



Hiilivoimalaitoksen sähkömoottorien, -käyttöjen ja sähkönjakelulaitteiden elinkaaren hallinta ja energia- tehokkuuden kehitys

Ville Keskitalo

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2012
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

KESKITALO VILLE: Hiilivoimalaitoksen sähkömoottorien, -käyttöjen ja sähkönjakelulaitteiden elinkaaren hallinta ja energiatehokkuuden kehitys

Opinnäytetyö 38s., liitteet 1s.
Huhtikuu 2012

Tässä työssä tarkastellaan Fortum Naantalin voimalaitoksen sähkölaitteiden elinkaaren hallintaa ja moottorien ja niiden pyörittämien laitteiden kokonaisenergiatehokkuuden parantamista. Työssä keskityttiin yhteen voimalaitoksen kolmesta yksiköstä, joka on otettu käyttöön vuonna 1964. Osa moottoreista on edelleen alkuperäisiä ja elinkaarensa loppupuolella. Laitoksen iästä johtuen taajuusmuuttajia on otettu käyttöön vain modernisointien yhteydessä, jos muutokseen on ollut riittävän painava peruste. Sähkönjakelulaitteet ovat myös iältään vanhoja ja niitä on uusittu tarvittaessa. Säännöllinen kunnonvalvonta ja huolto ovat taanneet laitteille pitkän käyttöiän.

Kartoituksessa selvitettiin asiakkaalle yhden yksikön sähkömoottoreiden, -käyttöjen ja -jakelulaitteiden tila ja tuotiin esiin eri näkökulmia laitteiden elinkaareen liittyen. Työssä vertailtiin myös vanhojen ja uusien moottorien energiankulutusta ja uusien moottorien takaisinmaksuaikaa. Suurimmat säästöt energiankulutuksessa on mahdollista saada muuttamalla vanhat kuristussäädöillä olevat pumput taajuusmuuttajakäyttöisiksi. Joissain kohteissa on modernisoinnin takaisinmaksuaika jopa alle kaksi vuotta.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical engineering
Electrical power engineering

KESKITALO VILLE: Life-cycle management and energy efficiency improvement of electrical drives and power distribution devices in coal power plants

Bachelor's thesis 38 pages, appendices 1 page
April 2012

The purpose of this work was to look at Fortum Naantali power plant life-cycle management of electric motors, -drives, and electrical power distribution equipment of one power plant unit. The work focused on a one of the plants three unit which was launched in 1964. Some of the motors are still original and the end of their life cycle. VSD-control systems have taken into use only in modernizations if there have been a good reason for that. Power distribution devices are also old age and they have been replaced when necessary. Regular condition monitoring and maintenance have guaranteed a long life to the devices.

The thesis examined condition of electric motors, drives, and power distribution equipments of one power plant unit to the customer and highlighted different aspects of the life cycle of the equipments. The thesis work also compared energy consumption between the old and the new electrical motors and the payback time of the new motors. The largest savings in energy consumption can be obtained by changing the throttling control of the old pumps to VSD-control systems. In some locations the payback period of the modernization can be less than two years.

Keywords: life-cycle, energy efficiency, electric motor, frequency converter.

SISÄLLYS

LYHENTEET JA TERMIT	6
1 JOHDANTO	8
2 TEORIA JA TAUSTATIEDOT	9
2.1 Tilaaja- ja toimittajayritysten tiedot	9
2.1.1 Tilaajayritys.....	9
2.1.2 Toimittajayritys	11
2.2 Teoria	13
2.2.1 Induktiomoottori	13
2.2.2 Taajuusmuuttaja	14
2.2.3 Keskipakopumppu ja säätötavat.....	18
2.2.4 Sähköteho ja hyötysuhde.....	22
2.2.5 Sähkömoottorien hyötysuhdeluokitukset	22
2.2.6 EU:n vähimmäisenergiatehokkuuden standardi.....	24
2.2.7 ABB:n tuotteiden elinkaarenhallintamalli	25
3 VOIMALAITOKSEN SÄHKÖLAITEKARTOITUS.....	27
3.1 Sähkölaitteiden kartoitus.....	27
3.1.1 Laitekartoitus.....	27
3.1.2 Kriittisyyskartoitus	27
3.1.3 Kuntokartoitus.....	28
3.1.4 Tilaajan tietojärjestelmä.....	28
3.2 Sähkömoottorien kartoitus	29
3.2.1 Havainnot	29
3.3 Sähkökäyttöjen kartoitus.....	29
3.3.1 Havainnot	30
3.4 Sähköjakelulaitteiden kartoitus	30
3.4.1 Havainnot	30
4 ENERGIA TEHOKKUUSLASKELMAT.....	31
4.1 Matalahyötysuhteisten moottorien korvaaminen uusilla IE3-moottoreilla.....	31
4.2 Kuristussäädetyin pumpun energiansäästöpotentiaali.....	32
4.3 ABB:n PumpSave-ohjelmalla tehty laskelma.....	33
LÄHTEET.....	36

LITTEET39

LYHENTEET JA TERMIT

AC	Alternating current, vaihtovirta
CHP	Combined Heat and Power, sähkön ja lämmön yhteistuotanto
DOL	Direct on line, suoraan verkkoon kytketty moottori
DTC	Direct Torque Control, suora momentin säätö
EBIT	Earnings before interest and taxes, tulos ennen korkoja ja veroja
EU MEPS	European Minimum Energy Performance Standard, EU:n vähimmäisenergiatehokkuuden standardi
IE	International Efficiency, hyötysuhdeluokitus
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor, bipolaaritransistori
lv	Low voltage, pienjännite (<1000V)
Maximo	ERP kunnossapitojärjestelmä
VSD	Variable speed drive, taajuusmuuttajakäyttö

SUUREET

$\cos\varphi$	Tehokerroin
f	Taajuus
H	Nostokorkeus

I	Virta
n	Pyörimisnopeus
n_s	Tahtinopeus
P	Pätöteho
p	Napapariluku
P_m	Moottorin mekaaninen teho
T	Vääntömomentti
t	Aika
U	Jännite
Q	Virtaus
Q	Loisteho
ω	Kulmataajuus

1 JOHDANTO

Fortumin halusta parantaa laitoksen energiatehokkuutta osana Fortumin energiasäästösitoumuksia sen yhteen yksikköön päätettiin tehdä sähkölaitekartoitus, jossa tarkastellaan sähkömoottorien, taajuusmuuttajien ja sähkönjakelulaitteiden tilaa. Kartoittamalla kohteen sähkölaitteet tuodaan esille voimalaitoksen tila laitteiden kriittisyyteen, elinkaareen ja energiatehokkuuteen liittyen. Prosessin luotettavuutta voidaan parantaa kiinnittämällä erityinen huomio kriittisimpien laitteiden ikään ja kunnossapitoon.

Elinkaarensa päässä olevien moottorien vaihtaminen uusiin voidaan perustella prosessin luotettavuuden paranemisen lisäksi myös energiatehokkuuden paranemisella. Kartoituksessa tutkittiin myös sähkömoottorikäyttöisten pumppujen kokonaisenergiatehokkuutta. Vanhan laitoksen alkeellisista säätötavoista johtuen pumpun virtauksen säädön modernisoinnilla voidaan saavuttaa suuria energiasäästöjä. Kartoituksen tuloksilla voidaan perustella laitokseen tehtäviä uusia investointeja.

2 TEORIA JA TAUSTATIEDOT

2.1 Tilaaja- ja toimittajayritysten tiedot

Työn tilaajana on Fortum Oy, Naantalin voimalaitos ja toimittajana ABB Oy, Service.

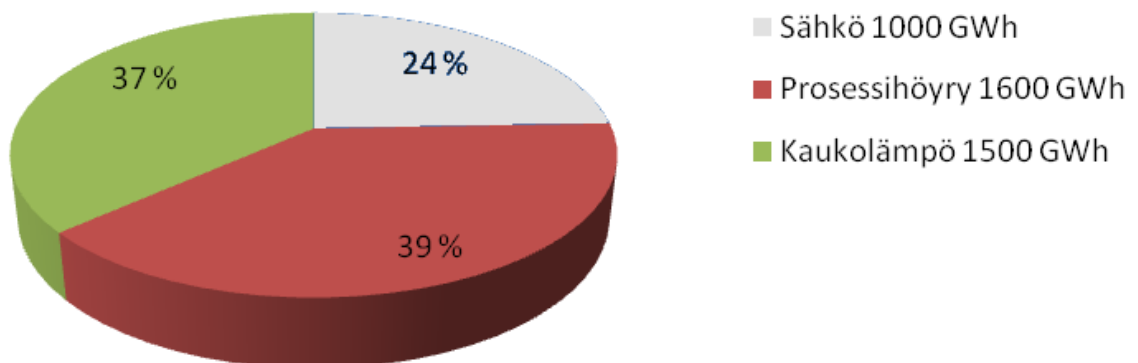
2.1.1 Tilaajayritys

Fortum perustettiin vuonna 1998, kun valtionyhtiö Imatran Voima Oy (IVO) ja pörssi-noteerattu Neste Oyj yhdistettiin. Vuonna 2005 öljyliiketoiminta eriytettiin Fortumista ja uuden yrityksen nimeksi tuli Neste Oil Oyj. (Fortum, 2011)

Nykyisin Fortum jakautuu neljään divisioonaan, Power, Heat, Russia ja Electricity Solutions and Distribution-divisioonat. Fortumilla on toimintaa pohjoismaissa, venäjällä ja itämeren alueella. Henkilöstön määrä oli vuonna 2010 10585. Yrityksen liikevaihto vuonna 2010 oli 6296 milj. Euroa ja liikevoitto 1708 milj. Euroa. (Fortum, 2011)

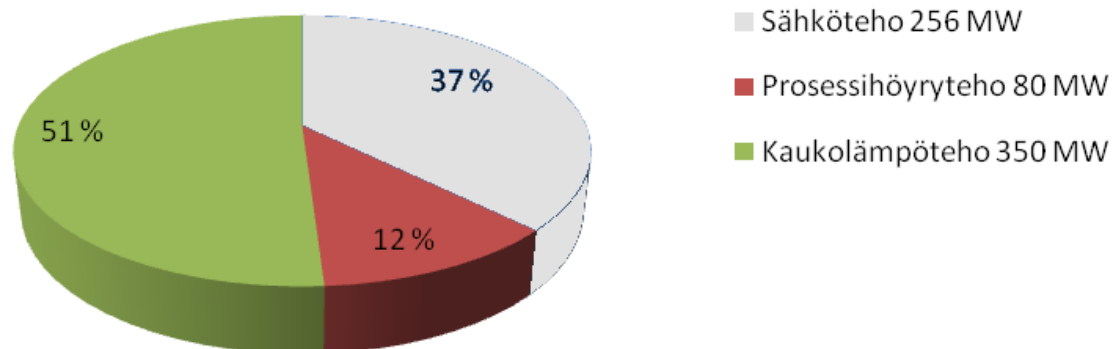
Naantalin voimalaitos on kivihielestä energiaa tuottava sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos (CHP). Voimalaitos on tuottanut sähköä jo yli viiden kymmenen vuoden ajan. Nykyisin voimalaitos tuottaa myös pääosan Turun seudun kaukolämmöstä ja lähiseudun teollisuuslaitosten höyryntarpeesta. Seuraavissa kuvioissa on esitetty tarkemmin laitoksen vuotuinen energiantuotanto ja tehot. (Fortum, 2011)

Naantalin voimalaitoksen vuotuinen energiantuotanto



KUVIO 1. Naantalin voimalaitoksen vuotuinen energiantuotanto

Naantalin voimalaitoksen energiantuotannon tehot



KUVIO 2. Naantalin voimalaitoksen energiantuotannon tehot

Seuraavassa luetelmassa on esitetty tarkempi kuvaus voimalaitoksen historiasta

- 1960** 1-yksikkö käynnistettiin sähköntuotantoon.
- 1964** 2-yksikkö käynnistettiin sähköntuotantoon.
- 1972** 3-yksikkö käynnistettiin sähköntuotantoon.
- 1982** 3-yksikkö muutettiin lämmöntuotantoon. Höyryn- ja kaukolämmön toimitukset aloitettiin.
- 1985** Laitoksen lämpöakku otettiin käyttöön.
- 1986** 2-yksikkö muutettiin lämmöntuotantoon. 2-yksikölle valmistui uusi sähkösuodatin.
- 1990** 2-yksikön kattilan automaatio uusittiin. 2-yksikölle toteutettiin palamisilman vaiheistus typenoksidien vähentämiseksi.
- 1991** 3-yksikölle valmistui uusi sähkösuodatin.
- 1992** 2- ja 3-yksikölle valmistui uusi savupiippu ja rikinpoistolaitos.
- 1993** 1-yksikölle valmistui uusi sähkösuodatin.
- 1994** 3-yksikkö varustettiin Low-Nox-polttimilla.
- 1997** 1-yksikölle valmistui kaukolämmönvaihdin. Tuhkan kausivarasto otettiin käyttöön.
- >** Vuosittaisia investointeja laitoksen tehokkuuden parantamiseksi sekä laitteistohin että ohjausjärjestelmiin

2.1.2 Toimittajayritys

”ABB on johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka tuotteet, järjestelmät ja palvelut parantavat teollisuus- ja energiayhtiöasiakkaiden kilpailukykyä ympäristömyönteisesti.”(ABB Oy 2011)

ABB:llä on toimintaa yli 100 maassa ja Suomessa yli 40 paikkakunnalla. Vuonna 2010 yhtymällä oli henkilöstöä 124000, joista suomessa 6881. Koko yhtymän liikevaihto vuonna 2010 oli 31.589 MUSD ja EBIT 3.818 MUSD. Suomen ABB:n liikevaihto vuonna 2010 oli 2.174 MEUR ja EBIT 309 MEUR. ABB:n ydinliiketoiminta jakautuu viiteen divisioonaan, jotka koostuvat eri yksiköistä. Suomessa ABB:n organisaatio rakentuu seuraavista yksiköistä:

Sähkövoimatuotteet (Power Products):

- Sähkönjakeluautomaatio
- Muuntajat

Sähkövoimajärjestelmät (Power Systems):

- Sähkönsiirto- ja jakelujärjestelmät
- Voimantuotannon järjestelmät

Sähkökäytöt ja kappaletavara-automaatio (Discrete Automation and Motion):

- Drives
- MV Drives
- Moottorit ja generaattorit
- Robotit

Pienjännitetuotteet (Low Voltage Products):

- Pienjännitekojeet
- Pienjännitejärjestelmät
- Asennustuotteet

Prosessiautomaatio (Process Automation):

- Prosessiteollisuus
- Marine ja Turboahdit

Muut yksiköt:

- Service
- Product Support
- Kotimaan myynti
- Toiminnot ja palvelut

ABB:n pitkää historiaa Suomessa on kuvattu seuraavassa luettelussa:

1889 - Gottfrid Strömberg Ryhtyi itsenäiseksi sähkökoneyrittäjäksi.

1926 - Gottfrid Strömbergin sähköyhtiö solmi edustussopimuksen sveitsiläisen AG Brown Boveri & Cie:n kanssa yhtiön tuotteiden myynnistä Suomessa.

1928 - Asea hankki 60 % Strömbergin osakkeista.

1930 - Asea ja BBC omistivat kumpikin 28,9 % Strömbergin osakepääomasta.

1943 - Sota-aikaisen lainsäädännön myötä Asea ja BBC menettivät Strömberg-osakkuuksiaan. Omistusosuus molemmilla 14,2 %.

1962 - Asea ehdotti teknistä yhteistoimintasopimusta. Hanke kariutui.

1963 - BBC perusti oman tytäryhtiön Suomeen.

1983 - Asea ja BBC myivät Strömberg-osakkeensa Kymi Kymmene Oy:lle, joka fuusioitui Kymi-Strömberg Oy:ksi.

1987 - Strömberg Oy. Yhtiö siirtyi Asean omistukseen.

1988 - Asea ja BBC fuusioituivat. Syntyi ABB.

(ABB, 2011)

Opinnäytetyö on tehty ABB Servicen Turun yksikössä, joka toimittaa ja kehittää sopimuskumppaniensa tuotantotehokkuuden parantamiseen liittyviä ratkaisuja ja palveluita, joita täydentää monipuolinen tuotevalikoima. Servicen ydinosamista on kunnossapito, erikoiskunnossapidosta kokonaiskunnossapitoon.

2.2 Teoria

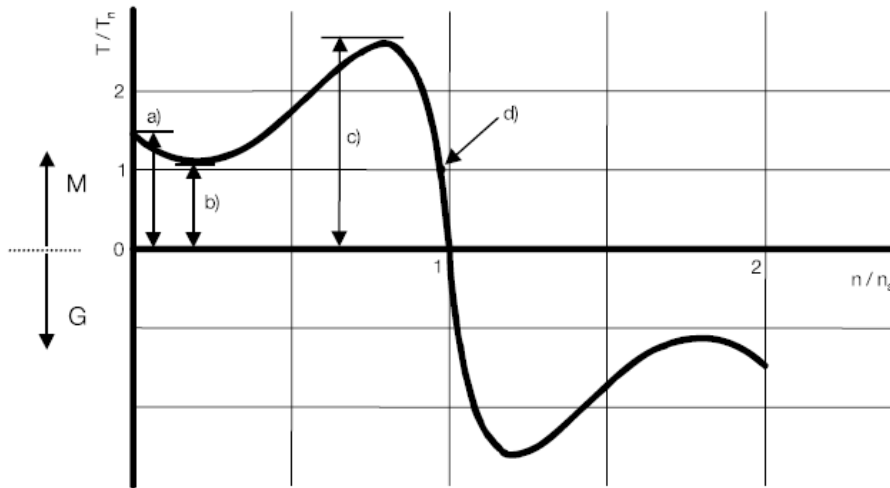
2.2.1 Induktiomoottori



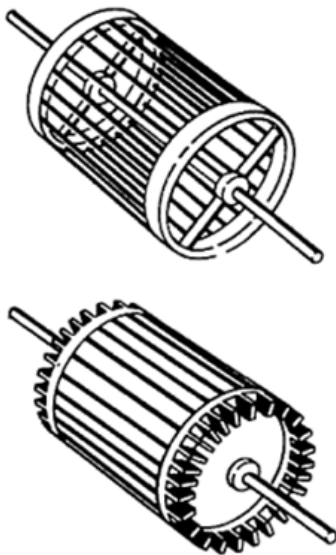
Kuvio 3. ABB:n oikosulkumoottorivalikoimaa (ABB 2011)

Tässä luvussa käsitellään voimalaitoksessa yleisesti käytettyä kolmivaihe-induktiomoottorien teoriaa. Induktiomoottori tunnetaan paremmin oikosulku- tai epätahimoottorina. Moottori toimii kolmivaiheisella vaihtosähköllä (AC). Moottorin staattori on käämitty niin, että vaihtovirta muodostaa roottorin ympärille pyörivän sähkökentän. (ABB 2011)

Induktiomoottorin roottorissa on kuvion 5 mukainen oikosuljettu häkkikäämitys. Tästä syystä moottoria kutsutaan oikosulkumoottoriksi. Roottorin pyöriessä eri tahdissa (epätahti) staattorin magneettikentän kanssa siihen indusoituu magnetointijännite. Pyörimisnopeuden ja sen seurauksena magnetointijännitteen muutos antaa suoraan verkkoon kytketyille (DOL) moottorille kuviossa 4 esitetyn momentin. Kuormittamaton moottori pyörii lähes tahtinopeudella. Nimelliskuormituksella moottori pyörii kilpiarvossa ilmoitettua, jättämän verran pienempää nimellisnopeutta. Moottoria voidaan kuormittaa lämpenemän rajoissa myös nimellismomenttia suuremmalla momentilla. (ABB 2011)



Kuvio 4. DOL-oikosulkumoottorin tyypillinen momenttikäyrä. a) käynnistysmomentti, b) minimimomentti, c) maksimimomentti (kippermomentti), d) nimellismomentti nimellisnopeudella. (ABB 2001)



Kuvio 5. Induktiomoottorin häkkikäämitty roottori (Bdmizan 2011)

Moottorin tahtinopeus (n_s) voidaan laskea kaavalla 1:

$$n_s = 60 \cdot \frac{f}{p} \quad (1)$$

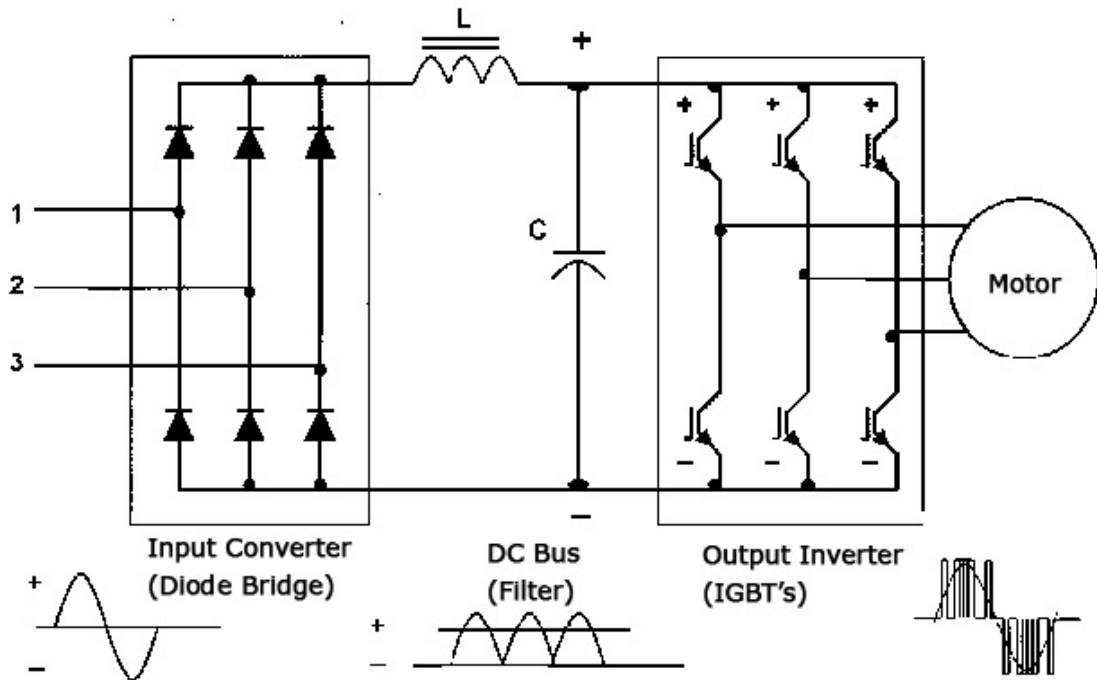
Jossa f on taajuus ja p on napapariluku.

2.2.2 Taajuusmuuttaja



Kuvio 6. ABB:n taajuusmuuttajavalikoimaa (2011)

Taajuusmuuttajaa käytetään sähkömoottorien pyörimisnopeuden muuttamiseen. Taajuusmuuttajalla muutetaan moottorille syötettävää taajuutta ja jännitettä. Tavallinen taajuusmuuttaja rakentuu kuviossa 7 esitellyistä osista. Tasasuuntaussilta muuttaa vaihtojännitteen tasajännitteeksi välipiiriin. Välipiirin kondensaattori tasaa jännitteen rippe-
liä. Vaihtosuuntaajaosa muuttaa tasajännitteen halutun taajuiseksi ja tasoiseksi vaihtojännitteeksi. (ABB 2011)



Kuvio 7. Taajuusmuuttajan yksinkertaistettu piirikaavio (CTi Automation).

Taajuusmuuttajissa on käytössä kolme säätötapaa; skalaarisäätö, vektorisäätö ja DTC. Skalaarisäätö on yksinkertaisin säätötapa, jossa säädetään vain jännitteen ja taajuuden arvoja. Säätötapa soveltuu hyvin yksinkertaisiin sovelluksiin, kuten pumppuihin, puhaltimiin ja kuljettimiin. Vektorisäädössä säädetään erikseen moottorin käämivuota ja momenttia. Säätötapa tarvitsee nopeustiedon moottoriin asennetulta anturilta. Vektorisäätö soveltuu hyvin kohteisiin jossa tarvitaan tarkkaa nopeudensäätöä. DTC-tekniikalla säätö voidaan toteuttaa ilman takaisinkytkentää. Tekniikka hyödyntää kehittyneitä matemaattisia malleja moottorin toimintaperiaatteista. Tämän ansiosta momenttivaste, vasteajat ja nopeustarkkuus on verrattavissa takaisinkytkettyyn käyttöön (ABB 2011).

Taajuusmuuttajaa voidaan käyttää myös moottorin jarruttamiseen, jos taajuusmuuttaja on varustettu jarruvastuksella tai IGBT-vaihtosuuntaussillalla. Jarrutettaessa moottori toimii generaattorina pyrkien nostamaan välipiirin jännitettä. Kytkemällä vastus välipiiriin jarrukatkojan kautta voidaan muuttaa jarruttaessa muodostuva energia lämmöksi. IGBT-sillan avulla jarruttaessa muodostuva syötetään takaisin verkkoon ja voidaan käyttää hyödyksi muissa sähkölaitteissa. (ABB 2011)

ABB:n valmistamissa taajuusmuuttajissa käytetään IGBT-vaihtosuuntaajia. Näillä komponenteilla päästään nopeisiin kytkentäaikoihin, mutta asettavat myös moottoreille tiet-

tyjä vaatimuksia. Pienitehoisissa (<100kW) 400V:n oikosulkumoottoreissa riittää va-
kioeristys, mutta suuret moottorit pitää tarvittaessa varustaa vahvennetulla staattorieris-
tyksellä, eristetyllä N-pään laakerilla, taajuusmuuttaja vastaavasti dU/dt-suotimella tai
common mode -suotimella. Seuraavassa taulukossa on esitetty tarkemmin ABB:n ACS
800-7 taajuusmuuttajakäytön asettamia vaatimuksia oikosulkumoottoreille. (ABB
2011)

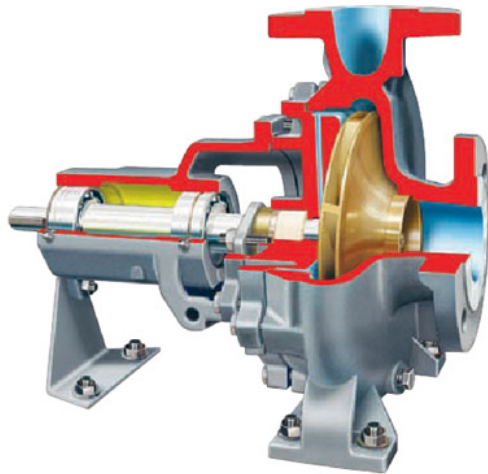
Taulukko 1. ABB:n ACS 800-7 taajuusmuuttajakäytön asettamat vaatimukset oikosul-
kumoottoreille (ABB 2007)

Valmistaja	Moottorityyppi	Verkon nimellisjännite (AC-verkkajännite)	Vaatimukset			
			Moottorin eristystaso	ABB:n du/dt-suodin, N-päässä eristetty laakeri ja ABB:n common mode -suodin		
				$P_N < 100 \text{ kW}$ ja runkokoko < IEC 315	$100 \text{ kW} \leq P_N < 350 \text{ kW}$ tai runkokoko \geq IEC 315	$P_N \geq 350 \text{ kW}$ tai runkokoko \geq IEC 400
A B B	Lankakäämityt M2_ ja M3_	$U_N \leq 500 \text{ V}$	Vakio	-	+ N	+ N + CMF
		$500 \text{ V} < U_N \leq 600 \text{ V}$	Vakio	+ du/dt	+ du/dt + N	+ du/dt + N + CMF
			tai			
		Vahvistettu	-	+ N	+ N + CMF	
	$600 \text{ V} < U_N \leq 690 \text{ V}$	Vahvistettu	+ du/dt	+ du/dt + N	+ du/dt + N + CMF	
	Muotokupari- käämityt HX_ ja AM_	$380 \text{ V} < U_N \leq 690 \text{ V}$	Vakio	n.a.	+ N + CMF	$P_N < 500 \text{ kW}$: + N + CMF $P_N \geq 500 \text{ kW}$: + N + CMF + du/dt
Vanhat* muotokupari- käämityt HX_ ja modulaari	$380 \text{ V} < U_N \leq 690 \text{ V}$	Tarkista moottorin valmistajalta.	+ du/dt, yli 500 V jännitteellä + N + CMF			
Lankakäämityt HX_ ja AM_ **	$0 \text{ V} < U_N \leq 500 \text{ V}$	Pyörölan- käämitys	+ N + CMF			
	$500 \text{ V} < U_N \leq 690 \text{ V}$		+ du/dt + N + CMF			
N O N - A B B	Lankakäämityt ja muotokupari- käämityt	$U_N \leq 420 \text{ V}$	Vakio: $\hat{U}_{LL} = 1300 \text{ V}$	-	+ N tai CMF	+ N + CMF
		$420 \text{ V} < U_N \leq 500 \text{ V}$	Vakio: $\hat{U}_{LL} = 1300 \text{ V}$	+ du/dt	+ du/dt + N	+ du/dt + N + CMF
			tai		+ du/dt + CMF	
			Vahvistettu: $\hat{U}_{LL} = 1800 \text{ V}, 0,2$ mikrosekunnin nousuaika	-	+ N tai CMF	+ N + CMF
			tai			
		$500 \text{ V} < U_N \leq 600 \text{ V}$	Vahvistettu: $\hat{U}_{LL} = 1800 \text{ V}$	+ du/dt	+ du/dt + N	+ du/dt + N + CMF
			tai		+ du/dt + CMF	
			Vahvistettu: $\hat{U}_{LL} = 1800 \text{ V}$	-	+ N tai CMF	+ N + CMF
			tai			
		$600 \text{ V} < U_N \leq 690 \text{ V}$	Vahvistettu: $\hat{U}_{LL} = 1800 \text{ V}$	+ du/dt	+ du/dt + N	+ du/dt + N + CMF
Vahvistettu: $\hat{U}_{LL} = 2000 \text{ V}, 0,3$ mikrosekunnin nousuaika ***	-		N + CMF	N + CMF		

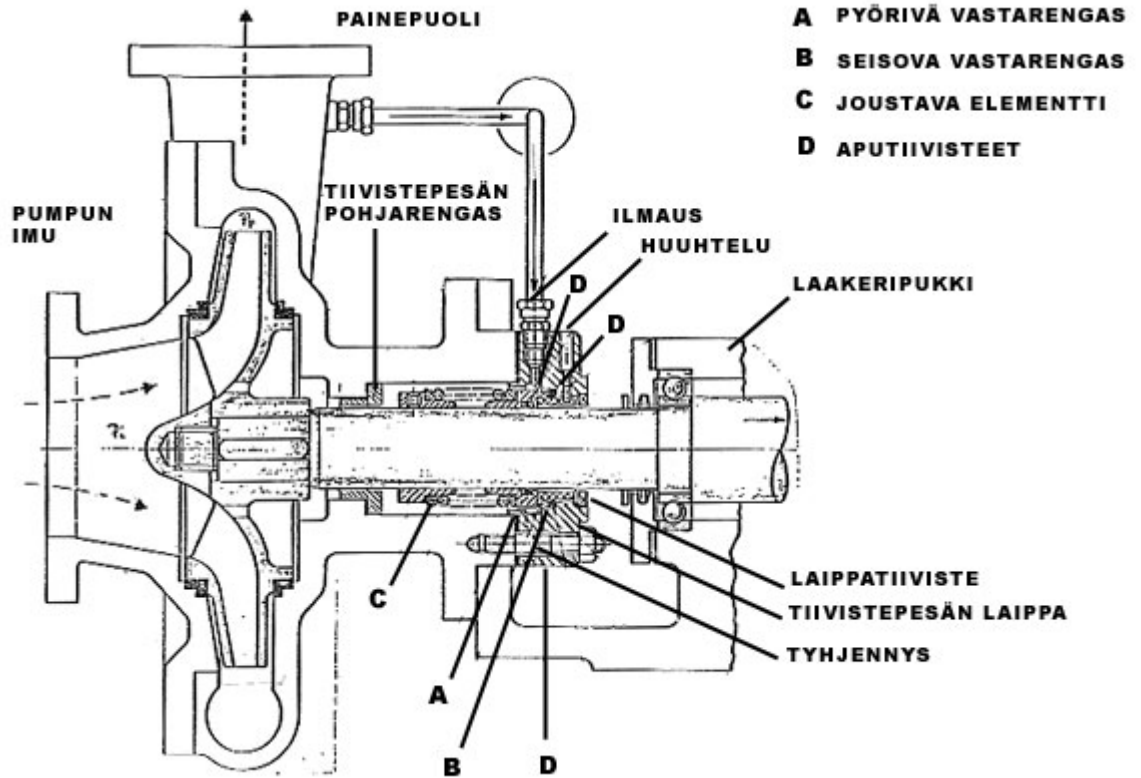
Taajuusmuuttajia käytetään useissa eri kohteissa, kuten pumpuissa, puhaltimissa, hisseissä, tuulivoimaloissa, laivojen propulsiojärjestelmissä ja lukuisissa muissa teollisuuden kohteissa. Hintojen laskettua taajuusmuuttajat ovat yleistyneet myös kiinteistöautomaatiojärjestelmissä. (ABB 2011)

2.2.3 Keskipakopumppu ja säätötavat

Keskipakopumppu on yleisin pumpputyyppeistä teollisuuskäytössä. Pumpun tärkeimmät osat ovat pumpun pesä ja juoksupyörä. Neste syötetään pumpun keskellä olevaan imuaukkoon, josta juoksupyörän pyöriäsiirtää nesteen säteen suuntaisesti painepuolen poistoaukkoon. Juoksupyörän kokoa muuttamalla saadaan muutettua pumpun QH-käyrää halutun laiseksi. (ABB 2011)



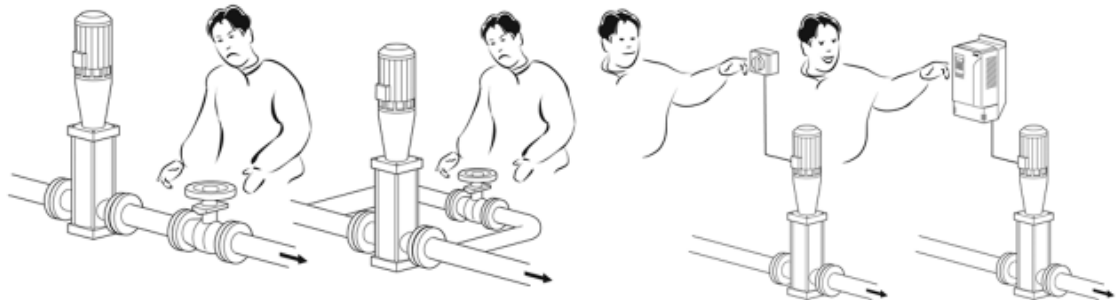
Kuvio 8. Keskipakopumpun rakenne (AxFlow)



Kuvio 9. Keskipakopumpun rakenne (Uudenmaan kemian alan virtuaalikoulu)

Pumppuja voidaan säätää usealla eri tavalla:

- Kuristamalla.
- Takaisinkiertoa muuttamalla.
- On/off-säädöllä.
- Pyörimisnopeutta muuttamalla.



Kuvio 10. Kuristus-, takaisinkierro-, on/off- ja VSD-säädön havainnollistaminen (ABB 2006).

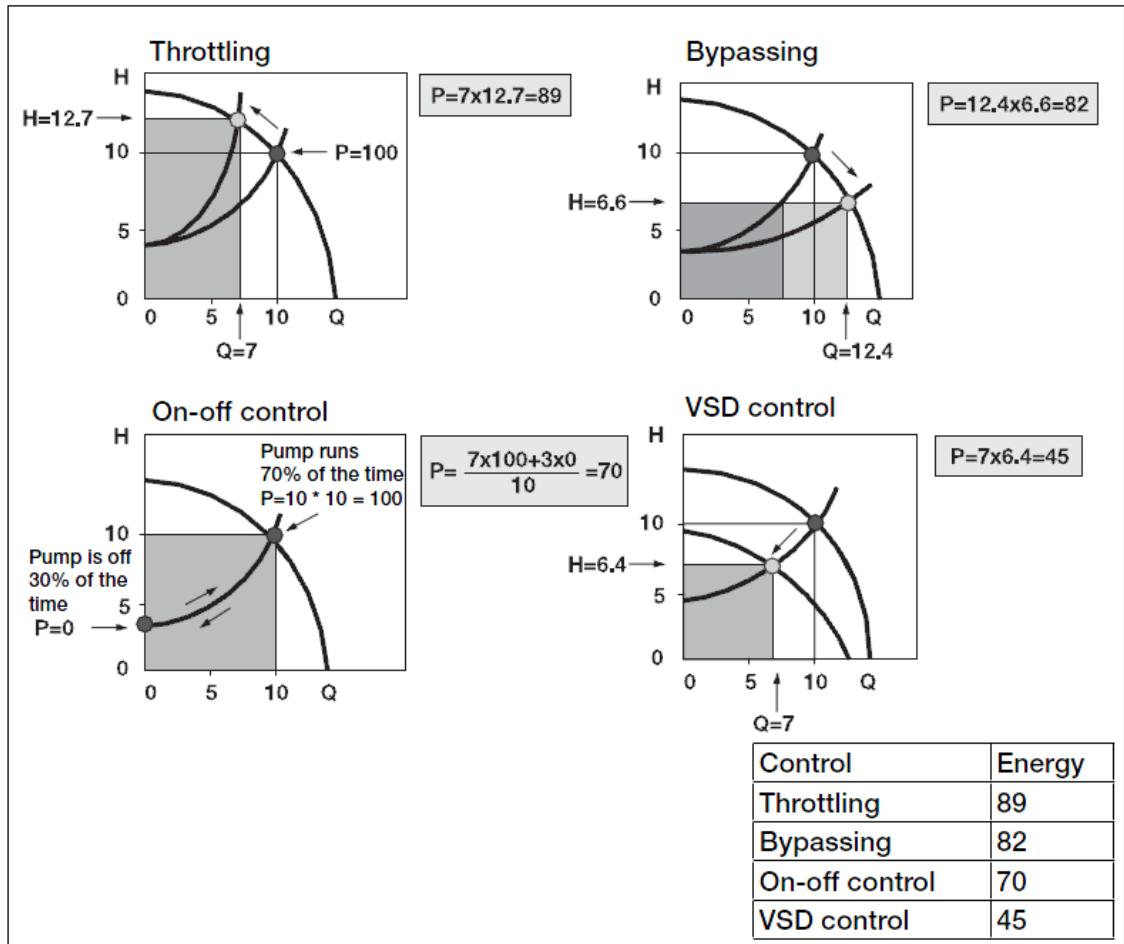
Kuristussäätö on vanhoissa laitoksissa yleisin. Pumpun virtausta säädetään kuristamalla, jolloin virtausvastus kasvaa. Mikäli kuristusta ei tarvita usein tai virtausta rajoitetaan vain hyvin vähän voi kuristussäätö olla taloudellinen säätötapa. Jos virtausta joudutaan kuristamaan huomattavasti, niin pumppauksen kokonaishyötysuhde on alhainen ja energiatehokkuuden kannalta on kannattavaa harkita muita säätötapoja. (ABB 2011)

Takaisinkirtossäätö on hyötysuhteeltaan samaa tasoa kuin kuristussäätö. Ohivirtauksella kierrätetään osa nesteestä takaisin pumpulle ja näin saadaan haluttu virtaus ja paine. Ohivirtauksen toteuttaminen vaatii enemmän työtä ja materiaaleja, kuin kuristussäätö. Jos nestettä joudutaan kierrättämään paljon, on vaarana nesteen kuumeneminen. Kuumenemista voidaan ehkäistä kierrättämällä neste suureen säiliöön. Ylimääräisten putkijonon rakentaminen nostaa hankintakustannuksia. (ABB 2011)

On/off-säätöä käytetään kohteissa joissa pidetään säiliön pinnankorkeus tiettyjen rajojen sisällä. Varastoitavalle nesteelle tarvitaan aina säiliö. Pumppu käy aina parhaalla hyötysuhteella, mutta virtausta kuristaa putkisto ja säiliön korkeuden muodostama vastapaine. Koska nestettä pumpataan suurella virtauksella varastoon putkisto muodostaa ylimääräistä virtausvastusta ja vastapainetta. Tästä johtuen on energiatehokkaampaa käyttää nopeussäätöä. On/off-säätöä voidaan käyttää vain, jos nestettä ei tarvitse paineistaa, koska neste valuu säiliöstä omalla paineellaan. (ABB 2011)

Pyörimisnopeussäätö on säätötavoista energiatehokkain, vaikka pyörimisnopeuden alentaminen laskee pumpun hyötysuhdetta. Neste virtaa aina halutulla nopeudella. Tästä johtuen ylimääräistä energiaa ei kulu kuristamiseen tai putkistoiden muodostamaan vastapaineeseen suurilla virtausnopeuksilla. Hankintakustannuksiltaan pyörimisnopeussäätö on kallein, mutta hyvän energiatehokkuuden ansiosta takaisinmaksuaika voi olla hyvin lyhyt. (ABB 2011)

Pyörimisnopeuden ja tehon pienentämisellä on myös positiivinen vaikutus moottorin ja pumpun elinkaareen. Pienemmän tehon ja pyörimisnopeuden ansiosta moottorin ja pumpun laakerit ja tiivisteet joutuvat pienemmälle rasitukselle ja huollon tarve vähenee. Alentuneella teholla moottorin tuottama hukkalämpö vähenee. Tällä on suuri vaikutus moottorin käämieristeiden ja laakerien elinikään. Kuviossa 11 on verrattu eri säätötapojen energiatehokkuutta. (ABB 2011)



Kuvio 11. Nesteen virtauksen säätötapojen vertailu (ABB 2006).

Pumpun tarvitsema teho (P) voidaan laskea kaavalla 2. Mitä vähemmän pumpun tarvitsee tuottaa virtausta tai painetta, sitä vähemmän se tarvitsee tehoa.

$$P = Q \cdot H \quad (2)$$

Jossa Q on virtaus ja H on nostokorkeus.

Esimerkissä pumpun nimellistoimintapiste ilman säätöä on $H=10$, $Q=10$. Kun käyttäjä haluaa säätää virtauksen vakioarvoon $Q=7$, tämä onnistuu neljällä säätötavalla, joista esimerkin laskelmien mukaan energiatehokkain on pyörimisnopeuden muuttaminen.

2.2.4 Sähköteho ja hyötysuhde

Moottorin hyötysuhdetta (η) laskettaessa täytyy tietää moottorin verkosta ottama pätöteho (P) ja akselilta antama mekaaninen teho (P_m). Loisteho (Q) ei vaikuta moottorin hyötysuhteeseen, koska se voidaan aina kompensoida erillisillä laitteistoilla. Kolmivaihemoottorin pätöteho (P) voidaan laskea kaavalla 3. (ABB 2011)

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (3)$$

jossa P on pätöteho, U on pääjännite, I on virta ja $\cos \varphi$ on tehokerroin.

Moottorin mekaaninen teho voidaan laskea kaavalla 4, kun tiedetään moottorin vääntömomentti tietyllä kierrosnopeudella.

$$P_m = T \cdot \omega = T \cdot 2 \cdot \pi \cdot f = T \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} \quad (4)$$

jossa T on moottorin momentti, ω on kulmataajuus, f on taajuus ja n on pyörimisnopeus.

Edellisten kaavojen avulla voidaan laskea moottorin hyötysuhde kaavalla 5.

$$\eta = \frac{P_m}{P} \quad (5)$$

2.2.5 Sähkömoottorien hyötysuhdeluokitukset

Uusi sähkömoottorien hyötysuhdeluokituksia koskeva standardi IEC 60034-30 hyväksyttiin syyskuussa 2008. Tällä hetkellä standardi määrittää neljä hyötysuhdeluokkaa. IE4-luokan moottorien saatavuus on tällä hetkellä hyvin rajoitettua. Standardi on maailman laajuinen yhdistäen vanhat alueelliset standardit yhdeksi. Standardiin kuuluu 2-, 4- ja 6-napaiset lv-moottorit, joiden tehoalue on 0,75 - 375 kW ja taajuus 50- tai 60Hz. (ABB, Euroopan komissio, Motiva)

IE-hyötysuhdeluokitukset ovat:

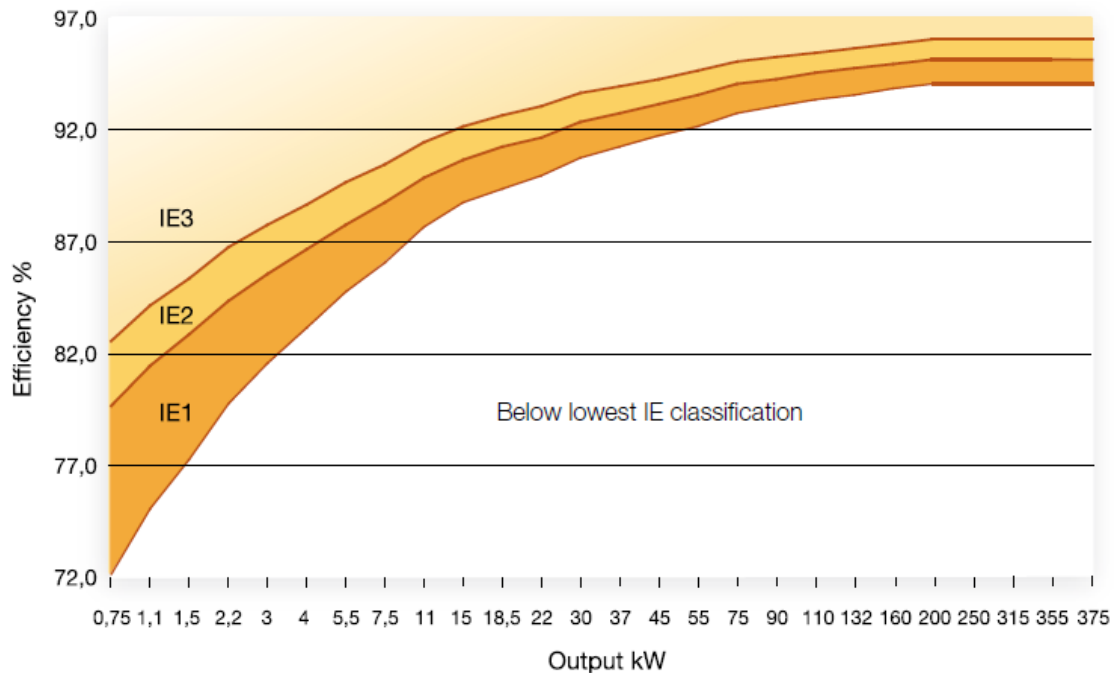
- IE1, Standard efficiency.
- IE2, High efficiency.
- IE3, Premium efficiency.
- IE4, Super premium efficiency.

Seuraavassa taulukossa on esitetty eri luokkien vähimmäishyötysuhteet tehon, taajuuden ja napojen mukaan. Taulukosta voidaan lukea, että esimerkiksi 18,5kW, 50Hz, 4-napaisen moottorin vähimmäishyötysuhde IE3-luokassa on 92,6 %.(ABB 2011)

Taulukko 2. IEC 60034-30 standardin mukaiset hyötysuhdeluokat 1v AC-moottoreille (ABB 2011)

kW	HP	IE-1 - Standard efficiency						IE2 - High efficiency						IE3 - Premium efficiency					
		2 pole		4 pole		6 pole		2 pole		4 pole		6 pole		2 pole		4 pole		6 pole	
		50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
0.75	1	72.1	77.0	72.1	78.0	70.0	73.0	77.4	75.5	79.6	82.5	75.9	80.0	80.7	77.0	82.5	85.5	78.9	82.5
1.1	1.5	75.0	78.5	75.0	79.0	72.9	75.0	79.6	82.5	81.4	84.0	78.1	85.5	82.7	84.0	84.1	86.5	81.0	87.5
1.5	2	77.2	81.0	77.2	81.5	75.2	77.0	81.3	84.0	82.8	84.0	79.8	86.5	84.2	85.5	85.3	86.5	82.5	88.5
2.2	3	79.7	81.5	79.7	83.0	77.7	78.5	83.2	85.5	84.3	87.5	81.8	87.5	85.9	86.5	86.7	89.5	84.3	89.5
3		81.5	-	81.5	-	79.7	-	84.6	-	85.5	-	83.3	-	87.1	-	87.7	-	85.6	-
3.7	5	-	84.5	-	85.0	-	83.5	-	87.5	-	87.5	-	87.5	-	88.5	-	89.5	-	89.5
4		83.1	-	83.1	-	81.4	-	85.8	-	86.6	-	84.6	-	88.1	-	88.6	-	86.8	-
5.5	7.5	84.7	86.0	84.7	87.0	83.1	85.0	87.0	88.5	87.7	89.5	86.0	89.5	89.2	89.5	89.6	91.7	88.0	91.0
7.5	10	86.0	87.5	86.0	87.5	84.7	86.0	88.1	89.5	88.7	89.5	87.2	89.5	90.1	90.2	90.4	91.7	89.1	91.0
11	15	87.6	87.5	87.6	88.5	86.4	89.0	89.4	90.2	89.8	91.0	88.7	90.2	91.2	91.0	91.4	92.4	90.3	91.7
15	20	88.7	88.5	88.7	89.5	87.7	89.5	90.3	90.2	90.6	91.0	89.7	90.2	91.9	91.0	92.1	93.0	91.2	91.7
18.5	25	89.3	89.5	89.3	90.5	88.6	90.2	90.9	91.0	91.2	92.4	90.4	91.7	92.4	91.7	92.6	93.6	91.7	93.0
22	30	89.9	89.5	89.9	91.0	89.2	91.0	91.3	91.0	91.6	92.4	90.9	91.7	92.7	91.7	93.0	93.6	92.2	93.0
30	40	90.7	90.2	90.7	91.7	90.2	91.7	92.0	91.7	92.3	93.0	91.7	93.0	93.3	92.4	93.6	94.1	92.9	94.1
37	50	91.2	91.5	91.2	92.4	90.8	91.7	92.5	92.4	92.7	93.0	92.2	93.0	93.7	93.0	93.9	94.5	93.3	94.1
45	60	91.7	91.7	91.7	93.0	91.4	91.7	92.9	93.0	93.1	93.6	92.7	93.6	94.0	93.6	94.2	95.0	93.7	94.5
55	75	92.1	92.4	92.1	93.0	91.9	92.1	93.2	93.0	93.5	94.1	93.1	93.6	94.3	93.6	94.6	95.4	94.1	94.5
75	100	92.7	93.0	92.7	93.2	92.6	93.0	93.8	93.6	94.0	94.5	93.7	94.1	94.7	94.1	95.0	95.4	94.6	95.0
90	125	93.0	93.0	93.0	93.2	92.9	93.0	94.1	94.5	94.2	94.5	94.0	94.1	95.0	95.0	95.2	95.4	94.9	95.0
110	150	93.3	93.0	93.3	93.5	93.3	94.1	94.3	94.5	94.5	95.0	94.3	95.0	95.2	95.0	95.4	95.8	95.1	95.8
132		93.5	-	93.5	-	93.5	-	94.6	-	94.7	-	94.6	-	95.4	-	95.6	-	95.4	-
150	200	-	94.1	-	94.5	-	94.1	-	95.0	-	95.0	-	95.0	-	95.4	-	96.2	-	95.8
160		93.8	-	93.8	-	93.8	-	94.8	-	94.9	-	94.8	-	95.6	-	95.8	-	95.6	-
185	250	-	94.1	-	94.5	-	94.1	-	95.4	-	95.4	-	95.0	-	95.8	-	96.2	-	95.8
200		94.0	-	94.0	-	94.0	-	95.0	-	95.1	-	95.0	-	95.8	-	96.0	-	95.8	-
220	300	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
250	350	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
300	400	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
330	450	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8
375	500	94.0	94.1	94.0	94.5	94.0	94.1	95.0	95.4	95.1	95.4	95.0	95.0	95.8	95.8	96.0	96.2	95.8	95.8

Kuvio 12 havainnollistaa, miten luokat eroavat toisistaan.



Kuvio 12. IE- hyötysuhdeluokat 4-napaisilla moottoreilla (ABB Oyj, 2011)

2.2.6 EU:n vähimmäisenergiatehokkuuden standardi

Euroopan komission asettama Direktiivi 2005/32/EC asettaa vaatimukset euroopassa myytävien uusien moottorien vähimmäishyötysuhteelle. Uusiin hyötysuhdeluokkiin siirrytään vaiheittain. 16.6.2011 alkaen kaikkien moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE2. 1.1.2015 alkaen tehoalueen 7.5 – 375 kW moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE3 tai hyötysuhdeluokan IE2 moottori täytyy asentaa taajuusmuuttajakäyttöisenä. 1.1.2017 alkaen tehoalueen 0.75 – 375 kW moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE3 tai hyötysuhdeluokan IE2 moottori täytyy asentaa taajuusmuuttajakäyttöisenä. (ABB, Euroopan komissio, Motiva)

2.2.7 ABB:n tuotteiden elinkaarenhallintamalli

ABB:n tuotteiden elinkaari on jaettu kuvion 15 mukaisesti neljään vaiheeseen, Active, Classic, Limited ja Obsolete.



Kuvio 15. Elinkaaren vaiheet. (ABB 2011)

Active vaiheessa laite on sarjatuotannossa ja tuotteelle on saatavissa täysi tuotetuki. Classic vaiheessa laitteen sarjatuotanto on päättynyt, mutta laitetta on vielä mahdollista valmistaa. Tuotteelle on saatavilla edelleen täysi tuotetuki. Limited vaiheessa tuotteen valmistus on päättynyt ja varaosien ja kunnossapitopalvelujen saatavuus on rajoitettua. Tässä vaiheessa ABB suosittelee tuotteen vaihtamista uuteen. Obsolete vaiheessa laitteen kunnossapito ei aina ole teknisistä tai kustannussyistä perusteltua. Varaosia on saatavilla niin pitkään, kuin niitä on ABB:n varastossa tai toimittajilla. (ABB 2011)

Täyden tuotetuen varmistamiseksi on suositeltavaa päivittää vanha laite ennen Limited-vaihetta. Kriittisissä prosessin osissa on tärkeää varmistaa laitteen täysi elinkaaripalvelu.



Kuvio 16. Täysin tuetut elinkaaripalvelut. (ABB 2011)

Seuraavassa taulukossa on esitelty moottorien elinkaarisuunnitelmaa vuodelta 2009. Taulukkoon on lueteltu kaikki moottorit, jotka ovat Active, Classic tai Limited tilassa. Esimerkkinä ovat M2BA200-250-mallit, joiden sarjatuotanto on päättynyt vuonna 2003. Taulukosta on luettavissa, että sen Classic-vaihe jatkui ainakin vuoden 2010 loppuun ja Limited-vaihe 2013 loppuun. Nämä ovat suunniteltuja aikoja ja voivat muuttua seuraavien vuosien taulukoissa. (ABB 2011)

Taulukko 3. Osa ABB:n lv AC moottorien elinkaarisuunnitelmasta (ABB Oyj, 2009)

Lifecycle Phase Status			Legend: A=Active, C=Classic, L=Limited, O=Obsolete									
Product Branch	Product Group	Global Support Unit	End of Volume Production	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
	CAST IRON MOTORS											
LV AC MOTORS	HXR- Motors	FIMOT	1994	L	O	O	O	O	O	O	O	O
LV AC MOTORS	HXUR & HXUM Motors	FIMOT	1990	L	O	O	O	O	O	O	O	O
LV AC MOTORS	M2BA200-250	FIMOT	2003	C	C	L	L	L	O	O	O	O

3 VOIMALAITOKSEN SÄHKÖLAITEKARTOITUS

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan sähkölaitetekartoitusta yleisellä tasolla, eikä yksilöidä asiakkaan laitteita. Yksityiskohtaiset tiedot kartoituksesta ja voimalaitoksen sähkölaitteiden tilasta toimitetaan asiakkaalle erillisillä kartoitustaulukoilla.

3.1 Sähkölaitteiden kartoitus

Kartoituksella tarkoitetaan sellaista selvitystyötä, missä kohteena olevan laitoksen tai ympäristön laitteet dokumentoidaan määrällisesti ja laadullisesti siten, että tuotetun materiaalin avulla on arvioitavissa riittävän luotettavasti laitteiston nykytilaa ja käyttövarmuutta sekä pystytään määrittelemään sähkölaitteen tai -laitteiston elinkaarta ja siihen liittyviä investointisuunnitelmia sekä kehittämään tarkoituksenmukaista kunnossapitoa ja tuotetukea.

3.1.1 Laitekartoitus

Laitekartoitus käsittää laitteiden kartoitusdokumentin luonnin tilaajan toimittaman materiaalin tai kenttätyönä tehdyn identifioinnin perusteella. Tilaajan tunnisteilla dokumentoituna laitelistat voivat sisältää myös tietoja laitteen elinkaaren tilasta ABB:n tuotteiden elinkaarenhallintamallin mukaisesti tai muuta lähtötietoihin perustuvaa informaatiota esimerkiksi varaosatuesta. Työ on toteutettavissa pelkästään kirjallisena selvityksenä, mistä tilaaja saa kirjallisen raportin.

3.1.2 Kriittisyyskartoitus

Kriittisyyskartoitus käsittää sähkölaitteen kriittisyyden arvioinnin käytön ja kunnossapidon kannalta. Kriittisyys perustuu laitekartoituksen yhteydessä hankittuihin laitetietoihin ja kartoitus tehdään yhdessä tilaajan kanssa etukäteen sovittujen mallien mukaisesti. Laitteen tai laitteiston kriittisyys on määriteltävissä eri perustein kuten esimerkiksi seisokki, aika, kapasiteetti, ympäristö, turvallisuus ja energia.

3.1.3 Kuntokartoitus

Kuntokartoitus perustuu laitekartoitustason tietoihin, missä tietoja täydennetään sähkölaitteen tai laitteiston käyttöolosuhde-, käyttö- ja kunnossapitotietojen osalta. Kartoitus tehdään kenttätyönä laitteen käyttöpaikalla normaaleissa kuormitus- tai käyttöolosuhteissa. Arvioinnit perustuvat pääosin aistinvaraisiin havaintoihin, mutta prosessia häiritsemättömät ja turvallisesti toteutettavat mittaukset voidaan sisällyttää kartoitukseen.

Kuntokartoituksen sisältö on määritelty palvelutuotteena ja se voidaan tarkentaa kartoituksen tarjousvaiheessa erikseen. Lisäksi kartoituksen yhteydessä voidaan kerätä sellaista tietoa, mitä toimittaja voi hyödyntää kunnossapidon ja palvelutuotteiden omassa kehitystyössä. Kartoitus ei sisällä huolto- tai korjaustoimenpiteitä eikä myöskään laitteiden tai järjestelmien toimintakokeita. Kartoitustulokset raportoidaan aina kirjallisesti.

3.1.4 Tilaajan tietojärjestelmä

Fortumilla on käytössään Maximo tietojärjestelmä, jonka avulla voidaan hallita yrityksen laitekantaa, kunnossapitotietoja ja varaosajärjestelmää. Laitteista järjestelmään oli pääsääntöisesti tallennettu seuraavat tiedot:

- Laitteen numero
- Laitteen kuvaus
- Huone ja mahdolliset koordinaatit
- Laitteen kilpiarvot
- Laitteeseen liittyvien piirikaavioiden ja sähkökuvien numerot
- Keskus- sulake- ja ohjaustiedot

Järjestelmästä saadut tiedot toimivat pohjatietona laitepaikkakartoituksessa. Kartoitusta tehdessä havaitsin osan järjestelmän tiedoista olevan vanhentunutta. Laitteita uusittaessa järjestelmää ei kaikissa tapauksissa ollut päivitetty ajan tasalle. Kartoituksen avulla voidaan korjata virheelliset ja täydentää puutteelliset tiedot järjestelmään.

3.2 Sähkömoottorien kartoitus

Kartoituksen tiedot kerättiin yhteen taulukkoon. Maximosta saadut tiedot toimivat kartoituksen pohjatietona. Kartoittamalla yksitellen jokainen moottori varmistetaan tietojen oikeellisuus. Samalla havainnoidaan moottorin käyttöolosuhteita, kuten lämpötilat, kosteudet ja moottorin likaantuminen.

3.2.1 Havainnot

Tietojärjestelmän mukaan laitoksessa on noin 150 moottoria. Laitokseen tehtyjen muutosten vuoksi osa moottoreista oli poistunut käytöstä ja joitakin uusia tullut lisää. Laitoksen iän vuoksi moottoreita on vuosien saatossa jouduttu myös uusimaan eri kohteisiin. Osa moottoreista on edelleen alkuperäisiä ja valmistajan tuotetuen kannalta elinkaarensa lopussa.

Moottorien käyttöolosuhteet vaihtelivat huomattavasti. Osa moottoreista sijaitsi ulkona, jossa ne ovat alttiina lämpötila- ja kosteusmuutoksille. Hiilivoimalaitoksessa on myös ATEX-luokiteltuja tiloja, jonne asennettavilta moottoreilta vaaditaan tilan luokitusta vastaava hyväksyntä. Käsiteltävän hiiliraaka-aineen pölyn takia moottoreiden päälle voi kertyä jäähdytysrivat tukkiva pölykerros. Hiilipöly heikentää moottorin jäähdytystä ja toimii lämmöneristeenä, jolloin moottori voi käydä normaalia kuumempänä ja moottorin elinikä lyhenee.

Moottoreiden uusimista voidaan perustella monilla eri syillä. Vanhimmissa moottoreissa käytetty eristystekniikka ei vastaa enää tämän päivän tekniikkaa. Uusien moottoreiden staattorikäänitys tyhjiöhartsataan, jonka ansiosta käänitys ei ime itseensä niin paljon kosteutta. Moottorin käyttöolosuhteista ja -tavasta riippuen tyhjiöhartsaus voi pidentää moottorin käyttöikää huomattavasti .

3.3 Sähkökäyttöjen kartoitus

Sähkökäyttöjen kartoitustiedot kerätään omaan taulukkoonsa. Taajuusmuuttajista voidaan laitekartoituksessa kerätä kilpitietojen lisäksi myös vikapuskurissa olevat vikakoo-

dit ja taajuusmuuttajan sisäiseltä lämpöanturilta saatu lämpötila. Samalla havainnoidaan myös taajuusmuuttajien käyttöolosuhteet.

3.3.1 Havainnot

Laitoksen taajuusmuuttajat sijaitsivat yhdessä sähkötilassa, jossa käyttöolosuhteet olivat optimaaliset. Tilan lämpötila oli viileä, pölyntymistä tai kosteutta ei ollut havaittavissa. Hyvät käyttöolosuhteet yhdistettynä säännöllisiin tarkistuksiin ja huoltoihin takaavat laitteille pitkän elinkaaren.

3.4 Sähkönjakelulaitteiden kartoitus

Sähkönjakelulaitteisiin kuuluu katkaisijat, erottimet, suojareleet ja mittamuuntajat, joiden tiedot kerättiin omaan kartoitustaulukkoon. Jakelulaitteet tarkastettiin silmämäisesti suoja poistamatta, koska ne olivat jännitteisiä.

3.4.1 Havainnot

Kennostot olivat siistejä ja suojattu asianmukaisesti. Kennoissa olevien laitteiden päälle ei ollut kertynyt merkittävästi pölyä tai muuta likaa. Katkaisijoille on suoritettu säännöllisesti huoltoja, joiden ansiosta ne ovat kestäneet pitkään. Joitakin katkaisijoita on myös uusittu vikaantumisesta johtuvista, tai muista syistä. Suurin osa katkaisijoista ja erottimista on kuitenkin Obsolete -tilassa, eli elinkaaren lopussa.

4 ENERGIATEHOKKUUSLASKELMAT

4.1 Matalahyötysuhteisten moottorien korvaaminen uusilla IE3-moottoreilla

ABB valmistaa uusia IE3-luokan moottoreita tehoalueella 7,5-355kW . Voimalaitoksessa on tällä tehoalueella käytössä yhteensä 34 moottoria, joiden yhteenlaskettu teho on 1367 kW. Osa moottoreista on uusittu ja energiatehokkaimmat moottorit kuuluvat IE2-luokkaan. IE2-luokan moottoreiden yhteen laskettu teho on n. 180kW. Suurin osa moottoreista on hyötysuhteeltaan niin alhaisia, että ne eivät ole edes IE1 luokassa, vaan jäävät sen alle.

Mikäli kaikki moottorit vaihdetaan voidaan vuodessa säästää huomattavasti energiaa. Tarkkojen laskelmien saamiseksi pitäisi selvittää jokaisen moottorin todellinen kuormitus. Lisäksi pitäisi selvittää jokaisen moottorin hyötysuhde. Kaikista vanhoista moottoreista ei kuitenkaan ole saatavilla tietoja, joten joidenkin moottorien hyötysuhde pitää arvioida vertaamalla niitä saman aikakauden muihin moottoreihin. Vanhimpien moottoreiden hyötysuhde on huomattavasti alhaisempi, kuin uusien IE3-moottorien. Laskuissa pitää ottaa myös huomioon mahdolliset kahdennetut moottorit, joissa moottorit vuorottelevat ja vastaavasti moottorien todelliset käyttötunnit. Moottorin kuluttama energia (E) voidaan laskea kaavalla 6.

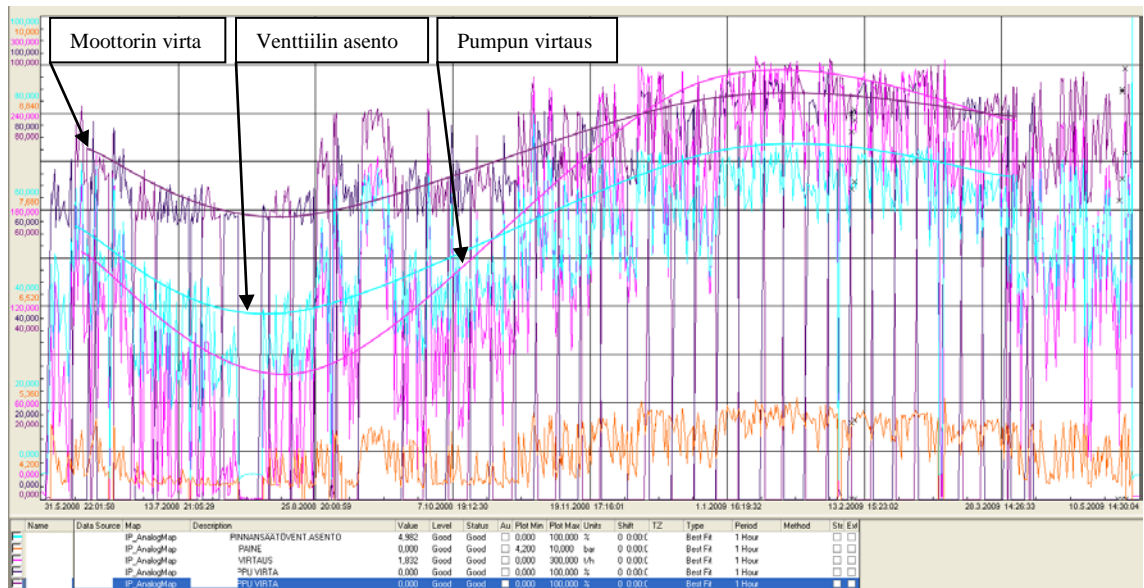
$$E = P \cdot t \tag{6}$$

jossa P on sähköteho ja t on aika.

Voimalaitoksen vuotuisiksi käyttötunneiksi voidaan arvioida mahdolliset huoltoseisokit mukaan lukien n. 7000h. Käyttämällä arvioituja hyötysuhteita ja kuormituksia sekä ottamalla huomioon kahdennetut moottorit ja todelliset käyttötunnit voidaan kaikkien moottorien yhteenlasketuksi energiansäästöpotentiaaliksi laskea n. 250MWh.

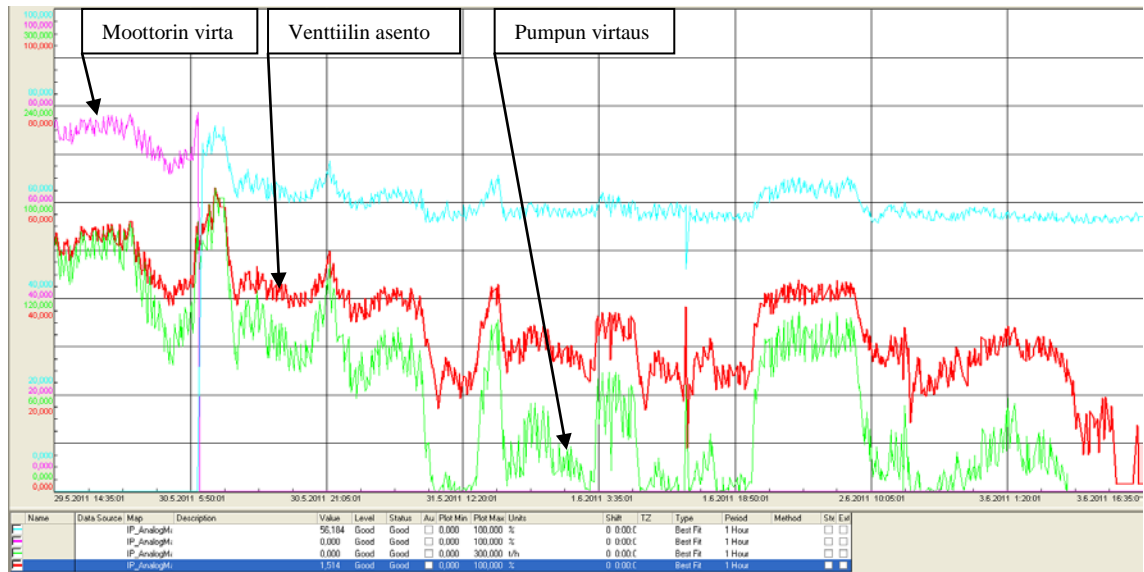
4.2 Kuristussäädetyin pumpun energiansäästöpotentiaali

Voimalaitoksessa on useita pumppuja, joissa on kuristussäätö. Kuristussäädöstä johtuen pumpun kokonaishyötysuhde jää huonoksi. Kuviossa 17 on esitetty voimalaitoksen erään pumpun virtaus, säätöventtiilin asento ja moottorin virta yhden vuoden ajalta. Kuvion perusteella talvella virtaus on ollut suurimmillaan ja kesällä hyvin pientä. Kuristussäädöstä johtuen moottori ottaa kuitenkin kesällä n. 60 % virtaa pienestä kulutuksesta huolimatta.



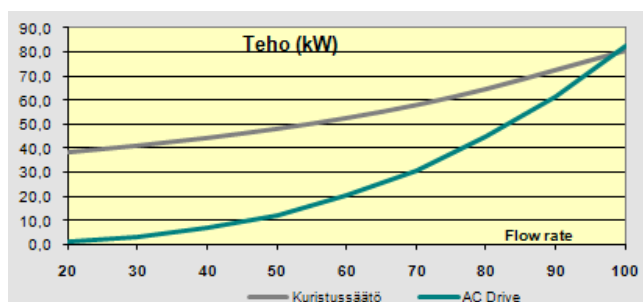
Kuvio 17. Venttiilisäätöisen pumpun virtaus, paine, säätöventtiilin asento ja moottorin virta.

Kuviossa 18 kuvataan tarkemmin hetkeä, jolloin virtaus on hyvin pientä. Hetkittäin virtaus on käynyt lähes nollassa, mutta moottorin kuluttama virta on edelleen n. 58 % suurimmasta mitatusta arvosta. On helppo havaita kuinka paljon kuristussäädetty järjestelmä todellisuudessa hukkaa energiaa. Suurimmalla virtauksella n. 270 t/h, eli n. 94 % maksimista, moottori ottaa virtaa n. 85 %. Virtauksen ollessa n. 80 t/h, eli n. 28 % moottorin kuluttaa edelleen n. 62 % maksimiarvostaan.



Kuvio 18. Venttiilisäätöisen pumpun virtaus, säätöventtiilin asento ja moottorin virta pienellä virtauksella.

Kuviossa 19 on ABB:n PumpSave 4.4 -ohjelmalla tehty kuvaaja kuristus- ja pyörimisnopeussäädettävien pumppujen teho-virtaussuhteista. Ohjelmaan on annettu pumpun kapasiteetiksi 288 t/h. Kuvaajasta on havaittavissa kuinka suuri energiansäästöpotentiaali vanhoissa venttiilisäätöisissä pumpuissa on. 50 % virtauksella pyörimisnopeussäätö kuluttaa alle puolet kuristussäädetyin pumpun tehosta.



Kuvio 19. Kuristus- ja pyörimisnopeussäädettävien pumppujen teho-virtaussuhde (ABB PumpSave 4.4)

4.3 ABB:n PumpSave-ohjelmalla tehty laskelma

Liitteessä 1 on ABB:n PumpSave-ohjelmalla tehty vertailu kuristus- ja pyörimisnopeussäädöllä olevien pumppujen energiatehokkuudesta. Esimerkiksi on otettu yksi varmennuttu pumppausjärjestelmä, jossa kahdella pumpulla pumpataan vuorotellen. Ohjelmaan on annettu Maximoon tallennetut pumpun tiedot. Virtausjakauma on arvioitu kuvion 17

perusteella, josta voidaan päätellä vuoden kulutus. Vuotuisina käyttötunteina on käytetty 7000 tuntia, jossa on otettu huomioon huoltoseisokkien aikaiset käyttökätkot. Energian hinnaksi on arvioitu 100€/MWh. Investointikustannukseksi kahdelle moottorille ja taajuusmuuttajalle, kaapeloinneille, tarvikkeille ja asennukselle arvioin n.50000€

Nykymenetelmällä ohjelma arvio energiankulutukseksi 388MWh. Taajuusmuuttajakäytöllä päivitetyn pumpun energiankulutus on alle puolet vanhasta. Annetun energian hinnan ja lasketun energiankulutuksen perusteella vuotuinen säästö on lähes 20000€ Alle kolmen vuoden takaisinmaksuaika investoinnille on voimalaitosympäristössä lyhyt ja on perusteltua päivittää säätöjärjestelmä ekologisemmaksi ja energiatehokkaammaksi.

5 YHTEENVETO

Työssä käsitelty voimalaitoksen sähkölaitekanta on pääosin hyväkuntoista, mutta osin hyvin iäkästä. Vanhat Obsolete-tilassa olevat laitteet ja koneet on suositeltavaa korvata uusilla energiatehokkailla vaihtoehdoilla, joille on saatavilla täysi tuotetuki. Joissakin kohteissa, joissa vikaantuminen ei aiheuta tuotantohäiriöitä, vanha Obsolete -tilassa oleva laite saattaa olla vielä käyttökelpoinen, eikä uuden hankinnalle ole aina löydettävissä perusteita. Jos vikaantuminen aiheuttaa tuotantohäiriöitä tai -tappiota niin laite pyritään vaihtamaan optimaalisesti ennen tällaista tapahtumaa. Laitteille on myös suoritettava säännöllisesti kunnonvalvontaa, joilla voidaan arvioida huoltojen ja korjausten tarpeellisuutta.

Energiatehokkuuden kannalta etenkin esitellyn kuristussäädettävän pumppausjärjestelmän modernisointi on taloudellisesti kannattavaa. Yksittäisten vanhojen moottorien korvaamista uusilla IE3-luokan moottoreilla voidaan perustella energian kulutuksen alenemisella ja investoinnin suhteellisen lyhyellä takaisinmaksuajalla sekä käyttövarmuuden paranemisella.

LÄHTEET

Euroopan komissio. 2009. COMMISSION REGULATION (EC) No 640/2009.

ABB Oy. 2000. TTT-käsikirja.

Luukkanen P. 2001. Diplomityö. Pumpunvalitsimet integroidussa simulointiympäristössä. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.

Varttinen S. 2004. Diplomityö. Taajuusmuuttajat voimalaitosten pumppauksissa, erityisesti syöttöveden pyörimisnopeussäädön vaikutus ruiskutusvesijärjestelmiin.

ABB Oyj. 2011. PumpSave 4.4 -ohjelma. Energiansäästöläskuri pumpuille.

ABB Oyj 2011. ABB:n intranet. Luettu 20.8.2011.

<http://fi.inside.abb.com/>

ABB Oyj. 2006. ABB Drives, Using variable speed drives (VSDs) in pump applications. Luettu 23.9.2011.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/f78dcbfe1b99a353c125715e0027f769/\\$file/applicationguide1_pumps_reva_lowres.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/f78dcbfe1b99a353c125715e0027f769/$file/applicationguide1_pumps_reva_lowres.pdf)

ABB Oyj. 2011. EU MEPS. Luettu 13.9.2011.

[http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/e0fbd33ffd99dccac12576f5003c1f55/\\$file/9AKK105072+EN+09-2009+EU_MEPS_A5_low_res.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/e0fbd33ffd99dccac12576f5003c1f55/$file/9AKK105072+EN+09-2009+EU_MEPS_A5_low_res.pdf)

ABB Oyj. 2011. IEC 60034-30 standard on efficiency classes for low voltage AC motors. Luettu 13.9.2011.

<http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK104295D4689&LanguageCode=en&DocumentPartID=&Action=Launch>

ABB Oyj. 2007. Laiteopas ACS800-07 taajuusmuuttajat. Luettu 13.9.2011.

http://www.auser.fi/tuotteet/data/attachments/ACS800_07_Laiteopas.pdf

ABB Oyj. 2011. Sähkölaitteiden kartoitukset. Luettu 20.9.2011.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot288.nsf/veritydisplay/431d71f235912370c1257829003c5c27/\\$file/abb%20sahkolaitteiden%20kartoitus%20low%20res.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot288.nsf/veritydisplay/431d71f235912370c1257829003c5c27/$file/abb%20sahkolaitteiden%20kartoitus%20low%20res.pdf)

ABB Oyj. 2009. Taajuusmuuttajat. Luettu 27.9.2011.

<http://www.pkky.fi/Resource.phx/pkky/projektit/taitaja-osaaminen/sahko.htx.i2025.pdf>

ABB Oyj. 2011. Tekninen opas nro 7, sähkökäyttöjen mitoitus. Luettu 23.9.2011.

[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/\\$file/tekninen_opasnro7.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/b11d4fe92973be93c1256d2800415027/$file/tekninen_opasnro7.pdf)

AxFlow. 2011. Keskipakopumpun kuva. Luettu 23.9.2011.

<http://www.axflow.com/fi/Group-Site-Management/Products--Services/Product-Categories/Pumput/Keskipakopumput/Flowsolve-MENME/?ref=1108#specification>

Bdmizan. 2011. Three-phase motor. Luettu 26.9.2011.

<http://bdmizan.com/THREE-PHASE%20MOTOR.html>

CTi Automation. 2011. Taajuusmuuttajan piirikaavio. Luettu 12.1.2012.

<http://www.ctiautomation.net/Mirus-FAQs.htm>

Fortum Oyj 2011. Luettu 20.8.2011.

<http://www.fortum.com/fi>

LUT. 2011. Sähkötekniikka nyt. Luettu 26.9.2011.

http://www.lut.fi/fi/technology/lutenergy/electrical_engineering/articles/sivut/default.aspx

Motiva. 2009. Energiatehokas pumppausjärjestelmä. Luettu 23.9.2011.

http://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas_pumppausj_rjestelm_.pdf

Motiva. 2010. Energiatehokkaat sähkömoottorit. Luettu 13.9.2011.

http://www.motiva.fi/files/4181/Energiatehokkaat_sahkomoottorit.pdf

Uudenmaan kemian alan virtuaalikoulu. 2011. Keskipakopumppu. Luettu 23.9.2011.
<http://www.edupoli.fi/virtuaalikoulut/kemiantekniikka/sivut/keskipakopumppu.htm>

U.S. Department of Energy's Industrial Technologies Program, the Hydraulic Institute.
2006. Improving Pumping System Performance: A Sourcebook for Industry. Luettu
23.9.2011
<http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/pump.pdf>

LIITTEET

ESIMERKKILASKU PUMPSAVE 4.4 OHJELMALLA

LIITE 1

PumpSave 4.4 Energiensäästölaskuri pumpeille

Kieli **Finnish**

Systeemitiedot

Nesteen tiheys 1 000 kg/m³ Statiinen nostokorkeus 1 m

Pumpun tiedot

Tilavuusvirta 300 m³/h Hyötysuhde 88 %
=> 83,3 l/s

Nim. nostokorkeus 78 m Maksimi nostokorkeus 78 m

Nykyinen säätömenetelmä

Kuitusäästö

Moottorin ja syötön tiedot

Syöttöjännite 400 V Moottorin teho 90 kW
380/400/415 V
78,7 kW
mukaan lukien +10% marginaali

Moottorin teho 90 kW

Moottorin hyötysuhde 90,0 %

Virtausjakauma

Vuotuiset käyttöunnit 7 000 h

0%	=	0 h	nimellisellä virtaamalla
10%	=	700 h	90% virtaamasta
20%	=	1400 h	80% virtaamasta
20%	=	1400 h	70% virtaamasta
15%	=	1050 h	60% virtaamasta
15%	=	1050 h	50% virtaamasta
5%	=	350 h	30% virtaamasta
0%	=	0 h	20% virtaamasta

Mittayksiköt

° Metric ° US

Tekijä: Keskitälo, V

Asiakas: Pumpun tunniste

Säästö AC-käyttöä ACS550

ACS550-01-180A-4

Tulokset

Säästö prosentteina 50,7 %

Vuotuinen energiankulutus nykymenetelmällä 388 MWh

Energiensäästö parametritulemalla 191 MWh

CO2 alenema 98 t

CO2 säästö 0,5 kg/kWh

Investoinnin tiedot

Valuutta EUR

Energian hinta 0,1 EUR/kWh

Investointikustannus 50 000 EUR

Korkokanta 4 %

Pitoaika 10 vuotta

Energiankulutus

Teho (kW)

Kannattavuus

Vuotuinen säästö 19 652 EUR

Takaisinmaksuaika 2,5 vuotta

Nykyarvo 109 394 EUR

Sovita kuvaruutuun

Tallenna

Tulosta

Lopeta