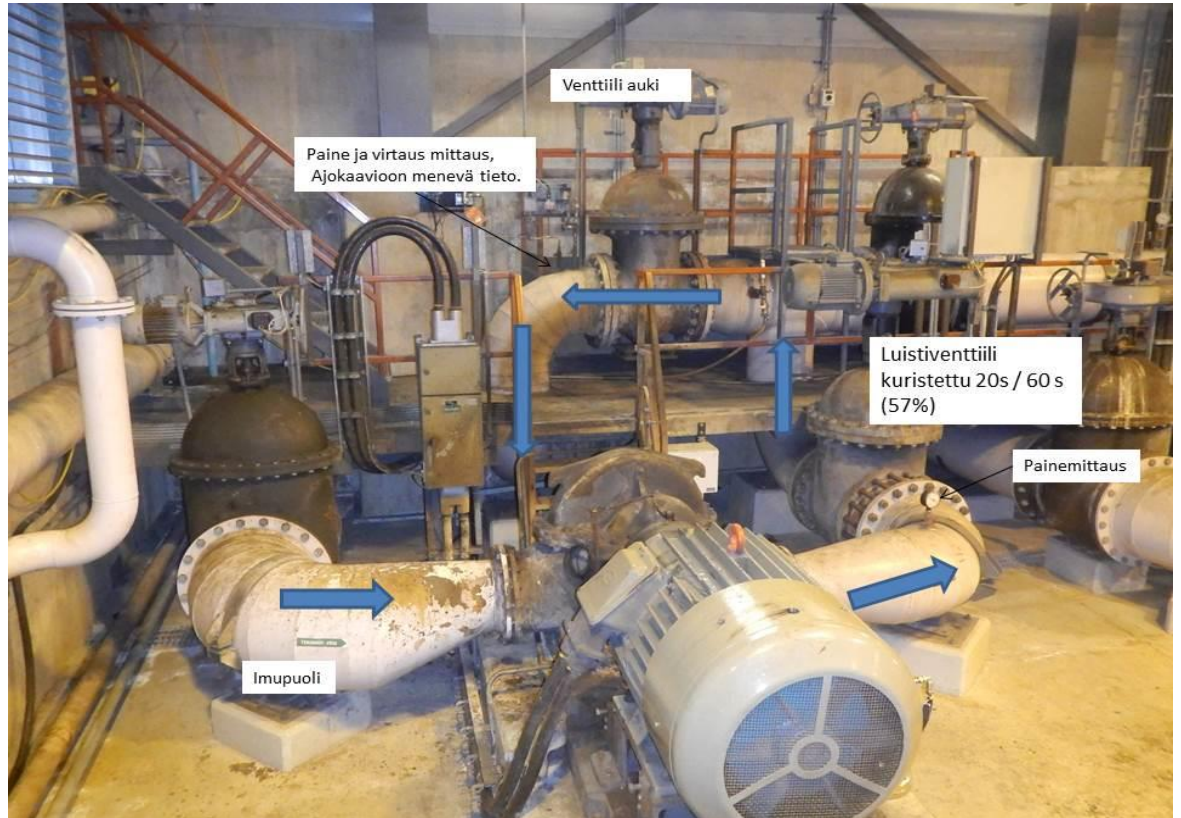
Liite 11. Kuusinapaisen oikosulkumoottorin ominaisarvot.

Liite 12. KVP4 APP-53-250 pumpun ominaiskäyrä 445 mm juoksupyörällä.

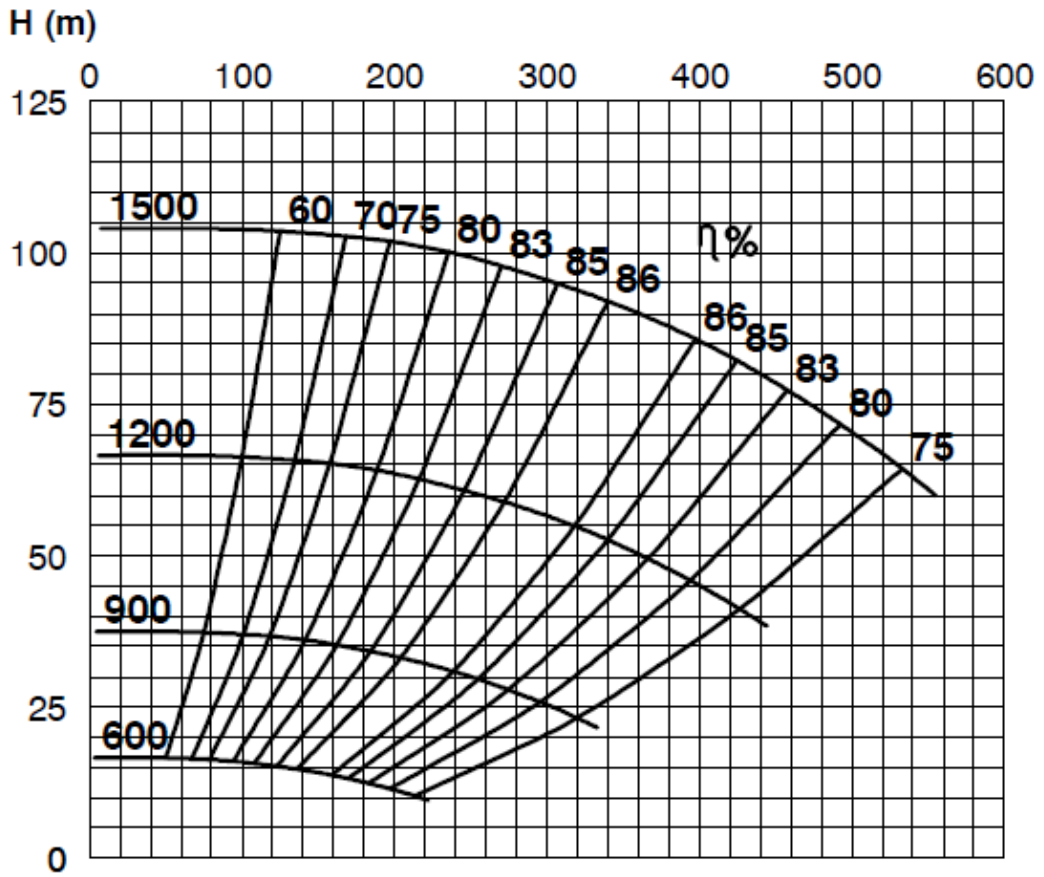
Liite 13. Uuden APP-53-250 pumpun ominaiskäyrä KVP2 ja KVP3.

Liite 13. Uuden APP-53-250 pumpun ominaiskäyrä KVP1 ja KVP4.

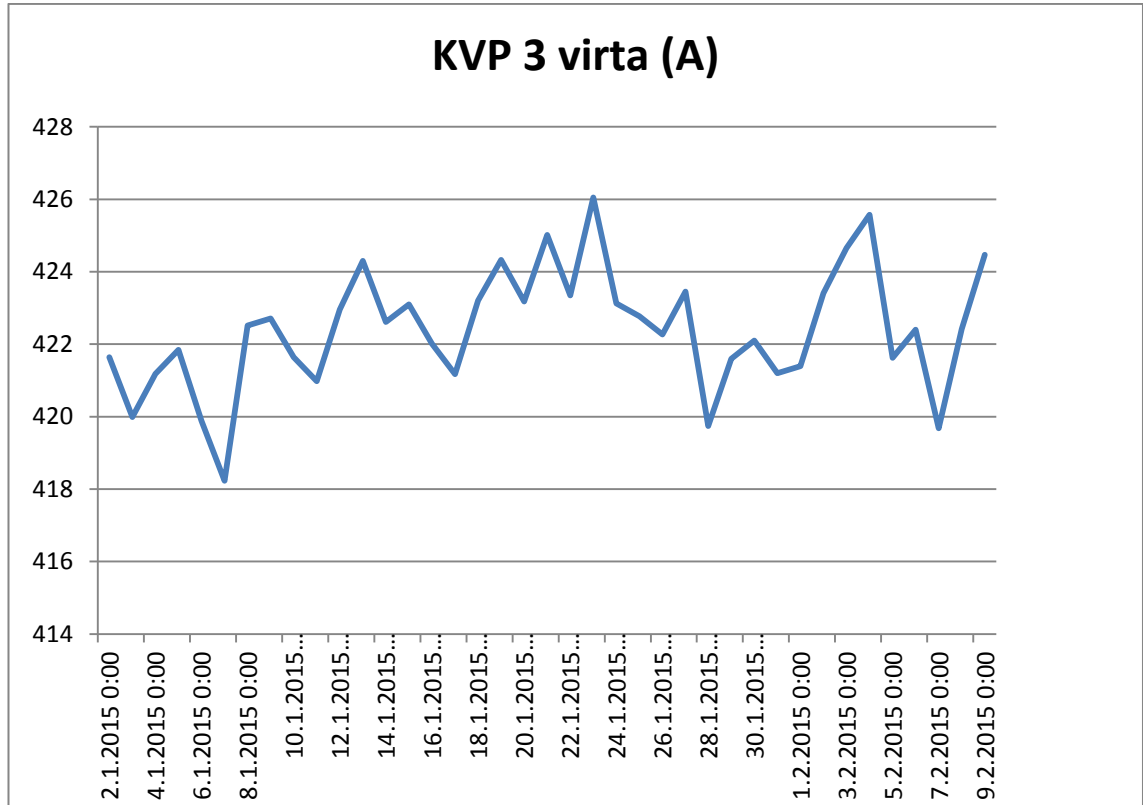
## LIITE 1. Kiertovesipumppaamon laitteet.



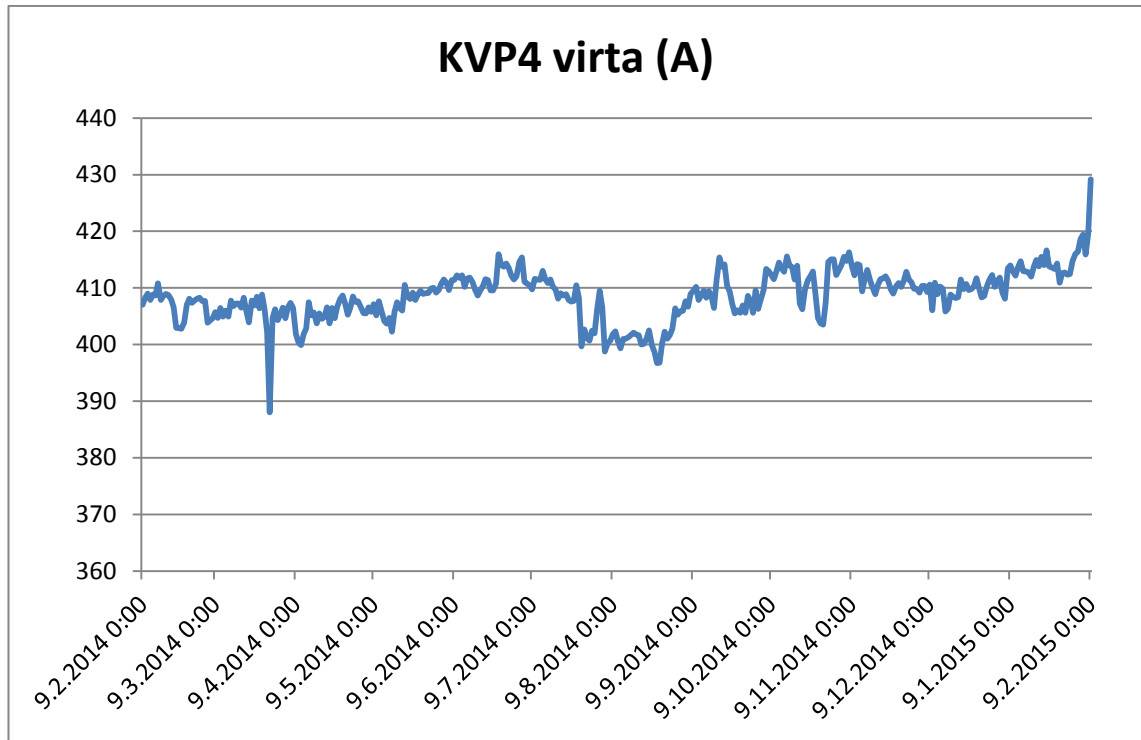
LIITE 2. APP53-250 Pumpun ominaiskäyrä.



### LIITE 3. KVP3 Moottorin virran mittaus.



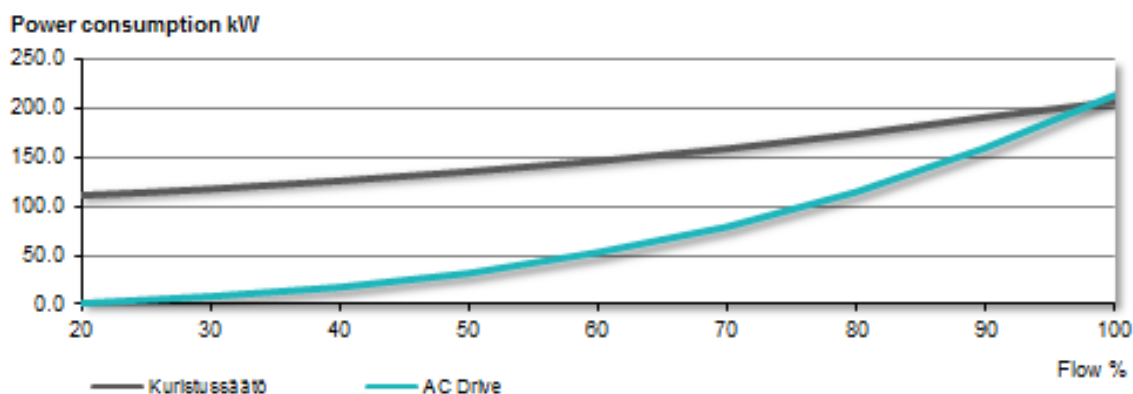
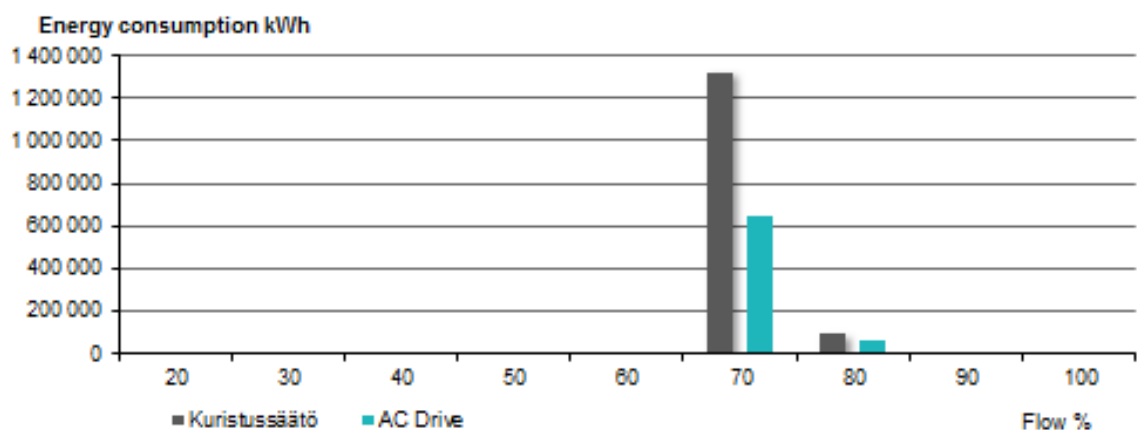
#### LIITE 4. KVP4 Moottorin virranmittaus.





**Liite 5. Kiertovesipumppujen KVP3 ja KVP2 takaisinmaksuaika vanhalla moottorilla ja pumpulla. (ABB Pump Save)**

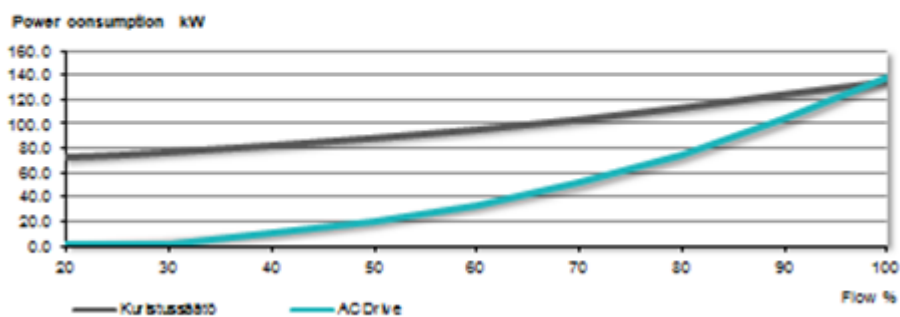
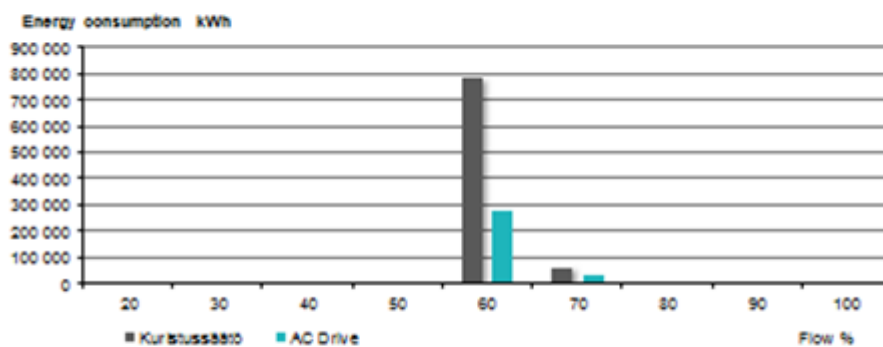
<b>Vuotuinen energiansäästö</b>	<b>707</b>	<b>MWh</b>
<b>Energiankulutus</b>		
nyky menetelmällä	<b>1 417</b>	MWh
parannetulla menetelmällä	<b>710</b>	MWh
Säästö prosentteina	<b>49.9</b>	%



## LIITE 6. Kiertovesipumppujen KVP3 ja KVP2 takaisinmaksuaika uudella moottorilla ja pumpulla. (ABB Pump Save)

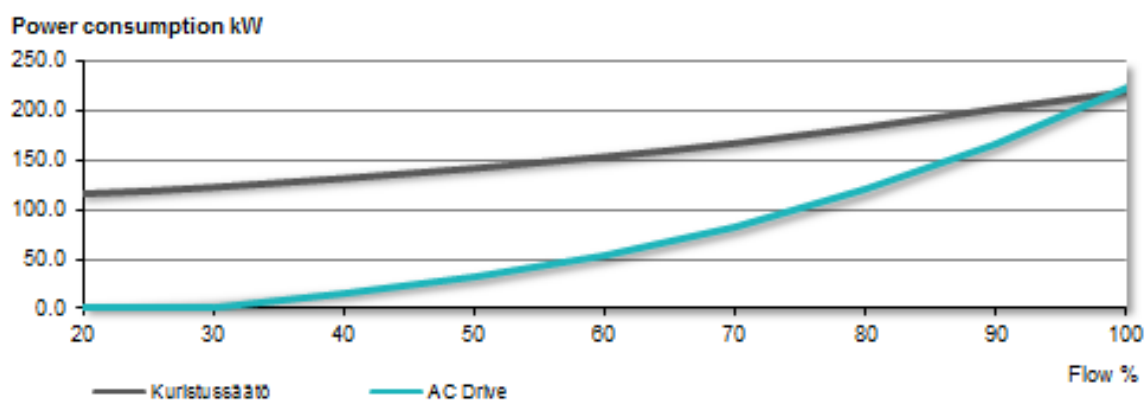
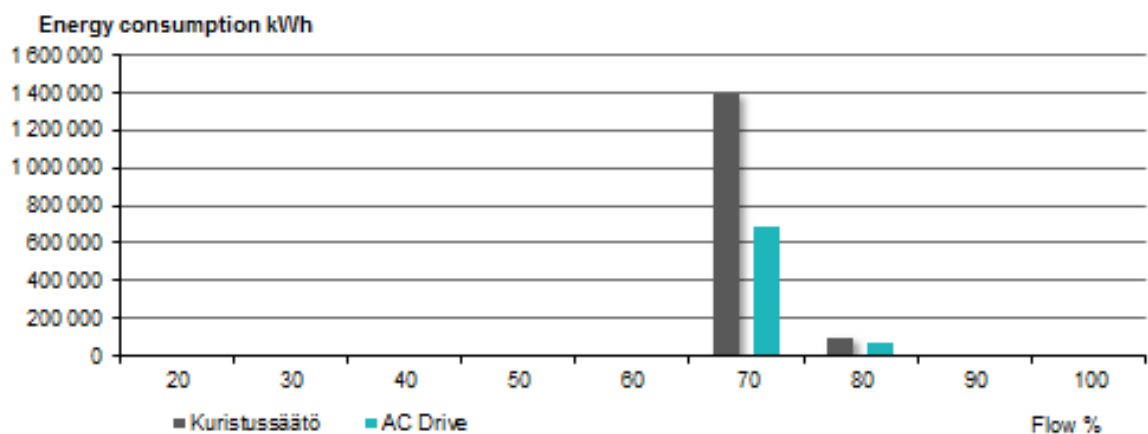
### Energiansäästö

<b>Vuotuinen energiansäästö</b>	<b>545</b>	<b>MWh</b>
<b>Energiakulutus nyky menetelmällä</b>	<b>851</b>	<b>MWh</b>
<b>parannetulla menetelmällä</b>	<b>306</b>	<b>MWh</b>
<b>Säästö prosentteina</b>	<b>64.1</b>	<b>%</b>



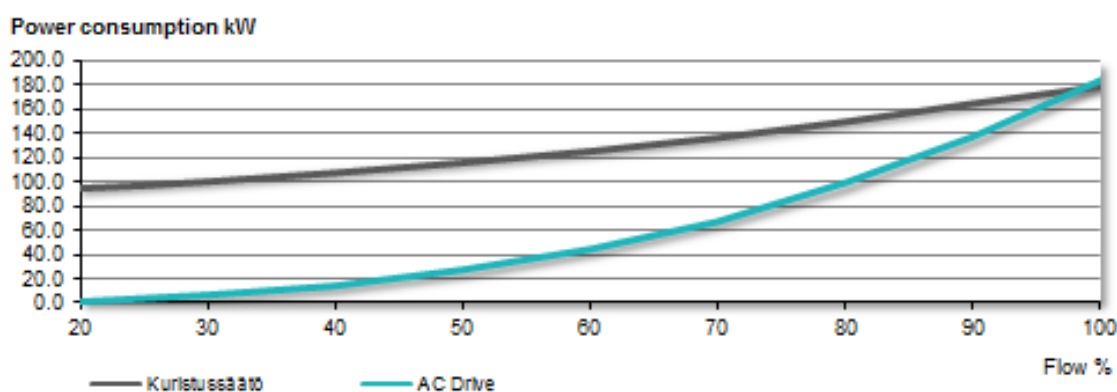
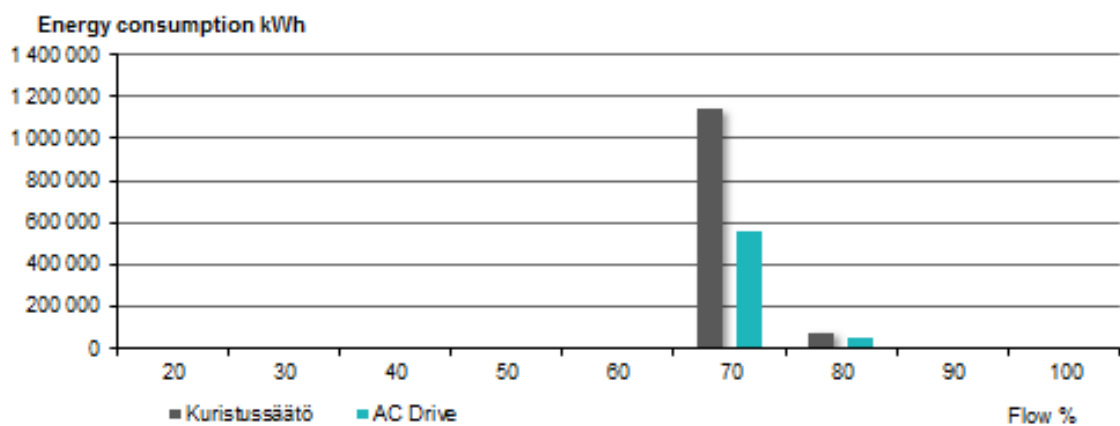
## LIITE 7. Kiertovesipumpun KVP1 takaisinmaksuaika vanhalla moottorilla ja pumpulla. (ABB Pump Save)

<b>Vuotuinen energiansäästö</b>	<b>746</b>	<b>MWh</b>
<b>Energiankulutus nyky menetelmällä</b>	<b>1 494</b>	<b>MWh</b>
<b>parannetulla menetelmällä</b>	<b>748</b>	<b>MWh</b>
<b>Säästö prosentteina</b>	<b>49.9</b>	<b>%</b>



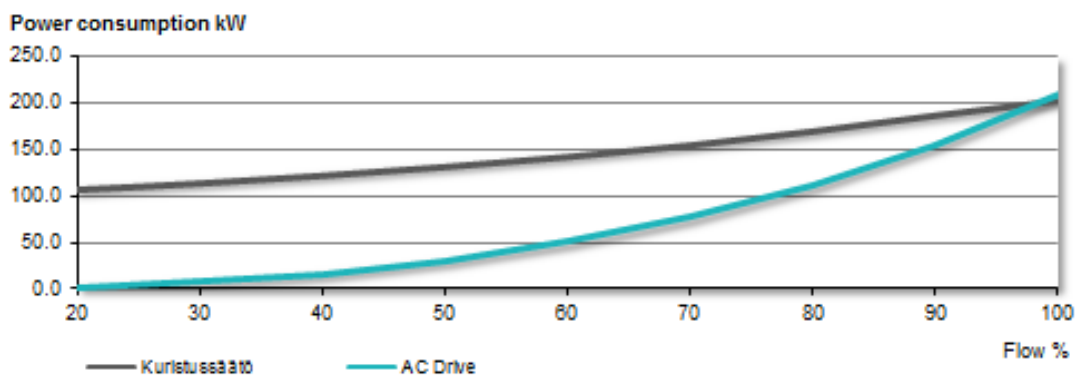
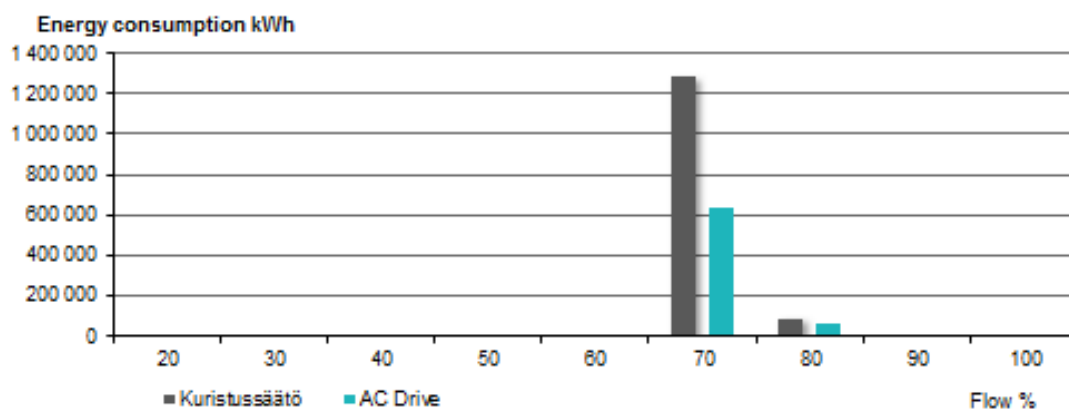
**LIITE 8. Kiertovesipumpun KVP1 takaisinmaksuaika uudella moottorilla ja pumpulla. (ABB Pump Save)**

<b>Vuotuinen energiansäästö</b>	<b>610</b>	<b>MWh</b>
<b>Energiankulutus</b>		
nyky menetelmällä	<b>1 223</b>	<b>MWh</b>
parannetulla menetelmällä	<b>612</b>	<b>MWh</b>
Säästö prosentteina	<b>49.9</b>	<b>%</b>



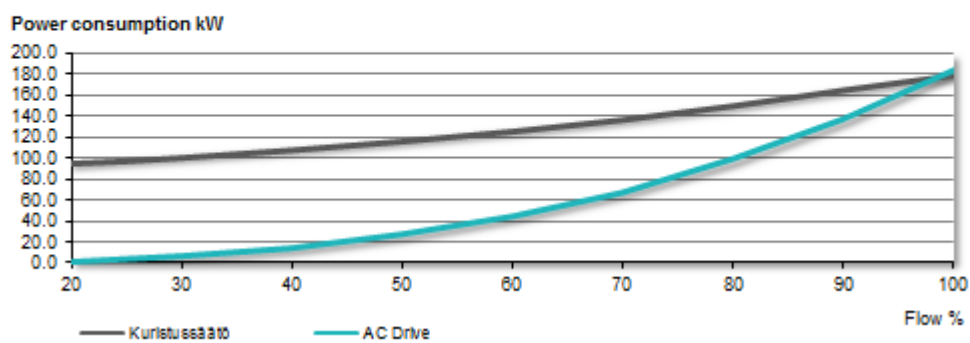
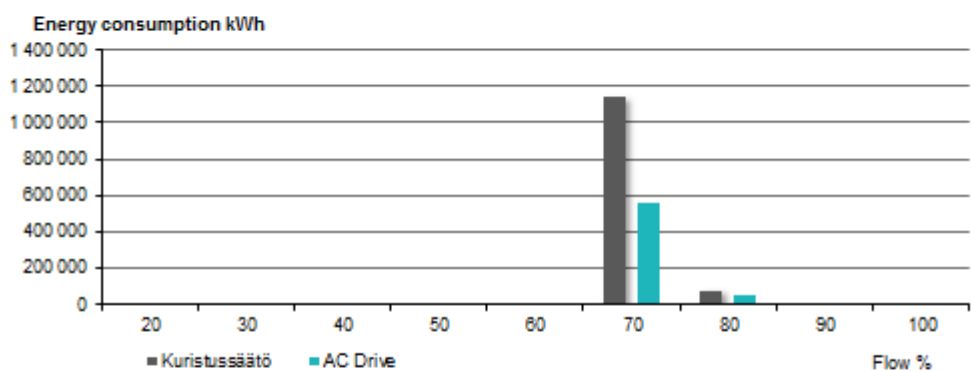
## LIITE 9. Kiertovesipumpun KVP4 takaisinmaksuaika vanhalla moottorilla ja pumpulla. (ABB Pump Save)

<b>Vuotuinen energiansäästö</b>	<b>687</b>	<b>MWh</b>
<b>Energiankulutus</b>		
nyky menetelmällä	<b>1 376</b>	MWh
parannetulla menetelmällä	<b>689</b>	MWh
Säästö prosentteina	<b>49.9</b>	%



## LIITE 10. Kiertovesipumpun KVP4 takaisinmaksuaika vanhalla moottorilla ja pumpulla. (ABB Pump Save)

Vuotuinen energiansäästö	610	MWh
Energiankulutus nyky menetelmällä	1 223	MWh
parannetulla menetelmällä	612	MWh
Säästö prosentteina	49.9	%



## LIITE 11. Kuusinapaisen oikosulkumoottorin ominaisarvot.

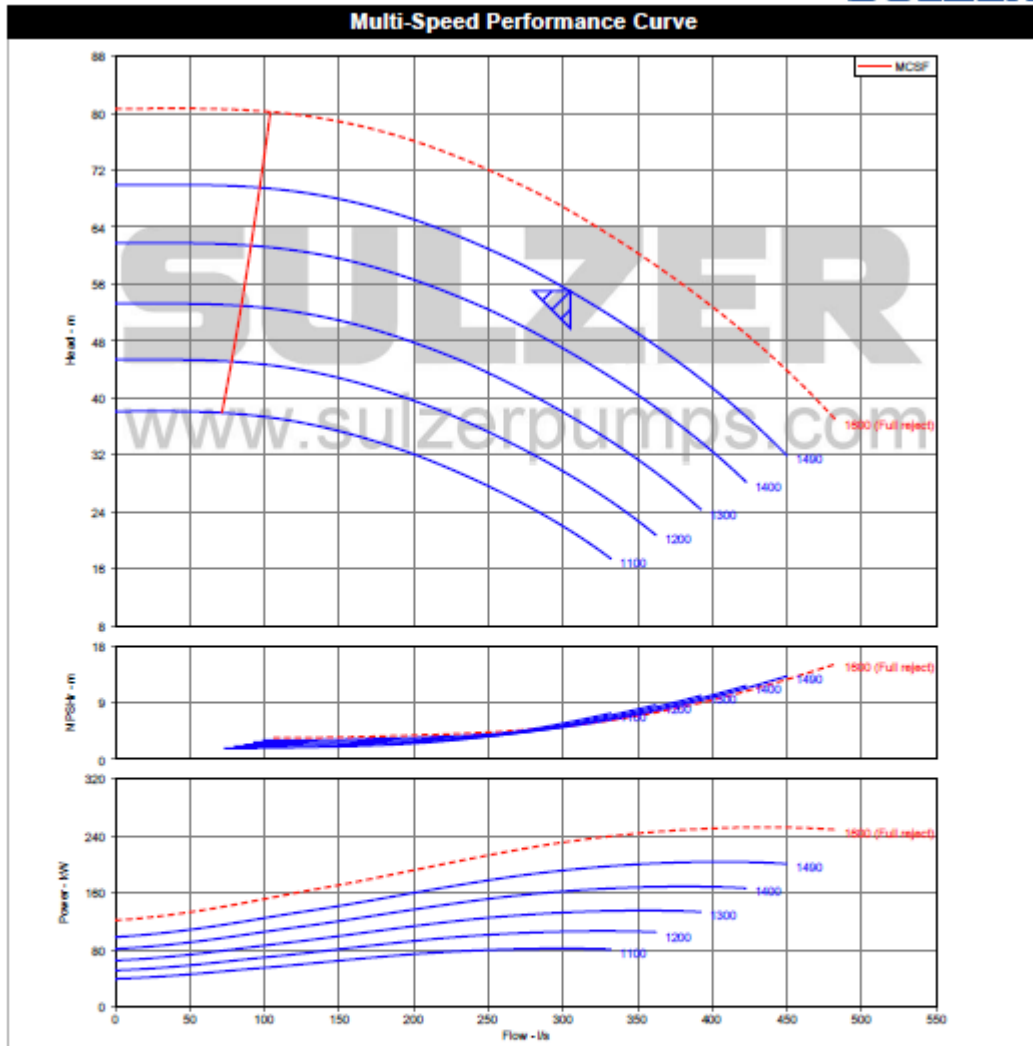
### Technical data IE2 cast iron motors, 1000 r/min

IP 55 - IC 411 - Insulation class F, temperature rise class B  
IE2 efficiency class according to IEC 60034-30-1; 2014

Output kW	Motor type	Product code	Speed r/min	Efficiency IEC 60034-30-1; 2014			Power factor Cos φ	Current		Torque		Moment of inertia J = 1/4 GD <sup>2</sup> kgm <sup>2</sup>	Weight kg	Sound pressure Level L <sub>WA</sub> dB	
				Full load 100%	3/4 load 75%	1/2 load 50%		I <sub>n</sub> A	T <sub>n</sub> Nm						
				I <sub>v</sub> /I <sub>n</sub>	T <sub>v</sub> /T <sub>n</sub>	T <sub>v</sub> /T <sub>n</sub>									
1000 r/min = 6 poles				400 V 50 Hz			High-output design								
15	M3BP 160 MLC 6	3GBP163033-**G	971	89,7	91,2	91,2	0,77	31,3	7,3	147	1,8	3,6	0,131	185	59
18,5	M3BP 180 MLB 6	3GBP183034-**G	975	90,7	92,0	92,0	0,79	37,2	5,8	181	1,7	2,7	0,198	221	59
30 <sup>1)</sup>	M3BP 200 MLC 6	3GBP203033-**G	985	92,0	93,1	92,8	0,83	56,7	6,9	290	2,3	2,8	0,531	318	63
37	M3BP 225 SMB 6	3GBP223034-**G	985	93,1	94,0	94,0	0,83	69,1	6,6	358	2,3	2,6	0,821	393	63
45 <sup>1)</sup>	M3BP 225 SMC 6	3GBP223033-**G	984	92,6	93,9	94,0	0,83	84,4	8,4	436	2,3	2,6	0,821	393	63
45	M3BP 250 SMB 6	3GBP253032-**G	989	93,4	94,1	93,9	0,83	83,7	7,0	434	2,5	2,7	1,37	441	63
55 <sup>1)</sup>	M3BP 250 SMC 6	3GBP253033-**G	988	93,2	94,1	94,0	0,84	101	7,1	531	2,6	2,8	1,50	468	63
75	M3BP 280 SMC 6	3GBP283230-**G	990	94,2	94,5	94,1	0,84	136	7,3	723	2,8	2,7	2,85	725	66
90	M3BP 280 MLA 6	3GBP283410-**G	990	94,1	94,2	93,6	0,82	168	7,1	868	2,4	2,5	3,10	840	70
110	M3BP 280 MLB 6	3GBP283420-**G	990	94,5	94,6	94,0	0,82	204	7,5	1061	2,7	2,6	4,10	890	70
160	M3BP 315 LKA 6	3GBP313810-**G	992	95,3	95,3	94,7	0,83	291	7,5	1540	2,6	2,8	7,30	1410	74
180	M3BP 315 LKB 6	3GBP313820-**G	992	95,3	95,4	94,8	0,83	328	7,4	1732	2,6	2,8	8,30	1520	74
200	M3BP 315 LKC 6	3GBP313830-**G	989	95,4	95,6	95,3	0,85	355	6,8	1931	2,5	2,6	9,20	1600	74

<sup>1)</sup>Temperature rise class F

Liite 12. KVP4 APP-53-250 pumpun ominaiskäyrä 445 mm juoksupyörällä.

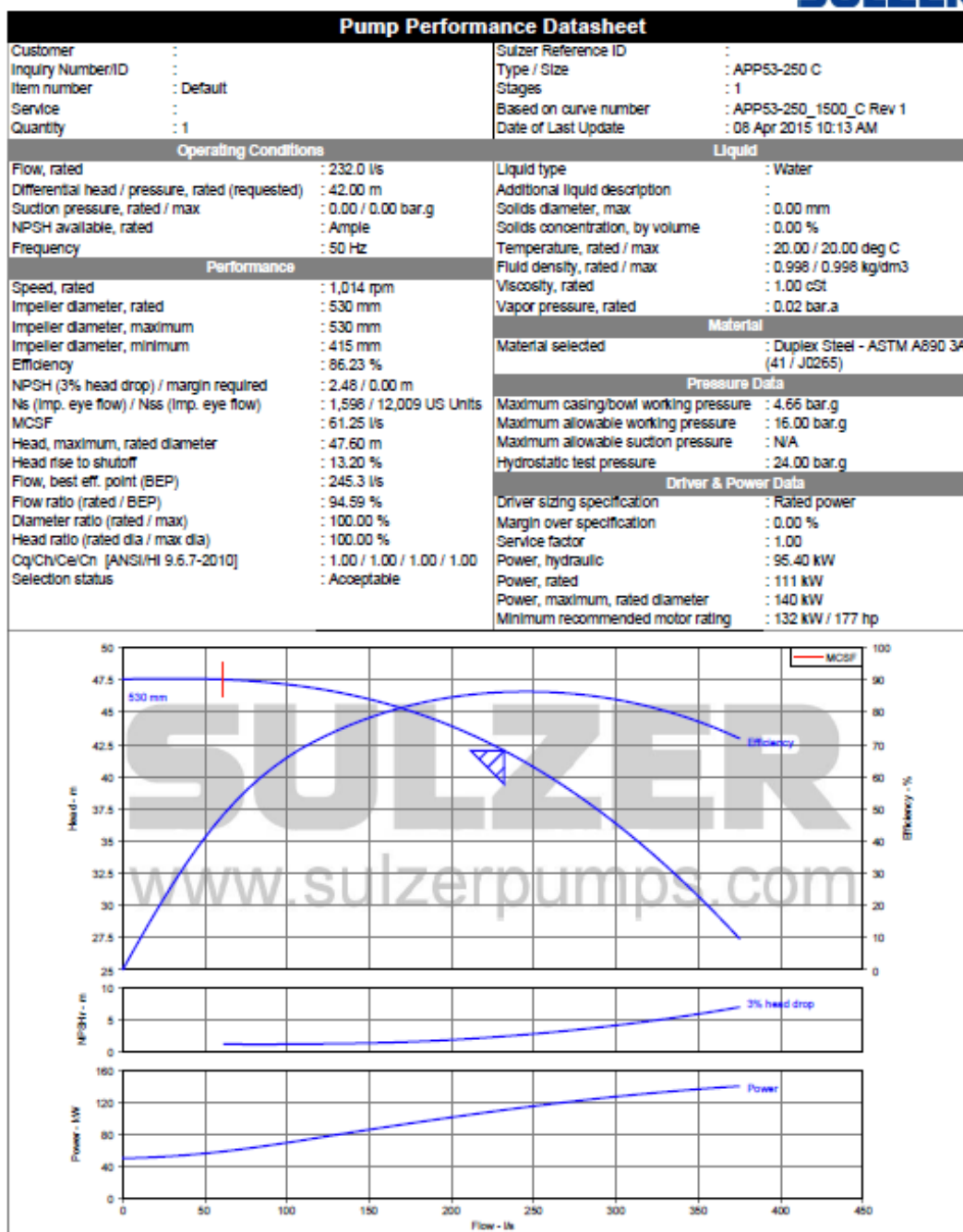


Customer	:	Sulzer Reference ID	:
Inquiry Number/ID	:	Type / Size	: APP53-250 C
Item number	: Default	Stages	: 1
Service	:	Based on curve number	: APP53-250_1500_C Rev 1
Quantity	: 1	Date of Last Update	: 08 Apr 2015 9:39 AM
Flow, rated	: 305.0 l/s	Power, rated	: 193 kW
Differential head / pressure, rated	: 55.00 m	Fluid density, rated / max	: 0.998 / 0.998 kg/dm <sup>3</sup>
Speed, rated	: 1,490 rpm	Viscosity, rated	: 1.00 cSt
Efficiency	: 85.11 %	Cq/Ch/Ce/Cn [ANSI/HI 9.6.7-2010]	: 1.00 / 1.00 / 1.00 / 1.00
NPSH (3% head drop)	: 5.27 m	Impeller diameter, rated	: 445 mm



### Liite 13. Uuden APP-53-250 pumpun ominaiskäyrä KVP2 ja KVP3.

**SULZER**



Liite 14. Uuden APP-53-250 pumpun ominaiskäyrä KVP1 ja KVP4.

