



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

PEMS PILOT

Ida Kylänpää

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2016
Sähkötekniikka
Automaatiotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Automaatiotekniikka

KYLÄNPÄÄ, IDA
PEMS Pilot

Opinnäytetyö 108 sivua, joista liitteitä 31 sivua
Maaliskuu 2016

Opinnäytetyön taustalla on ABB Oy:n kiinnostus laajentaa kehittämäänsä pumppujen hyötysuhteen monitorointijärjestelmän (PEMS) käyttöä Suomen markkinoille. PEMS-järjestelmä on otettu käyttöön jo muutamissa maissa, muun muassa Saksassa ja Saudi Arabiassa. Näistä referenssiprojekteista ei kuitenkaan ollut vielä riittävästi tietoa, jotta PEMS-järjestelmää olisi voitu hyödyntää myös Suomessa. Työn tarkoituksena oli selvittää referenssiprojekteista kaikki mahdollinen informaatio ja tuoda se organisaation tietoon. Referenssiprojekteihin tutustuttiin olemalla yhteydessä projekteissa mukana olleisiin avainhenkilöihin sähköpostin ja puhelimen välityksellä. Työssä perehdyttiin myös Martti Pullin patentoiman energiatehokkuuden määrittämenetelmän (ETpu-menetelmä) liittämiseen PEMS-järjestelmään. Opinnäytetyössä tutkittiin myös ETpu-menetelmän liittämisen tuomia hyötyjä, PEMS-järjestelmän kehityksen kannalta.

Toimiva PEMS-järjestelmän ja ETpu-menetelmän yhdistelmä sekä ABB:n tarjoama analysointipalvelu tarjoaisivat asiakkaalle avaimet energiatehokkaisuun pumppaussovelluksien ohjauksiin. Analysointipalvelun avulla asiakasta pystytään ohjaamaan oikea-aikaiseen pumppujen vaihtosykliin, korjaustarpeen oikea-aikaiseen huomiointiin sekä parempaan pumppauksen säätöön. Näin ollen mahdollistetaan se, että asiakas säästää suuriakin määriä sähkönkulutuksessa ja säästöpotentiaali mahdollisissa pumppujen korjauksissa ja vaihdoissa tulee olemaan suuri.

Saksan ABB myy tuotetta lähinnä vain pumppujen oikea-aikaisen korjaus- ja vaihtoajankohdan määrittämiseen eikä niinkään pumppaussysteemin hyötysuhteen määrittämiseen. Saksan ABB ei myy järjestelmän rinnalle elinkaari palveluita tai analysointipalveluita. Tällaisille palveluille kuitenkin Suomen markkinoilla nähdään olevan kysyntää, jotta asiakas saisi kaiken tarvittavan hyödyn laitteistosta. Saksan ABB:ltä halutaan ottaa oppia ja mahdollisesti kehittää myös laitteistoa siirrettäväksi versioksi, jolloin asiakkaalle voidaan tarjota myös mahdollisesti jaksottaista energiatehokkuuden ja hyötysuhteen mittauspalvelua. ETpu-menetelmän liittämällä PEMS-järjestelmään koetaan olevan merkitystä tuotteen tulevaisuuden kannalta. Martti Pullin ETpu-menetelmän avulla asiakas pystyy suoraviivaisemmin vaikuttamaan pumppaussovelluksissa kuluttamaansa sähkönmäärään ja näin ollen myös säästämään kuluissa.

Asiasanat: PEMS, ETpu-menetelmä, pumppu, hyötysuhde, energiatehokkuus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical Engineering
Automation Engineering

KYLÄNPÄÄ, IDA:
PEMS Pilot

Bachelor's thesis 108 pages, appendices 31 pages
March 2015

The background of this Bachelor's thesis was ABB's interest in expanding the use of pump efficiency monitoring system (PEMS) into the Finnish market. PEMS-system has already been used in a few countries abroad such as in Germany and Saudi Arabia. ABB did not have enough information about the reference projects to exploit the system in to the Finnish market. The objective of the thesis was to find out as much information as possible about the reference projects. The information was collected via email and phone from the key people in the previous projects. The purpose was also to acquaint oneself with the energy efficiency -method (Etpu-method) patented by Martti Pulli and how to incorporate it into the existing PEMS-system to determine the benefits in developing the existing system.

Functioning PEMS-system and Etpu-method combination and the analysis service offered by ABB will give the keys to the customer in energy efficient way of controlling the pump systems. System analysis helps ABB to guide the customer to timely change cycles, acknowledge the timely maintenance and better control of the pumps. Hence the customer is given an opportunity to save in consumption of electrical energy and in possible pump maintenances and in replacing the pumps.

In Germany ABB sells the product as a system to point out the timely change cycles and to acknowledge the timely maintenance, not so much as a product to define the efficiency of the pumping systems. In Germany the product does not include any services, such as lifecycle services or analysis services. There is a lot of potential for these kind of services in Finland, this way the customer will benefit the most. ABB in Germany has also developmental ideas, such as developing a portable version of the PEMS-system, hence the customer can be offered for example once a year energy efficiency and efficiency measurement service. The benefit of including the ETpu-method in the PEMS-system is huge when thinking about the future of the product. With the ETpu-method the customer has direct control of the use of electricity.

Key words: PEMS, ETpu-method, pump, efficiency, energy efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	9
2	PUMPUT.....	11
2.1	Nostokorkeus H	11
2.2	Tilavuusvirta Q	12
2.3	Teho	12
2.3.1	Pumpun tuottama teho	13
2.3.2	Pumpun ottama teho.....	13
2.4	Ominaiskäyrä ja toimintapiste	14
2.5	Kytkentävät	15
2.6	Affiniteettisäännöt	16
2.7	Häviöt ja tehokkuus	19
2.8	Tyypit ja käsitteet.....	19
2.8.1	Positiivinen syrjäytyspumppu	19
2.8.2	Keskipakopumppu	20
2.8.3	Aksiaalipumppu	21
3	ENERGIATEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ	22
3.1	Hyötysuhde ja ominaisenergia.....	22
3.2	Energiatehokkuuden tunnusluku ET_{pu}	23
3.3	Pumppaamon taloudellinen ohjaaminen	28
3.4	Pumpun virtauksen säätömenetelmät.....	30
3.4.1	Kuristusmenetelmä.....	32
3.4.2	Ohitusventtiili.....	32
3.4.3	On-off-säätö	33
3.4.4	Pumpun pyörimisnopeuden säätö	33
4	ET_{pu} -MENETELMÄ.....	37
4.1	Referenssiprojekti	38
4.2	ET_{pu} -menetelmän käyttö Summalahden jätevesipumppaamolla.....	39
5	PEMS-JÄRJESTELMÄ	42
5.1	Haasteet.....	42
5.2	Ratkaisu	42
5.3	Laitteistokokoonpano.....	43
5.4	Mittaukset	44
5.5	Konfiguraatiot.....	44
5.6	Lähtösignaalit.....	45
5.7	Yhteydet.....	46
5.8	Asennus.....	46

5.9	Hyödyt	46
5.10	Kannattavuusanalyysi	47
5.11	Sovelluskohteet	49
6	PEMS REFERENSSIPROJEKTIT	50
6.1	Saksa	50
6.1.1	Ingolstadt.....	51
6.1.2	Ingolstadtin referenssiprojekti.....	51
6.1.3	Bodensee Wasserversorgung ("Lake Constance Water Supply")	53
6.1.4	Bodensee Wasserversorgungin referenssiprojekti	53
6.2	Saudi Arabia	54
6.3	Kuwait.....	54
6.4	Libya	55
6.5	Muut referenssiprojektit.....	55
7	PEMS JA ETpu-MENETELMIEN KEHITTÄMINEN.....	56
8	ASIAKAS.....	57
8.1	Projektin toteutus	57
8.1.1	TSP341-W WirelessHART lämpötila-anturi ja 266HSH painelähetin.....	60
8.1.2	WiMon 100 -värinä- ja lämpötila-anturi	62
8.1.3	FM502-CMS	64
8.2	Laitteiston testaus	65
9	ASIAKASKÄYNNIN TULOKSET	66
10	POHDINTA.....	71
	LÄHTEET	75
	LIITTEET	77
	Liite 1. PEMS-käyttöopas (ABB. PEMS User Manual) (Luottamuksellinen).....	77
	Liite 2. Etäyhteyksissä käytettävä topologia, ABB:n standardi. (Luottamuksellinen).....	78

LYHENTEET JA TERMIT

ABB	Asea Brown Boveri
Affiniteettisäännöt	Kuvataan pumpun virtauksen, nostokorkeuden ja tehon verrannollisuuksia
AKNE	Al Khadra N.E maatalousvesiallas
BCPS	Benghazi Conveyance Pumping Station 319; Benghazin pumppausasema Libyassa
BEP	Best Efficiency Point / Ominaiskäyrällä parhaimman hyötysuhteen piste
BHB	Brake Horsepower / Pumpun tulon vaatima teho
DCS	Distributed Control Systems; hajautetut ohjausjärjestelmät. Prosessiautomaatiojärjestelmät ovat tyypillisesti DCS-järjestelmiä, joihin kuuluu, prosessiasemia, valvomoasemia, järjestelmäväylä, ohjelmointilaitteita sekä tiedonhallinta/raportointiasema. Hajautetussa automaatiojärjestelmässä prosessiasemat hoitavat mittauksien käsittelyn, ohjauksen laskennan sekä ohjauksen tekemisen. DCS mahdollistaa järjestelmien rakentamisen prosessilayoutin mukaisesti.
DT	Temperature difference; paine-ero
ET _{pu}	Energiatehokkuuden tunnusluku
FTP	File Transfer Protocol; TCP-protokollaa käyttävä tiedonsiirto menetelmä kahden tietokoneen välillä

Galvaaninen erotus	Sähköisessä järjestelmässä kahden osan välinen eristys, estää tasavirran kulkemisen eristettävien osien välillä. Kapasitanssin, induktanssin, sähkömagneettisen kentän tai sähkömekaniikan välityksellä voi kuitenkin siirtyä sähköenergiaa tai informaatiota.
Hyötysuhde η	Prosentuaalinen osuus pumpun vastaanottamasta tehosta, jota pumppu käyttää jatkuvaan nesteen siirtämiseen
JE	Jyväskylän Energia
JYT	Jyväskylän Energiatuotanto Oy
MAA	Mina Al-Ahmadin -jalostamo Kuwaitissa
Modbus	Modiconin ohjelmoitavien logiikoiden kanssa käytettävä sarjaliikenneprotokolla.
Nostokorkeus H	Pumpun tuottama vaadittava paine nestevirran siirtämiseksi
Ominaiskäyrä	Pumpun toimintaa prosessissa kuvaava käyrä
OPC	Teollisuuden automaatiosovelluksissa käytettävä avoimen tiedonsiirron standardi. Ohjelmoitavien logiikoiden ja PC-valvomoiden välillä
PDEL	Preassure measured at delivery side; tulopuolen mitattu paine
PEMS	Pump Efficiency Monitoring System; Pumpun hyötysuhteen seuranta järjestelmä
PLC	Programmable Logic Controller; ohjelmoitava logiikka
PSUC	Pressure measured at suction side: imupuolen mitattu paine

ROI	Sijoitetun pääoman tuotto prosentti
SSL	Secure Sockets Layer; tietoverkkosalausprotokolla
Tilavuusvirta Q	Pumpun siirtämä nestetilavuus aikayksikköä kohti
Toimintapiste	Pumpun ja prosessin ominaiskäyrien leikkauspisteessä, jolla voidaan määrittää ideaaliset toiminta-arvot, joilla pumpun tehokkuus on maksimissaan
TW	Temperature measured at suction side; imupuolen mitattu lämpötila
WHP	Water Horsepower / Pumpun ulostulon teho

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on tutustua ABB Oy:n kehittämään pumppujen hyötysuhteen monitorointijärjestelmään (PEMS). Työ keskittyy selvittämään PEMS-laitteiston ja energiatehokkuuden määrittämismenetelmän (ETpu-menetelmä) hyödyntämiseen tarvittavan teorian selvittämiseen sekä työn ohessa toteutettavan projektin esiselvityksen luomiseen.

Esiselvitys pitää sisällään jo olemassa olevien referenssiprojektien selvittämistä ja niihin liittyvän tiedon keruuta. PEMS-järjestelmää on maailmalla asennettu jo muutamiin pumppaussovelluksiin muutamissa maissa, muun muassa Saksassa ja Saudi-Arabiassa. Opinnäytetyö pohjautuu pääasiassa Jyväskylän Energialle tehtävään pilottiprojektiin, jossa otetaan käyttöön ensimmäistä kertaa Suomessa PEMS-laitteisto ja ensimmäistä kertaa koko maailmassa siinä hyödynnetään myös Martti Pullin patenttiin perustuvaa ETpu-laskentaa.

ABB suorittaa pilottikokeilun Jyväskylän Energian Keljonlahden kaukolämmön paluupumppuun, jonka virtaama on 1380 l/s. Asiakkaalle on tarkoitus esitellä muutamia valinnaisia laitteistokokoonpanoja, joista asiakkaan kanssa valitaan paras mahdollinen ja sopivin vaihtoehto. Laitteistokokoonpanon valintaan vaikuttavat muun muassa asiakkaan prosessissa jo olemassa olevat mittausyhteet ja laitteet. Tarvittaessa vaihtoehtoista muokataan asiakkaalle sopivin vaihtoehto.

Laitteiston avulla asiakkaalle on tarkoitus tarjota järjestelmä, jonka avulla asiakas pystyy määrittämään muun muassa energiankulutuksen kannalta parhaimmat ajankohdat pumppujen huolloille ja mahdollisille pumppujen vaihdoille. Laitteiston käyttöönoton jälkeen asiakas pystyy myös laitteiston syöttämän datan perusteella ohjaamaan pumppuja energiatehokkaasti ja valitsemaan energiatehokkuuden kannalta sopivimmat pumppuyhdistelmät kuhunkin sovellukseen. Asiakkaalle annetaan mahdollisuus reagoida entistä nopeammin, jopa reaaliajassa, muuttuviin tilanteisiin ja näin ollen parantaa pumppaussovelluksen energiatehokkuutta.

Aihetta voidaan pitää erittäin ajankohtaisena ja tärkeänä tulevaisuuden kannalta, sillä Motivan vuonna 2013 tekemän tutkimuksen mukaan sähköenergian kulutus Suomessa oli lähes 84 TWh. Euroopan sähkökulutuksesta noin 70 % kuluu sähkömoottorisovelluk-

sisä, josta noin 22 % kuuluu pumppaussovelluksissa. Pelkästään erilaisilla laite- ja säätötaparatkaisuilla olisi mahdollista säästää jopa 30 - 50 % pumppausprosessien sähkönkulutuksesta. Sillä olemassa olevien systeemien kokonaishyötysuhde on varsin heikko, vain noin 40 %:n luokkaa tai jopa vähemmän. Näiden lukujen perusteella voidaankin todeta, että säästöpotentiaali pumppauksissa on todella suuri.

2 PUMPUT

Kappaleessa käsitellään pumppuihin ja pumppaamiseen liittyviä käsitteitä ja niiden laskentakaavoja. Käydään myös läpi yleisimmät pumpputyypit, joihin kuuluvat syrjäytyspumppu, aksiaalipumppu ja keskipakopumppu.

2.1 Nostokorkeus H

Pumpun nostokorkeudesta puhuttaessa viitataan sillä paineeseen, joka tulee tuottaa liikuttamaan nestevirtaa. Nostokorkeuden ja pumpun tuottaman paineen välinen yhteys esitetään kaavassa 1.

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H \quad (1)$$

, jossa	Δp	pumpun tuottama paine-ero	[Pa]
	ρ	tiheys (vesi = 1000 kg/m ³)	[kg/m ³]
	g	putoamiskiihtyvyys (9,81 m/s ²)	[m/s ²]
	H	nostokorkeus	[m]

Laskettaessa nostokorkeutta tulee ottaa huomioon, että paineen lisäys on suoraan verrannollinen nesteen tiheyteen. (Rouvinen, 2009.)

2.2 Tilavuusvirta Q

Tilavuusvirta eli virtaama määrittää nestetilavuuden, jonka pumppu siirtää aikayksikössä. Tilavuusvirran suuruus voidaan määrittää laskemalla putken poikkipinta-alan ja nesteen virtauksen nopeuden tulona, kaavalla 2. (Rouvinen, 2009.)

$$Q = A \cdot w \quad (2)$$

, jossa	Q	tilavuusvirta	$[\text{m}^3/\text{s}]$
	A	pinta-ala	$[\text{m}^2]$
	w	nopeus	$[\text{m}/\text{s}]$

2.3 Teho

Fysikaalinen teho (P) ilmaisee tehdyn työn määrää tai käytetyn energian määrää aikayksikössä. Pumppauksen teoreettinen teho voidaan laskea nostokorkeuden ja tilavuusvirran avulla, kaavalla 3.

$$P_{teor} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (3)$$

, jossa	P_{teor}	teoreettinen teho	$[\text{W}]$
	ρ	tiheys	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
	g	putoamiskiihtyvyys	$[\text{m}/\text{s}^2]$
	Q	tilavuusvirta	$[\text{m}^3/\text{s}]$
	H	nostokorkeus	$[\text{m}]$

2.3.1 Pumpun tuottama teho

Pumpun ulostulon teho (water horsepower: WHP) nesteelle voidaan laskea myös kaavojen 4 tai 5 avulla.

$$WHP = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{3960} \quad (4)$$

, jossa	<i>WHP</i>	water horsepower	[hp]
	<i>Q</i>	tilavuusvirta	[m ³ /s]
	<i>H</i>	nostokorkeus	[m]
	<i>ρ</i>	tiheys	[kg/m ³]

WHP voidaan myös ilmaista kilowatteina (kW), tällöin kaavassa 4 esiintyvä vakio 3960 tulee korvata vakiolla 6128, kaava 5.

$$kW = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{6128} \quad (5)$$

2.3.2 Pumpun ottama teho

Pumpun tulon vaatima teho (Brake Horsepower: BHB) voidaan määrittää yksinkertaisesti WHP:n ja pumpun hyötysuhteen osamääränä, kaava 6.

$$BHB = \frac{WHP}{\eta} \quad (6)$$

, jossa	<i>BHB</i>	brake horsepower	[hp]
	<i>WHP</i>	water horsepower	[hp]
	<i>η</i>	Pumpun hyötysuhde	

(ABB. Power Generation 61.)

Pumpun tarvitsemaa tehoa kutsutaan toisinaan myös akselitehoksi, joka voidaan laskea myös kaavalla 7.

$$P_2 = \frac{Q \cdot p}{\eta} \quad (7)$$

, jossa	P_2	pumpun akseliteho	[W]
	Q	tilavuusvirta	[m ³ /s]
	p	syöttöpuolen paine	[Pa]
	η	pumpun hyötysuhde	

(Motiva, 14.)

Tehoa, jonka pumpu ottaa moottorilta voidaan pitää todellisena pumpun tehontarpeena. Pumpussa syntyvät häviöt käyttävät osan tästä energiavirrasta ja loppuosa käytetään nesteen siirtämiseen. (Rouvinen, 2009.)

Pumpun ottama sähköteho voidaan laskea kaavalla 8.

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_m \cdot \eta_s} \quad (8)$$

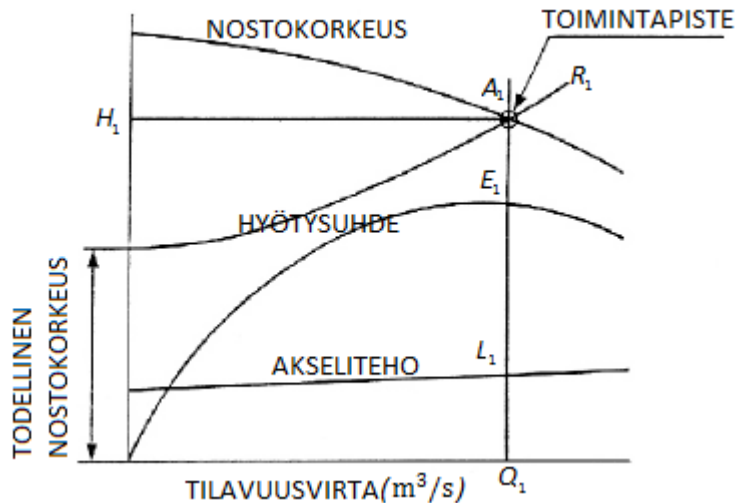
, jossa	P_1	pumpun ottama sähköteho	[W]
	P_2	pumpun akseliteho	[W]
	η_m	sähkömoottorin hyötysuhde	
	η_s	valitun säätömenetelmän hyötysuhde	

Tilavuusvirta, nostokorkeus, pumpattavan aineen tiheys sekä hyötysuhde vaikuttavat pumpun kuluttamaan tehoon. (Motiva, 14.)

2.4 Ominaiskäyrä ja toimintapiste

Pumpun ominaiskäyrällä kuvataan pumpun nostokorkeutta eri virtaamilla. Toimintapisteellä taas voidaan määrittää ideaaliset toiminta-arvot, joilla pumpun tehokkuus on maksimissaan. Pumpun ominaiskäyrän ja verkoston ominaiskäyrän leikkauspisteessä on pumpun toimintapiste, jonka sijainti muuttuu olosuhteiden muuttuessa. Toimintapiste on piste, jossa syöttö ja tarve kohtaavat. Pumpun ominaiskäyrää ja toimintapisteen paikkaa

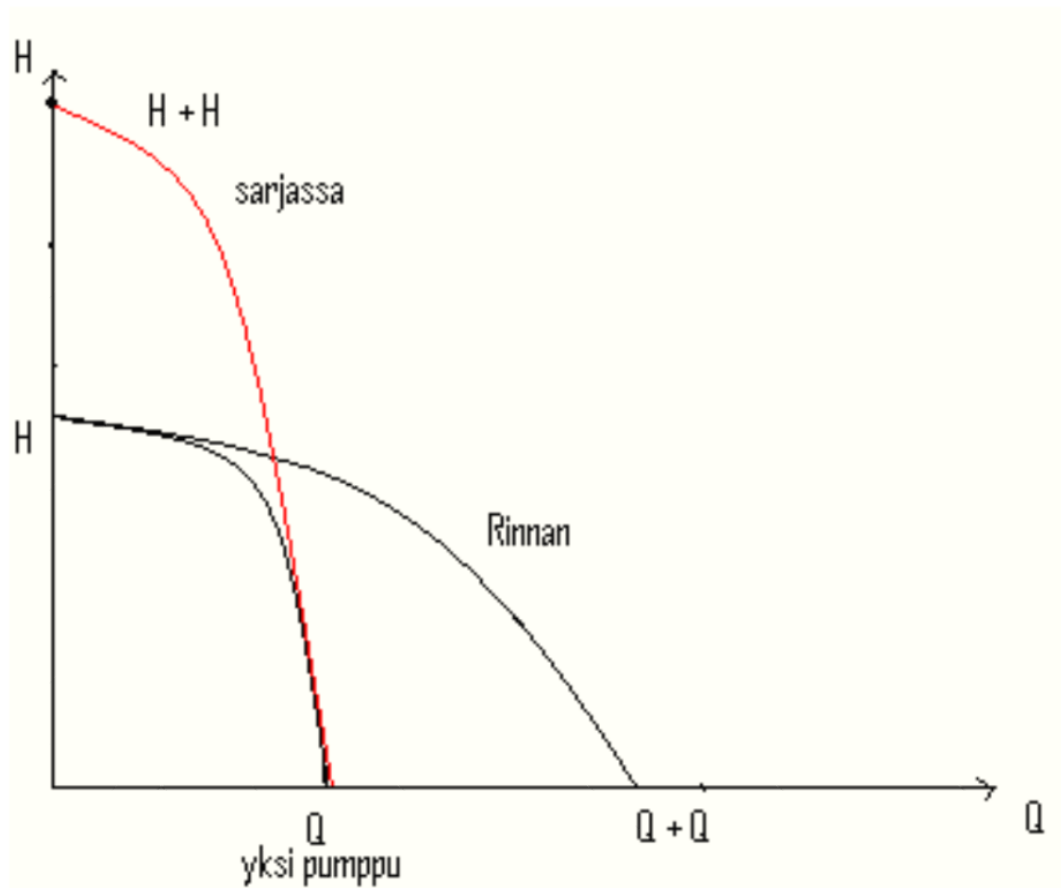
määrittettäessä tulee ottaa huomioon virtausmäärä (Q), nostokorkeus (H), putkiston häviöt (R) sekä pumpun hyötysuhde ja teho. (Motiva, 6-7). Kuvio 1 esittää pumpun ja prosessin ominaiskäyrät sekä hyötysuhteen ja akselitehon kuvaajat, joiden avulla voidaan määrittää pumpun toimintapiste.



KUVIO 1. Toimintapisteen määrittäminen ominaiskäyrästä (ABB. Power Generation. 60).

2.5 Kyt kentätavat

Pumppaamoissa on usein käytössä useampia pumppuja. Pumput voidaan kytkeä sarjaan tai rinnan ja näin ollen niiden käyttö sarjassa tai rinnan on mahdollista. Kyt kentätavalla on suuri vaikutus pumppujen tuottoon, tehontarpeeseen sekä hyötysuhteeseen. Kahden pumpun ollessa kytketty rinnan, pumppujen ominaiskäyrät summataan vaakatasossa, näin ollen syntyy yksi yhtäpitävä käyrä suuremmalla tilavuusvirralla. Nostokorkeuden suuruus pysyy kuitenkin samana kuin yksittäisen pumpun. Vastaavassa tilanteessa, jossa kaksi pumppua kytketään sarjaan, voidaan pumppujen ominaiskäyrät summata pystysuunnassa, jolloin syntyvän ominaiskäyrän nostokorkeus on suurempi. Tilavuusvirta pysyy tässä tilanteessa kuitenkin samana kuin, jos vain toinen pumppu olisi käytössä. (ABB. Power Generation. 60.) Sarjaan ja rinnan kytkettyjen pumppujen vaikutuksien eroja kuvataan kuviossa 2.



KUVIO 2. Kahden samanlaisen pumpun rinnan ja sarjaan kytkennän yhteiskäyttökäyrät. (Viitala 2015, 13).

2.6 Affiniteettisäännöt

Affiniteettisääntöjä käytetään hyödyksi verrattaessa malliltaan samanlaisia pumppuja, joissa on erikokoisia siipipyöriä. Kolme affiniteettisääntöä, virtaus, nostokorkeus ja teho määrittävät yhteyden pumpun kierrosnopeuden (n), virtauksen (Q), nostokorkeuden (H) ja tehon (P) välille nesteille. Kuviossa 3 esitellään sääntöjen verrannollisuudet. Affiniteettisääntöjen mukaan pumpun tilavuusvirta [m^3/h] muuttuu suoraan verrannollisesti pumpun kierroslukuun [rpm]. Vastaavasti pumpun nostokorkeus [m] on verrannollinen kierrosluvun neliöön ja pumpun tarvitsema teho [kW] on verrannollinen kierrosluvun kuutioon. (Huhtinen, Korhonen, Pimiä, Urpalainen 2008, 142.)

Nopeus ja virtaus ovat suoraan verrannolliset [Virtaus]	$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$
Nostokorkeus on verrannollinen nopeuden neliöön [Nostokorkeus]	$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$
Teho on verrannollinen nopeuden kuutioon [Teho]	$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$

KUVIO 3. Affiniteettisäännöt.

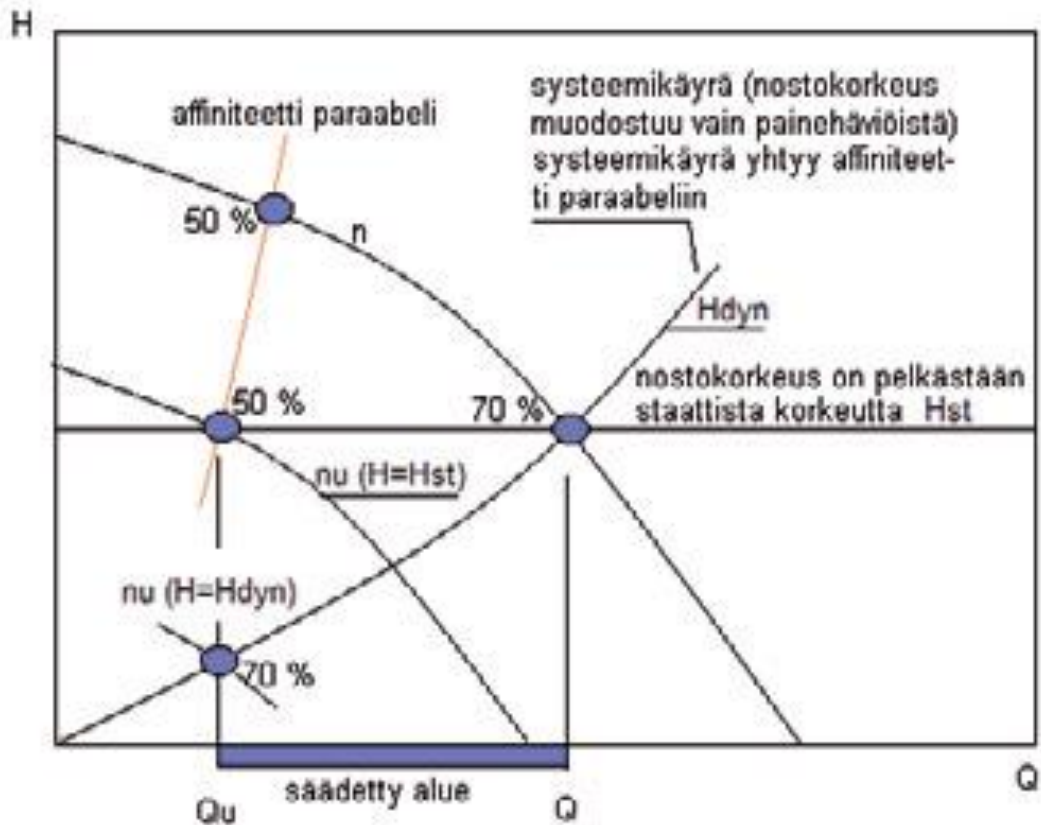
Affiniteettisääntöjen yhtälöistä voidaan ratkaista seuraavan lainen kaava (kaava 9).

$$H_2 = \frac{H_1}{Q_1^2} \cdot Q_2^2 \quad (9)$$

, jossa	Q_1	alkuperäinen tuottopiste
	Q_2	muutetulla kierrosluvulla laskettu tuoton vastinpiste
	H_2	Q_2 :ta vastaava nostokorkeus
	H_1	Q_1 :tä vastaava nostokorkeus

Kaavalla kuvataan niin sanottua affiniteettiparaabelia, eli origon kautta kulkevaa paraabelia. Affiniteettiparaabelin määrittäminen on tärkeää analysoitaessa kierroslukusäädön toimintaa ja sen soveltuvuutta erityyppisissä järjestelmissä. (Pulli 2012, 32.)

Kuviossa 4 havainnollistetaan pumppausjärjestelmien systeemikäyrien erojen merkitystä. Kuvion alareunaan määritetyllä säätöalueella $Q_u \dots Q$ ($Q_2 \dots Q_1$) hyötysuhde pysyy 70 % vakioarvossa, jos nostokorkeus muodostuu pelkästään dynaamisesta korkeudesta eli painehäviöstä tai tilanteessa, jossa nostokorkeus vaihtelee 50 ja 70 prosentin välillä. (Pulli 2012, 33). Kuvion affiniteettiparaabelilla havainnollistetaan keskipakopumppusovelluksessa ominaiskäyrän vastinpisteiden sijainti, kun pumpun kierroslukua muutetaan. Vastinpisteellä tarkoitetaan toimintapistettä muutetulla kierrosluvulla, eli pistettä, ”jossa hyötysuhde on sama kuin peruskäyrän piste”. (Pulli 2009. 65 - 66).



KUVIO 4. ”Hyötysuhteen vaihtelu säädetyllä virtaama-alueella järjestelmän ominaisuuksista riippuen” (Vesitalous, Pulli 2012, 33.)

Vakionopeudella pyörivän pumpun ominaiskäyrällä on toimintapiste, jossa pumpun hyötysuhde on maksimissaan, tätä pistettä kutsutaan parhaimman hyötysuhteen pisteeksi (Best Efficiency Point: BEP). BEP-pisteen ympärillä korkean hyötysuhteen alue on nimetty *bullseye*:ksi. Suunnittelija pyrkii tekemään tästä järjestelmän toiminta-alueen, jotta pystytään minimoimaan energia- ja huoltokulut. Toimintapisteen siirtyessä kauemmaksi BEP-pisteestä vaaditaan enemmän tehoa (BHB), jotta tuotto pysyisi samana (WHB).

2.7 Häviöt ja tehokkuus

Keskipakopumpussa syntyy pääasiassa neljää erilaista häviötä.

Nestekitkahäviöt syntyvät veden kosketuksesta juoksupyörän siipiin ja pesään. Sysäyshäviöitä kertyy siipien etureunoille, kun tuotto poikkeaa parhaasta hyötysuhteen pisteen arvosta. Kolmantena häviönä voidaan pitää vuotohäviötä, jotka syntyvät veden palautuessa painepuolelta takaisin imu puolelle. Viimeiseksi häviöksi luetaan kitkan aiheuttamat mekaaniset häviöt tiivisteissä, holkeissa sekä laakereissa. (Lesonen, Vuohelainen. 2010, 19.)

Pumpun ottaman ja tuottaman tehon ero koostuu suurimmaksi osaksi lämpöenergiasta, joka siirtyy virtaavaan aineeseen.

Hyötysuhdekäyrän ja putkiston ominaiskäyrien samankaltaisuudesta johtuen hyötysuhde laskee vain vähän, kun pumppua käytetään pienemmillä kierrosnopeuksilla. Uusi toimintapiste on edelleen pumpun hyötysuhteen *bullseye*:ssä, sen ideaalilla toiminta-alueella kyseisellä nopeudella. Pumpun hyötysuhdekäyrät eivät juurikaan muutu BEP-pisteessä pumpun kierrosnopeutta muutettaessa. Pumpun kierrosnopeutta pienennettäessä puoleen, hyötysuhteessa ei juurikaan tapahdu muutosta, mutta tehon tarpeen laskussa voidaan huomata suurikin ero. (ABB. Power Generation. 62–63.)

2.8 Tyypit ja käsitteet

Pumpputyyppejä on lukuisia, jotka voidaan jakaa kahteen pääkategoriaan, dynaamisiin (kinetic) ja positiivisiin syrjäytyspumppuihin (positive displacement). Syrjäytyspumppuja käytetään sovelluksissa, joissa virtaus on jatkuvaa ja nesteen viskositeetti on matala tai korkea. Dynaamisen, kuten keskipako- ja aksiaalipumpun käyttökohteita ovat sovellukset, joissa virtaus on vaihtelevaa ja viskositeetti alhainen.

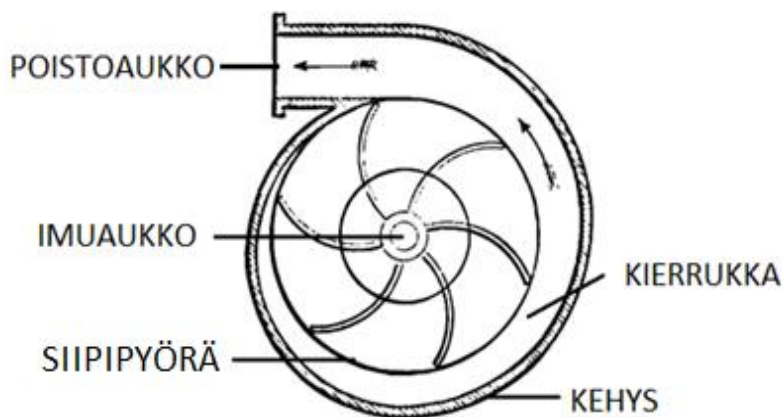
2.8.1 Positiivinen syrjäytyspumppu

Positiivinen syrjäytyspumppu eli ruvipumppu nimensä mukaisesti syrjäyttää mekaanisesti halutun määrän nestettä pyöriessään vakionopeudella. Positiiviset syrjäytyspumput

voidaan jakaa pyöriviin syrjäytyspumppuihin ja edestakaisin liikkuviin syrjäytyspumppuihin. Pumppaustekniikoita on useita riippuen kategoriasta, tuotto on kuitenkin aina verrannollinen pyörimisnopeuteen. (Global Johnson pump. Positiiviset syrjäytyspumput). Pumppu sisältää syrjäytyselimen, joka syrjäyttää pesässä olevan nesteen poistoputkeen. Nostokorkeudella ei ole juurikaan vaikutusta tilavuusvirran suuruuteen. Sopii parhaiten sovelluksiin, joissa nostokorkeuden tulee olla suuri ja tilavuusvirran pieni. (Kurunlahti, 2013, 11.)

2.8.2 Keskipakopumppu

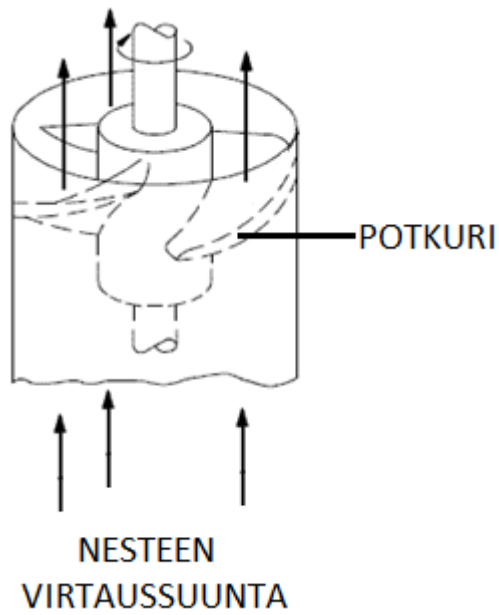
Keskipakopumppu on yleisimmin prosessiteollisuudessa käytettävä pumpputyyppejä. Niiden toiminta perustuu mekaanisen energian tai liike-energian muuttumisesta paineeksi. Neste syötetään pumpun keskiosassa sijaitsevan siipipyörän keskelle, tätä kutsutaan pumpun imuosaksi. Pyörivän siipipyörän keskeltä keskipakovoima siirtää nesteen keskipisteestä pois päin työntäen sen kapeaan kierukkaan. Kierukan halkaisijan suurentuessa, nesteen nopeus pienenee ja paine kasvaa (nostokorkeus) nesteen virratessa lähemmäksi pumpun poistopäätä, kuvio 5. (ABB. Power Generation. 57.)



KUVIO 5. Keskipakopumpun periaatekuva.

2.8.3 Aksiaalipumppu

Aksiaalipumput soveltuvat samantyyppisille nesteille kuin keskipakopumput. Nostokorkeus on pienempi ja tilavuusvirta suurempi kuin keskipakopumpuissa. Aksiaalipumpussa potkurin liike kiihdyttää nesteen virtausta pumpun akselin suuntaisesti, kuvio 6. (ABB. Power Generation. 57.)



KUVIO 6. Aksiaalipumpun periaatekuva.

3 ENERGIATEHOKKUUTEEN VAIKUTTAVIA TEKIJÖITÄ

Luvussa käsitellään pumppaamon energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Pumppaamojen ja pumppujen oikein mitoittamisella on suuri merkitys energiatehokkuudessa. Hyötysuhdetta määritettäessä käy ilmi paljon hyödyllistä informaatiota. Pumpun virtausta voidaan säätää muutamalla tavalla ja näin ollen voidaan vaikuttaa myös energiatehokkuuteen.

3.1 Hyötysuhde ja ominaisenergia

Hyötysuhteella voidaan määrittää, kuinka suuren osan vastaanottamasta tehosta pumppu käyttää nesteen jatkuvan siirtämisen ylläpitämiseksi. Pumpun hyötysuhde määritellään kaavalla 7, vertaamalla pumpun todellista mitattua tehoa laskettuun teoreettiseen tehoon. Pumpun tehokkuutta ja soveltuvuutta käyttökohteessa voidaan arvioida pumpun ominaiskäyrästä ja siihen liitettyistä hyötysuhde- ja systeemiäyristä.

$$\eta = \frac{P_{teor}}{P_{tod}} \quad (7)$$

, jossa	η	hyötysuhde	
	P_{teor}	laskettu teoreettinen teho	[W]
	P_{tod}	mitattu todellinen teho	[W]

Energiatehokkuutta voidaan tutkia laskemalla pumppauksen ominaisenergia. Ominaisenergiälaskennan tuloksista voidaan arvioida erilaisten pumppuyhdistelmien ja jopa pumppaamoiden energiatehokkuutta. Pumppauksen ominaisenergiasta puhuttaessa tarkoitetaan energiaa, jonka yhden kuution siirtäminen vaatii. Ominaisenergia E_s voidaan laskea kaavalla 8.

$$E_s = \frac{E}{V} = \frac{P_{in} t}{V} = \frac{P_{in}}{Q} = [\text{kWh}/\text{m}^3] \quad (8)$$

, jossa	E_s	sähköenergia	[kWh]
	t	aika	[h]
	P_{in}	tehontarve	[kW]
	V	tilavuus	[m^3]
	Q	virtaama	[m^3/h]

(Viholainen 2014, 29.)

3.2 Energiatehokkuuden tunnusluku ETpu

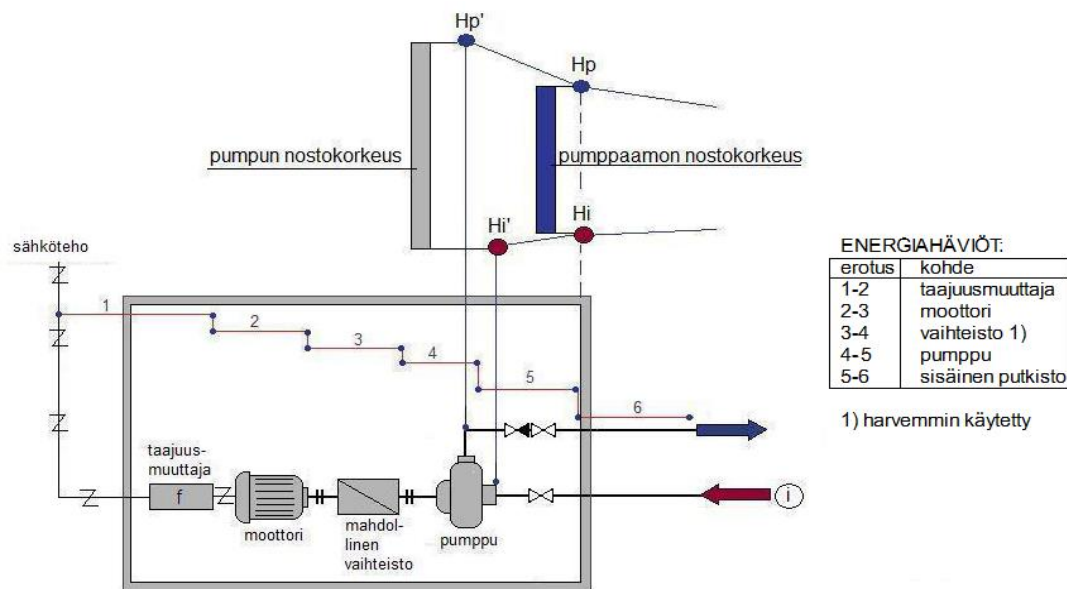
ETpu eli energiatehokkuuden tunnusluku on sitä parempi, mitä lähempänä todellinen hyötysuhde on nimellishyötysuhdetta. Toisin sanoen ETpu-menetelmän tarkoitus on verrata hetkellistä energiatehokkuudentilaa parhaaseen mahdolliseen tilaan. (Viitala 2015, 24). Menetelmällä on energiatehokkuuden määrittämisen lisäksi myös kunnossapidollista hyötyä. Muutokset ETpu-luvussa ilmaisevat muun muassa pumppujen kulumista ja putkistojen tukkeutumista.

Energiatehokkuuden tunnuslukua määritettäessä tulee valita mittausajan ja -jakson pituus. Pumppaamosta riippuen sopivana mittausaikana pidetään 24 - 48 tuntia ja mittausjaksona 1 - 30 minuuttia. ETpu-lukua määritettäessä tulee selvittää seuraavia suureita:

- mittausjakso Δt
- sähköteho mittaushetkellä P_e (kW)
- pumppaamolta lähtevä virtaus mittaushetkellä Q (kg/s), vastaa vedellä (l/s)
- pumppaamon painepuolen painekorkeus mittaushetkellä H_p (m)
- pumppaamon imu puolen painekorkeus mittaushetkellä H_i (m), jos pumppaamo on suoraan imualtaasta imevä, H_i on sama kuin imualtaan vesipinnan korkeus

- kunkin pumpun nimellishyötysuhde η_i ja nimellistehontarve P_i , nimellisarvot tarkoittavat arvoja pumpun parhaan hyötysuhteen toimintapisteessä (Pat. FI 124877).

Kuviossa 7 esitetään periaatekuva pumppaamosta energiatarkastelun näkökulmasta. Useista pumpuista koostuva pumppaamo pitää sisällään myös useita pumppujen nostokorkeuksia. Nostokorkeudet ($H_p' - H_i'$) poikkeavat toisistaan johtuen erilaisista painehäviöistä, jotka johtuvat pääosin pumppukohtaisista putkistoista ja varusteista. Pumppaamon nostokorkeutta voidaan kuitenkin aina pitää H_p :n H_i :n muodostaman erotuksen suuruisena. Erotus ei ole riippuvainen pumppaamon sisäisistä epäsymmetrioista, joten arvoa voidaan helposti soveltaa pumppaamon energiatehokkuuden mittaamisessa. (Pat. FI 124877).



Jos pumppaamon imupuoli ① on kytketty säiliöön (esim. jätevesipumppaamo), arvo H_i on likimäärin säiliön vesipinta.

KUVIO 7. Periaatekuva pumppaamosta (Pat. FI 124877.)

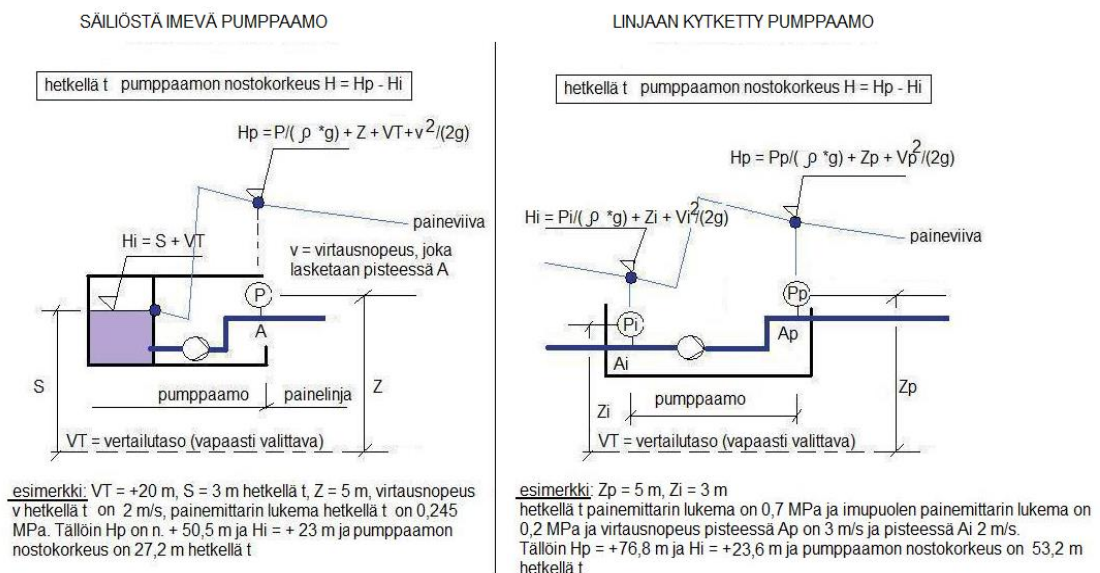
Pumppaamon nostokorkeudet H_p ja H_i lasketaan kaavalla 9.

$$H = \frac{p}{\rho \cdot g} + Z + \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (9)$$

, jossa	p	paine mittauskohdassa	[Pa]
	ρ	nesteen tiheys	[kg/m ³]
	g	putoamiskiihtyvyyys (9,81 m/s ²)	[m/s ²]
	Z	painemittauskohdan ja valitun yhteisen vertailutason (esim. lattia) välinen korkeusero	[m]
	v	putken painemittauskohdan virtausnopeus	[m/s]

(Pat. FI 124877)

Virtausnopeus lasketaan virtaaman ja mittauskohdan putken poikkipinta-alan suhteena. Kuvio 8 havainnollistaa pumppaamon nostokorkeuden määrittämisperiaatetta kahdessa erilaisessa pumppaamotyypissä. Kuviossa 8 esitetään myös kaavat nostokorkeuden laskentaa varten erilaisissa pumppaamoissa.



KUVIO 8. Pumppaamon nostokorkeuden määrittämisperiaate (Pat. FI 124877.)

ETpu-lukua määritettäessä tulee laskea pumppaamon vesiteho (kaava 10) mittaushetkellä sekä pumppaamon hyötysuhde (kaava 11) mittaushetkellä.

$$P_v = Q \cdot (H_p - H_i) \cdot \frac{9,81 \text{ m/s}^2}{1000} \quad (10)$$

, jossa	P_v	pumppaamon vesiteho	[kW]
	Q	virtaama	[m ³ /h]
	H_p	pumppaamon painepuolen nostokorkeus	[m]
	H_i	Pumppaamon imupuolen nostokorkeus	[m]

(Pat. FI 124877)

$$\eta_{pas} = \frac{P_v}{P_e} \quad (11)$$

, jossa	η_{pas}	pumppaamon hyötysuhde	
	P_v	pumppaamon vesiteho	[kW]
	P_e	sähköteho	[kW]

(Pat. FI 124877)

Pumppaamon nimellishyötysuhde lasketaan pumppujen nimellishyötysuhteiden painotetulla keskiarvolla, kaava 12.

$$\eta_{pka} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k_i} \cdot \sum_{i=1}^n k_i \cdot \eta_i \quad (12)$$

, jossa	η_{pka}	nimellishyötysuhteiden painotettu keskiarvo	
	k_i	pumpun nimellistehontarve	[kW]
	n	pumppujen lukumäärä	
	η	pumpun nimellishyötysuhde	

(Pat. FI 124877)

Kaavassa käytettävä pumpun nimellistehontarve saadaan ominaiskäyrän nimellispistettä vastaavasta tehontarpeesta. Jos kaikki käytössä olevat pumput ovat samanlaisia tai käytössä on vain yksi pumpu, η_{pka} on sama kuin pumpun nimellishyötysuhde.

Vertaamalla pumppaamon hyötysuhdetta η_{pas} kunkin mittauksen aikana pumppaamon käynnissä olevien pumppujen nimellishyötysuhteiden painotettuun keskiarvoon η_{pka} , saadaan kullakin mittaushetkellä pumppaamon energiatehokkuutta kuvaava tunnusluku ET_{pu} : (Pat. FI 124877) (kaava 12)

$$ET_{pu} = \frac{\eta_{pas}}{\eta_{pka}} \quad (12)$$

, jossa η_{pas} pumppaamon hyötysuhde
 η_{pka} nimellishyötysuhteiden painotettu keskiarvo

(Pat. FI 124877)

ET_{pu} -luku voidaan arvioida taulukon 1 mukaisesti. Tunnusluku ei voi koskaan saavuttaa arvoa 1. Jos mittauksista saadaan kuitenkin tulokseksi 1, voidaan todeta mittauksien olevan virheelliset. Arvion ollessa hyvällä alueella ei tarvitse toimenpiteitä tehdä energiatehokkuuden lisäämiseksi. Arvion ollessa tyydyttävä tai välttävä korjaustoimenpiteitä tulisi harkita ja olisi suositeltavaa tehdä. Jos ajaudutaan tilanteeseen, jossa tunnusluku on alle 0,5, ovat korjaustoimenpiteet välttämättömiä energiatehokkuutta ajatellen.

TAULUKKO 1. ET_{pu} -luvun arviointi (Pat. FI 124877.)

Tunnusluku ET_{pu}	Arvio
> 0,9	Erinomainen
0,8...0,9	Hyvä
0,7...0,8	Tyydyttävä
0,6...0,7	Välttävä
0,5...0,6	Heikko
< 0,5	Erittäin heikko

Usein energiatehokkuuden parantamiseksi riittää pumppuyhdistelmien ja pumppujen kierroslukujen optimointi sovellukseen sopivaksi. Harvemmin tunnusluvun heikko arvio johtuu pumpun korjaustarpeesta tai edes pumpun vaihtotarpeesta.

3.3 Pumppaamon taloudellinen ohjaaminen

Affiniteettisääntöjä soveltamalla voidaan havainnollistaa pumppaamon taloudellista ohjausta. Esimerkkitapauksessa on pumppaamo, jossa on käytössä kaksi pumppua, joiden nimelliskierroslukujen ilmoitetaan olevan 1 490 r/min. Pumput on valittu siten, että kahden pumpun rinnakkaisen toiminnan tuottoalueelle sijoittuu parhaan hyötysuhteen alue.

Kuviossa 9 havainnollistetaan pumppausjärjestelmän systeemiäyrästä. Kuvioista voidaan päätellä, että hyötysuhde on 72 % luokkaa, kun kahta pumppua ajetaan nimelliskierrosluvulla rinnan (piste 1 → 7 → 8), jos taas nimelliskierrosluvulla ajetaan vain yhtä pumppua, hyötysuhde on varsin heikko, vain 47 % luokkaa (piste 2 → 3). (Pulli 2012, 33).

Pumppauksen energiataloutta voidaan parantaa järjestämällä ohjaus seuraavien ohjeiden mukaan:

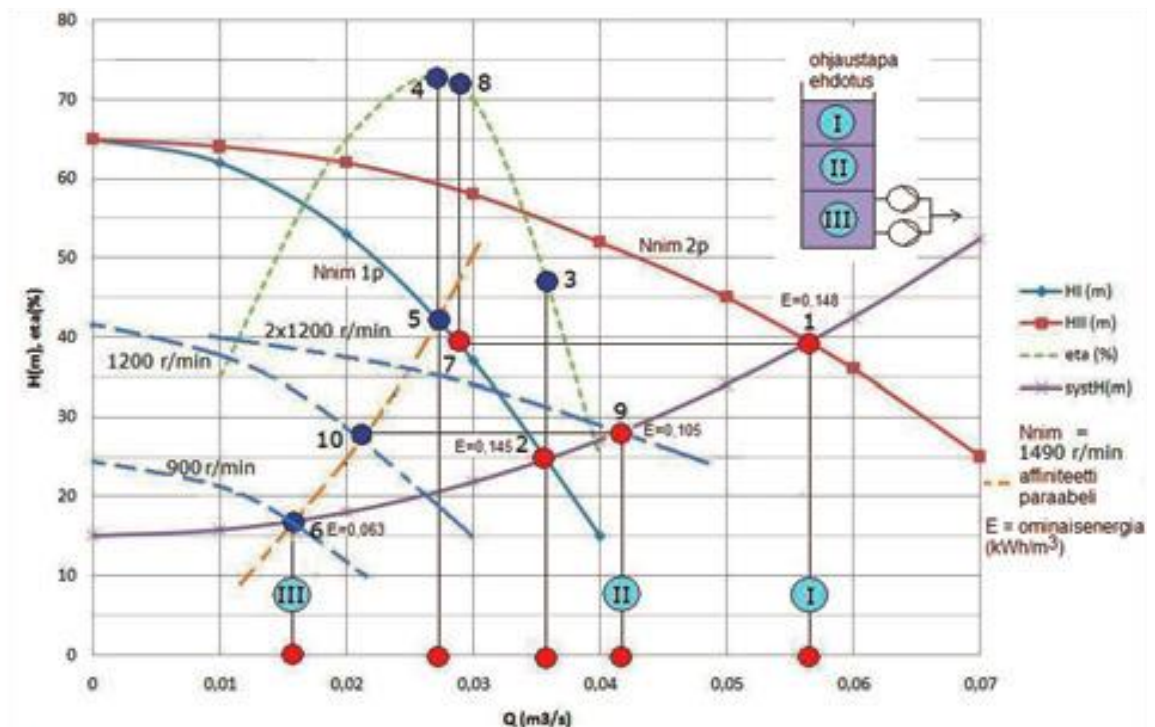
Affiniteettiparaabeli (Kuvion 9 oranssi katkoviiva) tulee piirtää parhaan hyötysuhteen toimintapisteen 5 kautta (piste 4 → 5) putkiston systeemiäyrälle, siten että paraabelin leikkauspiste 6 on vastin piste, jossa hyötysuhde on maksimissaan eli noin 73 % (piste 4). Affiniteettisääntöjä soveltamalla saadaan pisteen toimintakierrosluku, joka on ”pistettä 6 vastaavan tuoton suhde pistettä 5 vastaavaan tuottoon kerrottuna nimelliskierrosluvulla 1 490 r/min eli on noin 900 r/min”. (Pulli 2012, 33 - 34). Laskenta esitetään alla.

$$\begin{aligned} & \frac{Q_{\text{pisteessä 6}}}{Q_{\text{pisteessä 5}}} \cdot 1\,490 \text{ r/min} \\ &= \frac{0,017 \text{ m}^3/\text{s}}{0,028 \text{ m}^3/\text{s}} \cdot 1\,490 \text{ r/min} \\ &= 904,64 \text{ r/min} \approx 900 \text{ r/min} \end{aligned}$$

Laskennasta saatua kierroslukua, 900 r/min, käytetään ajettaessa yhtä pumppua kerrallaan. Tilanteessa, jossa pumppauksen tarve kasvaa, esimerkiksi tilanne, jossa pinnan korkeus kasvaa pumppaamossa, otetaan käyttöön toinen pumppu ensimmäisen rinnalle, tällöin molempien pumppujen ”kierrosluku nostetaan arvoon 1 200 r/min; toimintapiste 9. Hyötysuhde pysyy tässä tilanteessa maksimialueella (piste 9 → 10, josta affiniteettiparaabelia pitkin pisteeseen 5 ja siitä hyötysuhdeäyrälle pisteeseen 4).” (Pulli 2012, 34).

Jos tulee tilanne, että pumppaustarve kasvaa edelleen, tulee molempia pumppuja käyttää nimelliskierrosluvulla 1 490 r/min, tilanteessa tuottopiste siirtyy pisteen 1 kohdalle ja hyötysuhde on edelleen maksimialueella, eli pisteessä 8. Näin ollen maksimihyötysuhde saavutetaan tuottopisteissä 6, 9 ja 1, jos pumppuja käytetään edellä mainituilla tavoilla. (Pulli 2012, 34).

Esimerkin mukaista ohjaustapaa käytettäessä voidaan optimoida energiankulutusta pumppauksen ohjauksessa. Sovellettaessa kyseistä ohjaustapaa voidaan helposti saavuttaa jopa 20 % säästöt energiakustannuksissa, verrattaessa vakionopeuskäytöllä tapahtuvaan ohjaustapaan. (Pulli 2012, 34).

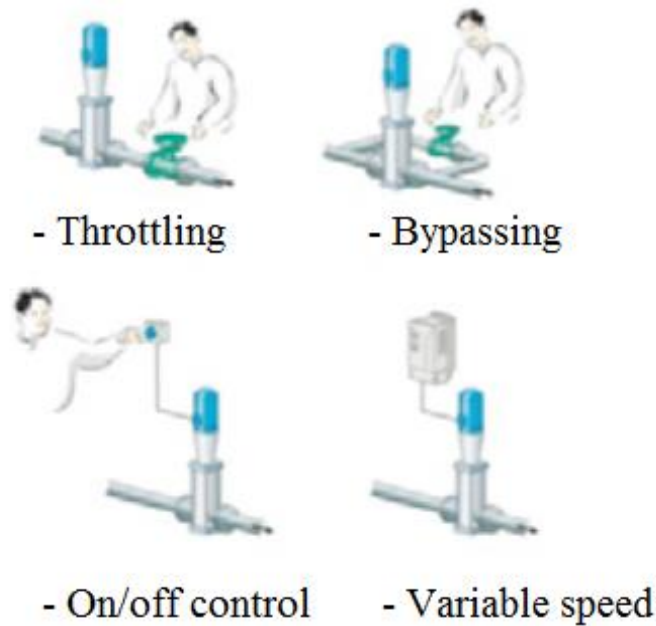


KUVIO 9. ”Pumppujen ohjaustavan energiatekninen optimointi affiniteettisääntöjä soveltaen” (Pulli 2012, 33.)

3.4 Pumpun virtauksen säätömenetelmät

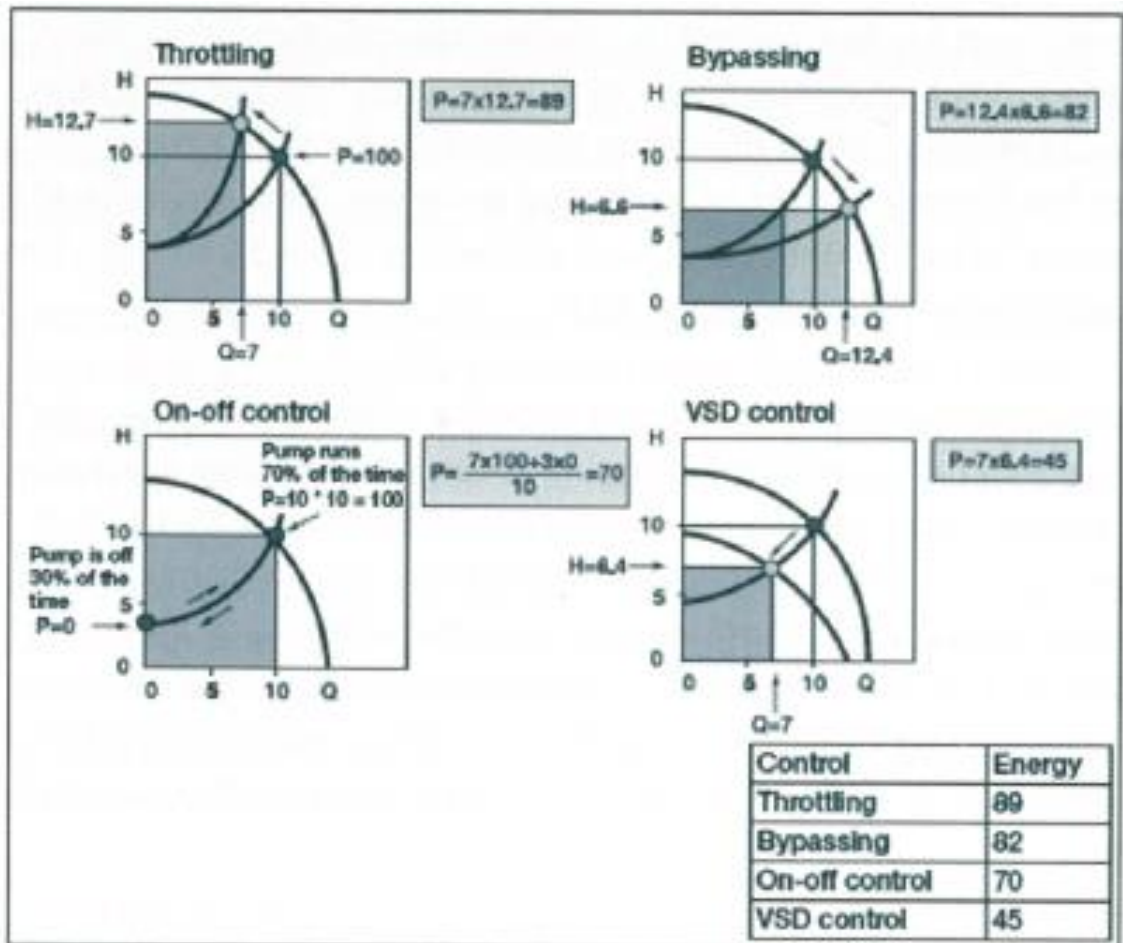
Pumpun virtauksen säätämiseen käytetään neljää yleistä menetelmää, kuvio 10, joita ovat:

- kuristusventtiili (throttling)
- ohitusventtiili (bypassing)
- On-off -säätö (On-off control)
- pumpun pyörimisnopeuden säätö (VSD control).



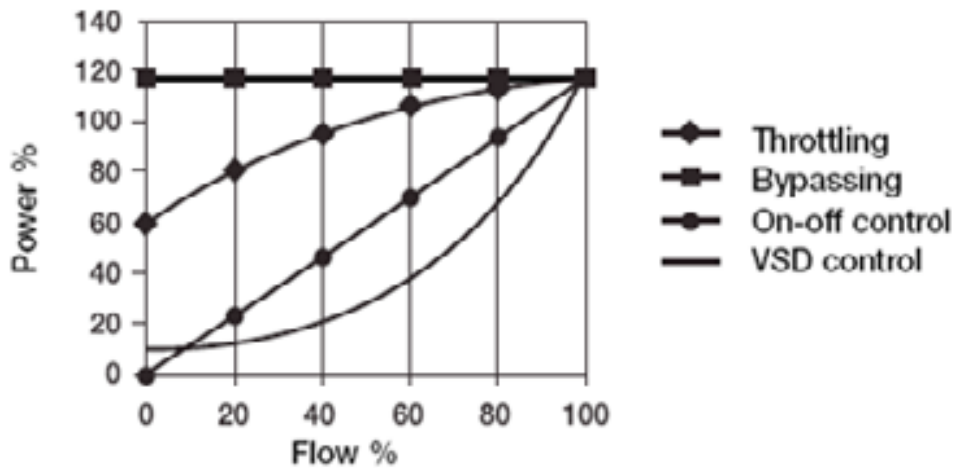
KUVIO 10. Virtauksen säätömenetelmiä (ABB. Power Generation. 64.)

Eri säätömenetelmien vastaavat tehon tarpeet voidaan laskea paine-virtaus-kuvaajista, arvioimalla x- ja y-akselin väliin jäävän alueen pinta-alasta sekä toimintapisteestä, kuvio 11. Laskenta perustuu pumpun tehon kaavaan, jossa lasketaan virtauksen ja nostokorkeuden tulo. Kuvion 11 oikeassa alakulmassa nähdään jokaisen säätömenetelmän lasketut tehon tarpeet tulovirtauksen ollessa 70 %. Tuloksista voidaankin päätellä, että pumpun nopeuden säätö virtauksen säätömenetelmänä on energiatehokkain menetelmä. (ABB. Power Generation. 63–65.)



KUVIO 11. Energiatohokkuuden vaikutus eri säätömenetelmiin (ABB. Power Generation. 65.)

Suhteellinen tehonkulutus eri säätömenetelmillä on riippuvainen virtauksen suuruudesta. Tätä suhdetta kuvaa alla oleva kuvio 12. Kuvaajassa on huomioitu myös pumpun ja moottorin vaikutukset.



KUVIO 12. Eri säätötekniikoiden vaikutus energiatehokkuuteen (ABB. Power Generation. 67.)

3.4.1 Kuristusmenetelmä

Virtausta voidaan säätää lisäämällä kuristusventtiili pumpun myötävirtaan. Kuristusmenetelmä muokkaa tehokkaasti prosessin ominaiskäyrää: venttiili aiheuttaa kitkaa prosessiin; joka johtaa prosessin ominaiskäyrän jyrkkenemiseen, näin ollen se risteää pumpun ominaiskäyrän kanssa alemmalla, halutulla virtausnopeudella. Ominaiskäyrän muutos on havaittavissa kuvion 11 vasemmassa yläkulmassa. Kuvion 11 esimerkissä toimintapiste siirretään ($Q = 10$, $H = 10$) -pisteestä ($Q = 7$, $H = 12,7$) -pisteeseen. Vastaavan tehon voidaan laskea olevan 89. (ABB. Power Generation. 64.)

Kuristusmenetelmällä on pienet investointikustannukset, mutta järjestelmät, joissa menetelmää käytetään hukkaavat energiaa kahdella eri tavalla: venttiilin ylioleva paine pienee ja pumppu on optimaalisen tehokkuuspisteensä alapuolella, koska sen kapasiteettia on alennettu. (ABB. Power Generation. 64 - 65.)

3.4.2 Ohitusventtiili

Ohitusventtiiliä ei käytetä usein virtauksen säädössä, mutta useimmiten tulee vastaan kierto-vesipumppusovelluksissa. Järjestelmän virtauksen ulostuloa pienennetään kierrättämällä osa pumpun ulostulosta takaisin pumpun imupäähän. Kiertojärjestelmän virtausta

säädetään venttiileillä. Kokonaisvirtaus suurenee, mutta pumpun nostokorkeus pienenee. Energian tarve on pienempi (82) kuin kuristusmenetelmää (89) käytettäessä, kuvio 11. (ABB. Power Generation. 66.)

Virtauksen uudelleenkierto kuluttaa energiaa, jonka vuoksi se tulisikin pitää minimissään. Virtauksen uudelleenkiertojärjestelmän automatisointi mahdollistaa sen, että venttiili aukeaa vain, jos pumpun mitattu virtaus putoaa alle määritetyn minimin. Tällaisia järjestelmiä liitetään muun muassa järjestelmiin, joissa hyödynnetään pumpun pyörimisnopeudensääntömenetelmää, näin ollen voidaan suojautua alhaisen virtauksentilanteilta. (ABB. Power Generation. 66.)

3.4.3 On-off-säätö

On-off-säätöä käytetään usein järjestelmissä, joissa portaatonsäätö ei ole tarpeen, kuten tankin paineen tai pinnan pitäminen määriteltyjen rajojen sisällä. Tällaisessa järjestelmässä pumppu on joko päällä tai pois päältä. On-off-säätö vaatii jatkuvaa tilavuusvirtaa, jonka vuoksi sitä ei juurikaan käytetä pääsääntömenetelmänä. On-off-säädettyihin järjestelmiin usein hyödynnetään myös muita säätötapoja. (ABB. Power Generation. 66.)

3.4.4 Pumpun pyörimisnopeuden säätö

Säädössä muutetaan pumpun kierroslukua eli säädetään pyörimisnopeutta, pumppu saadaan toimimaan uusilla toiminta-arvoilla ilman pumppauksen häviöiden lisääntymistä merkittävästi. BEP-pisteitä määritettäessä pumpun ominaiskäyrille, voidaan huomata, että paineen suhde on verrannollinen paineen suhteen neliöön affiniteettisääntöjen mukaisesti. (ABB. Power Generation. 67.)

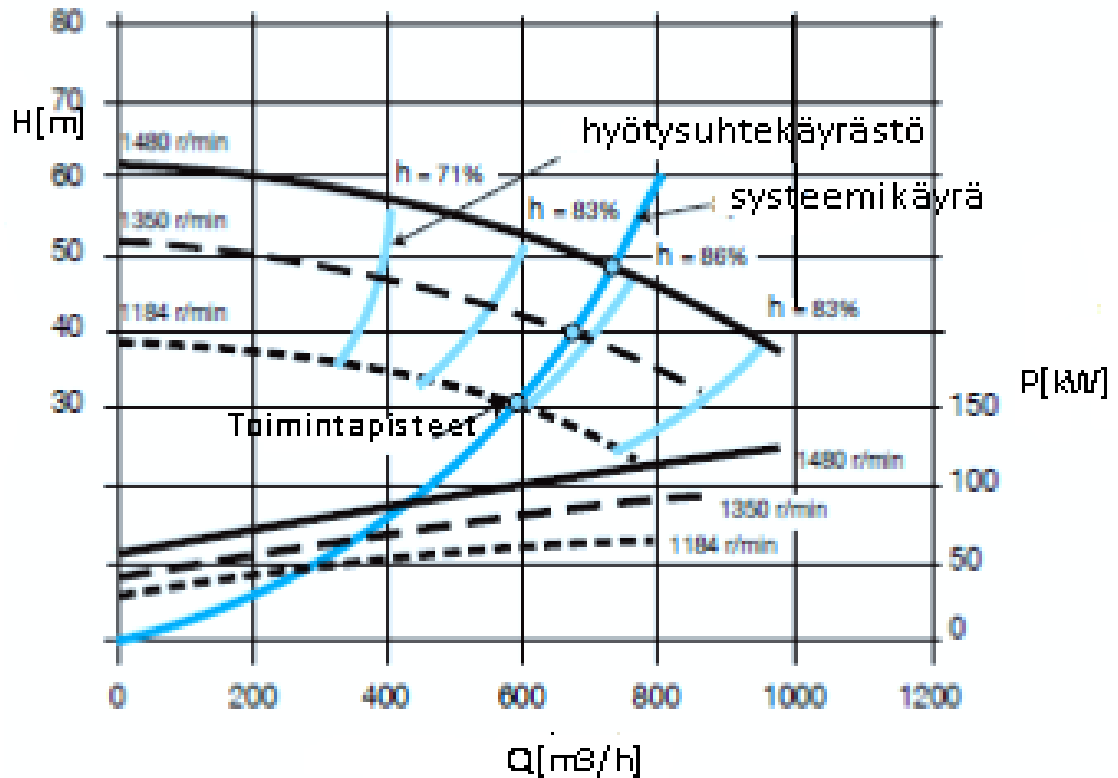
”Kierroslukusäätöisen pumpun hyötysuhde pysyy korkeana, kun kierrosluvut ovat lähellä mitoituspistettä. Kun toimintapiste siirtyy kierrosluvun muuttuessa kauemmaksi mitoituspisteestä, huononee pumppauksen hyötysuhde.” (Motiva, 8.) Muuttamalla nopeutta, saadaan toimintapiste seuraamaan muuttumatonta putkiston ominaiskäyrää lähemmäksi BEP-pistettä. Juoksupyörän nopeuden pienentämistä seuraa pumpun ominaiskäyrän laskeminen ja nopeuden lisääminen aiheuttaa ominaiskäyrän liikkumista ylöspäin. Pumpun

pyörimisnopeuden säätö on energiatehokkain säätötapa pumppausjärjestelmille. (ABB. Power Generation. 67.)

Taajuusmuuttajilla (invertteri) muutetaan nykyisin ensisijaisesti pyörimisnopeutta. Pumpun käyttämän sähkön taajuutta muutetaan taajuusmuuttajalla, taajuus on suoraan verrannollinen pumpun sähkömoottorin pyörimisnopeuteen ja siten myös pumpun pyörimisnopeuteen. Pyörimisnopeudensäätö voidaan myös toteuttaa nestekytkimellä (hydraulikytkin). Nestekytкимиä käytetään pääosin suuremmissa teholuokissa. (Motiva, 9.) Taajuusmuuttajilla voidaan saavuttaa jopa 30 - 50 % energiasäästöt. Taajuusmuuttajan käytön huonona puolena voidaan pitää pumppusysteemin hyötysuhteen alenemista. Aleneminen on kuitenkin hyvin minimaalista, sillä hyötysuhde taajuusmuuttaja sovelluksissa on 0,97 - 0,99 luokkaa. Taajuusmuuttaja-ajon hyötysuhde saadaan yli 0,80 huomioimalla moottorin tehokkuus. (Ruuskanen, 54.)

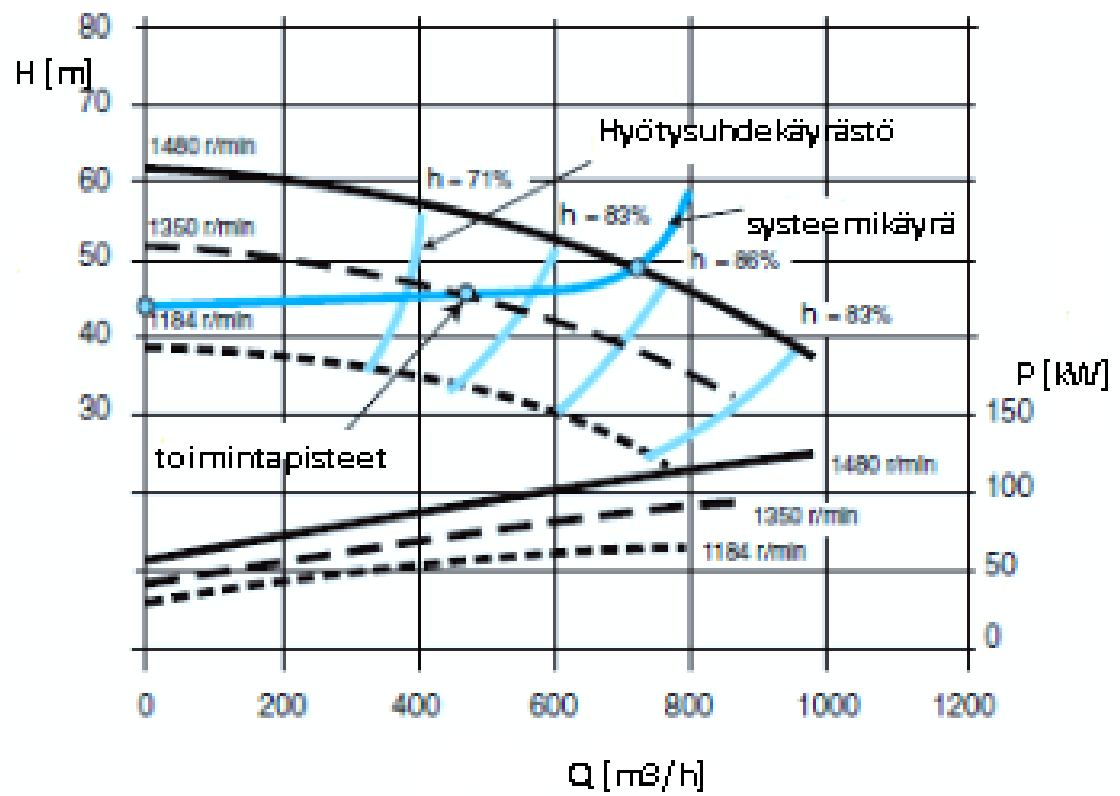
Taajuusmuuttaja ei sovellu tehokkaasti käytettäväksi kaikille pumppaamoille. Pumpuille, joiden nostokorkeus koostuu vain dynaamisesta nostokorkeudesta, eli virtauksien aiheuttamista painehäviöistä, pyörimisnopeus voidaan taajuusmuuttajalla säätää niin, että pumpun toimintapiste on jokaisella pyörimisnopeudella hyvän hyötysuhteen alueella. Näin pumpun tehokkuus ei laske pyörimisnopeuden muutoksista. (Viitala 2015, 17.)

Kuviossa 13 havainnollistetaan edellä mainittua pumppaussysteemiä. Vaaleansinisellä kuvataan hyötysuhdekäyriä. Kuvioista voidaan tulkita, että virtaaman ja pyörimisnopeuden laskiessa tehokkuus ei kriittisesti vähene. Näin ollen pumpun kolmen eri pyörimisnopeuden ominaiskäyrien toimintapisteet ovat samalla hyötysuhteella. (Viitala 2015, 17.)



KUVIO 13. Systeemikäyrä (Viitala 2015, 17.)

Pumpun pyörimisnopeuden säätö ei ole paras ratkaisu tilanteessa, jossa pumpun nostokorkeus muodostuu vain staattisesta nostokorkeudesta. Taajuusmuuttajasovelluksesta hyödytään vain sovelluksissa, joissa staattinen nostokorkeus on maksimissaan puolet nostokorkeudesta. (Viitala 2015, 18.) Kuviossa 14 esitetään systeemikäyrä pumpulle, jossa staattinen nostokorkeus on suurin osa kokonaisnostokorkeudesta. Kuviosta voidaankin päätellä, että pyörimisnopeuden vähentyessä hyötysuhde laskee. (Viitala 2015, 18.) ”Korkean staattisen nostokorkeuden vuoksi tehokkuus laskee, sillä eri pyörimisnopeuksien toimintapisteiden hyötysuhteet ja tuotto laskevat rajusti alemmille pyörimisnopeuksille mentäessä.” (Viitala 2015, 18.)



KUVIO 14. Systemikäyrä (Viitala 2015, 18).

4 ETpu-MENETELMÄ

Pumppaamon energiatehokkuuden määrittäminen keksinnön taustana voidaan pitää tarvetta saavuttaa merkittäviä energiatehokkuuden parannuksia pumppausprosesseissa vesihuoltotekniikan ja teollisuuden saralla. Euroopan sähkönkulutuksesta noin 70 % on sähkömoottoreiden kulutusta, josta jopa 22 % kuluu pelkästään pumppaussovelluksissa. Sähkönkulutuksessa olisi kuitenkin mahdollista säästää noin 30 - 50 % pelkästään erilaisilla laite- ja säätöparatkaisuilla. Niina Arannon tutkimusraportin mukaan olemassa olevien pumppausjärjestelmien kokonaishyötysuhde on varsin heikko, vain 40 % tai vähemmän. Pelkästään Suomen mittakaavassa sähköenergian kulutus oli Motivan vuonna 2013 teettämän tutkimuksen mukaan lähes 84 TWh. Pelkästään tämän perusteella voidaan todeta, että säästöpotentiaalin havaitseminen ja hyväksikäyttämisen tarve on erittäin suuri. (Pat. FI 124877.)

Luvussa 3.2 käsiteltiin energiatehokkuuden tunnuslukua, ETpu:a, menetelmän määrittäminen on tässä luvussa käsiteltävän patentin ydin.

Kun pumppaamon ja laitteiden ja sisäisten putkistojen valinta ja suunnittelu on tehty siten, että niiden energiahäviöt lähestyvät nolaa ja samanaikaisesti pumppaamon pumppuja käytetään ja ohjataan siten, että pumppujen hyötysuhde lähestyy parhaan hyötysuhteen (nimellishyötysuhde) arvoa, niin tällöin energiatehokkuuden tunnusluku ETpu lähestyy arvoa yksi. (Pat. FI 124877.)

Menetelmän tarkoituksena on määrittää pumppaamon energiatehokkuus reaaliajassa. Menetelmässä huomioidaan kaikkien energiankäyttöön vaikuttavien järjestelmien ja laitteiden vaikutukset, näitä ovat muun muassa pumppaamon laitteet, putkistot ja pumppujen ohjausjärjestelmät. Tarkoituksena onkin todeta laitevalintojen, pumppujen ohjaus sekä ylipäätään pumppaamon suunnittelun onnistuminen. Menetelmässä havainnoidaan myös pumppaamon käyttötilanteiden vaihdellessa pumppaamon toimintaa energiatehokkuuden kannalta verrattaessa parhaaseen mahdolliseen tilanteeseen. (Pat. FI 124877.)

Energiatehokkuuden mittaukset voidaan toteuttaa siirrettävillä laitteilla tai pumppaamon valvomoon asennettavalla kiinteällä monitorointijärjestelmällä. Valvomoon asennettavalla monitorointijärjestelmällä saavutetaan mahdollisuus pumppaamon toiminnan seu-

raamiseen reaaliajassa ja operaattorille annetaan mahdollisuus ”suorittaa tarvittavat muutokset esim. pumppausyhdistelmissä, säätöparametreissa, kierrosluvuissa jne. energiatehokkuuden optimoimiseksi”. (Pat. FI 124877.)

Menetelmässä yhdeksi pumppaamon kanssa ekvivalentiksi pumpuksi voidaan käsittää koko pumppaamo, johon sisältyvät putkisto ja muut laitteet ominaisuuksineen. Muita laitteita ovat muun muassa pumput, moottorit, kierrosluvun säätölaitteet, voimansiirto, sähkökaapelit ja asennuksen kohdistusvirheet. ”Ekvivalenttisuuden johdosta kaikki putkistojen ja laitteiden toiminnalliset, rakenteelliset ja geometriset epäsymmetriat tulevat automaattisesti huomioiduiksi.” (Pat. FI 124877.)

Toiminnallisina epäsymmetrioina voidaan pitää muun muassa seuraavia:

- pumppujen eri kierrosluvut
- kierroslukujen muutosprosessit
- käynnistymiset ja pysähtymiset
- toimintaventtiilien asennot ja asennon muutosprosessit.

Kun taas rakenteellisina epäsymmetrioina voidaan pitää muun muassa:

- venttiilityyppien ja eri komponenttien keskinäiset eroavaisuudet
- voimansiirron kohdistusvirheet.

Geometrisiä epäsymmetrioita ovat:

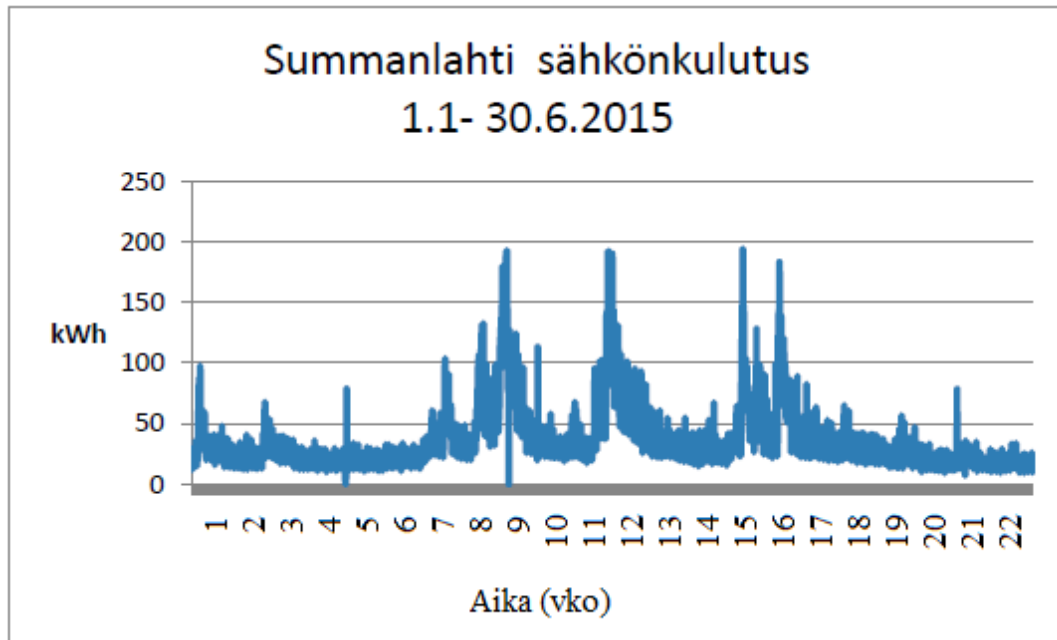
- putkistojen keskinäiset epäsymmetriat ja dimensiot
- pumppujen toisistaan poikkeava sijainti runkoputkistoon nähden.

(Pat. FI 124877.)

4.1 Referenssiprojekti

Menetelmän toimintaa ja käytettävyyttä on päästy kokeilemaan jo muutamissa referenssiprojekteissa, joista alla perehdytään niistä yhteen. Käsitellään Haminan Veden suurinta pumppaamoa, Summanlahden jätevesipumppaamoa. Pumppaamossa on kolme märkäasennettua keskipakopumppua, joita ohjataan pääsääntöisesti vuorotellen. Jätevesimäärän kasvaessa pumppuja voidaan ohjata yhtä aikaisesti rinnan. Pinnankorkeuden mukaan

pumppujen ohjauksessa käytetään taajuusmuuttajaa. Kuvaaja 1 havainnollistetaan Summanlahden jätevesipumppaamon sähkönkulutusta ja sen muutosta puolen vuoden ajalta. Tutkittavan puolen vuoden aikana keskimääräinen virtaama oli $274 \text{ m}^3/\text{h}$. (Viitala 2015, 28.)



KUVAAJA 1. Summalahden jätevesipumppaamon sähkönkulutus aikavälillä 1.1. - 30.6.2015 (Viitala 2015, 28, muokattu 2016.)

4.2 ETpu-menetelmän käyttö Summalahden jätevesipumppaamolla

Patentin mukaista ETpu-menetelmää käytettiin jätevesipumppaamolla lukemalla laskennassa tarvittavat mittausarvot valvomon tietokoneelta. Menetelmää varten ei pumppaamolle tarvinnut asentaa uusia mittauslaitteita, sillä tarvittavat mittausarvot olivat saatavilla jo ennestään. Tarkasteltavia mittaustuloksia olivat:

- pumpulle syötettävä sähköteho P_e [kW]
- paine pumppaamon ja lähtevän paineputken rajalta p [Pa]
- virtaama painemittauskohdassa Q [m^3/h]
- imualtaan vesipinnankorkeus [m].

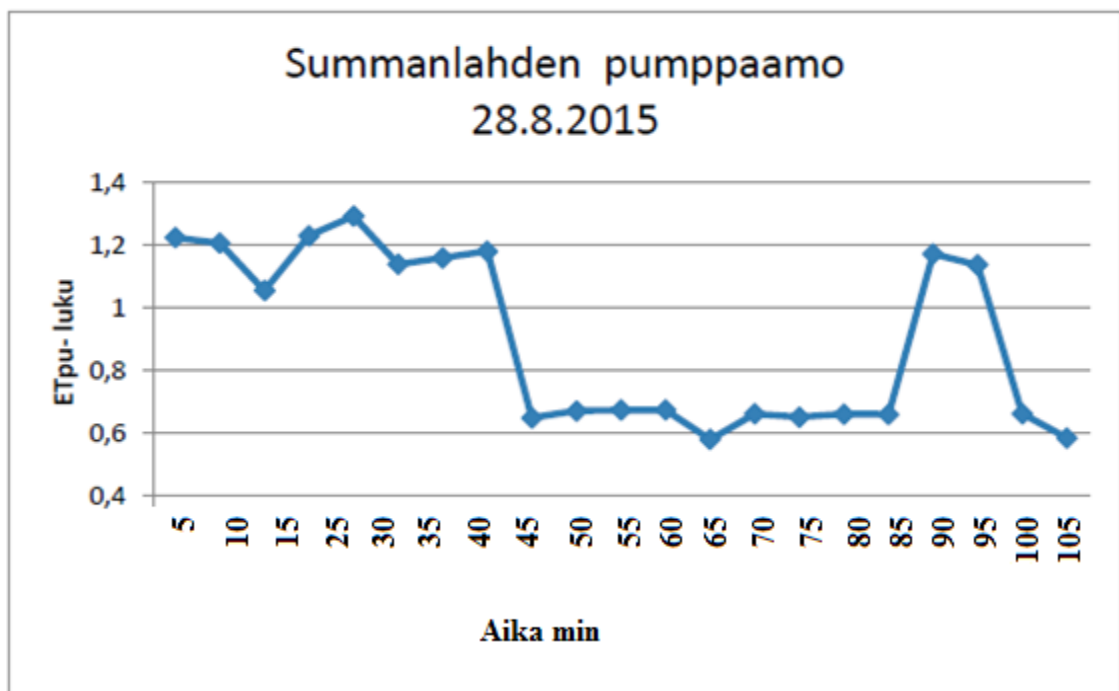
(Viitala 2015, 29.)

Pumppaamon toimintaa tarkasteltiin kahdessa erimittaisessa jaksossa eri päivinä. Ensin tarkastelu suoritettiin kahdeksan tunnin ajalta ja toisella kerralla 2,5 tunnin ajalta. Mit-

taustuloksia kerättiin viiden minuutin välein. Ensimmäisen jakson tarkastelun jälkeen tehotietojen asennuksissa huomattiin virhe, joka korjattiin seuraavaan mittauskertaan. Näin ollen ETpu-menetelmän mukaiset laskennat voitiin suorittaa vain jälkimmäisistä mittauksista.

Laskennoista saatavista tuloksista huomattiin, että 2/3 pumpuista toimi mittausajan virtaamalla heikolla hyötysuhteella ja ETpu-luku oli välttävällä tasolla. Tulosten perusteella voitiin todeta, että korjaustoimenpiteet olisivat erittäin suositeltavia, jos halutaan päästä energiatehokkaampiin tuloksiin.

Mittauksissa huomattiin virheitä, sillä ETpu-luku oli lähes puolet mittausajasta yli lukuarvon 1, kuvaaja 2. ETpu-luku ei kuitenkaan missään tilanteessa voi olla suurempi kuin 1. Mittauslaitteita ei kalibroitu ennen mittauksia, mikä voi johtaa virheellisiin tuloksiin, myös mittausarvojen luku tietokoneelta on saattanut olla virheellistä. Myös mittauslaitteiden toiminnan tarkistamatta jättäminen ennen mittauksia saattaa johtaa virheellisiin tuloksiin.



KUVAAJA 2. Muutokset ETpu-luvussa mittauksien aikana (Viitala 2015, 30, muokattu 2016.)

Mittauksen tulokset havainnollistavat hetkittäisiä arvoja, eikä kokonaistehokkuutta, sillä jatkuvaa tiedonkeruuta ei ollut mahdollista järjestää. Jo kahdenkin vuorokauden jatkuvan

tiedonkeruun ja laskennan tuloksista saataisiin kattavaa tietoa pumppaamon energiatehokkuudesta. Menetelmän hyödyllisyyden kannalta olisi tärkeää saada mittaustuloksia tilanteista, joissa pumput olisivat useasti aktivoituneita samanaikaisesti, näin ollen pystyttäisiin arvioimaan paremmin erilaisten pumppuyhdistelmien energiatehokkuutta. (Viitala 2015, 30 - 31)

5 PEMS-JÄRJESTELMÄ

Laskettaessa vesipumpun hyötysuhdetta pystytään käyttämään kullekin sovellukselle tehokkaimpia mahdollisia pumppuja. Tällä tavoin on mahdollista saavuttaa merkityksellisiä energiansäästöjä. Verrattaessa laskettua hyötysuhdetta pumpun nimellishyötysuhteeseen pystytään helposti määrittelemään ja suunnittelemaan pumpuille tarpeellisten huoltojen ja vaihtojen ajankohdat. (ABB. PEMS. 1.)

PEMS-järjestelmän periaate ja metodi on kehitetty ABB:n ja Darmstadt Yliopiston kanssa jo vuonna 2006. Sen jälkeen PEMS on toiminut erilaisilla ohjelmoitavilla logiikkaohjaimilla. Vuonna 2013 saksalainen Andreas Berthold sai tehtäväkseen uudistaa PEMS laitteistoa. Tällöin päädyttiin nykyäänkin käytössä olevaan AC500 ohjaimeen. Laskelmat ovat olleet alusta asti samanlaiset ja niihin ei ole ollut tarvetta tehdä uudistuksia tai muutoksia. (Berthold 2016)

5.1 Haasteet

95 % suurten pumppujen elinkaaren aikaisista kuluista on energiakustannuksia. Näinä aikoina jolloin energianhinnat ovat huipussaan, on tämä valtavan suuri kulu, näin ollen optimaalisilla pumppujen käytöillä saataisiin säästettyä suuria kuluja. Useinkaan pumppujen toimittajien tarjoamat tiedot pumpuista eivät ole riittäviä arvioimaan optimaalista pumpun toimintaa. Tiedot ovat ainoastaan arvioita ja perustuvat vertaileviin mittauksiin. Pumpun hyötysuhde on kuitenkin riippuvainen pumpun kuormasta sekä pumpun iästä. Ilman hyötysuhteen mittauksia ei tiedetä juuri mitään pumpun todellisesta hyötysuhteesta. Näin ollen, miten pystytään arvioimaan, mikä pumppu toimii parhaiten hyötysuhdetta ajatellen? (ABB. PEMS. 1.)

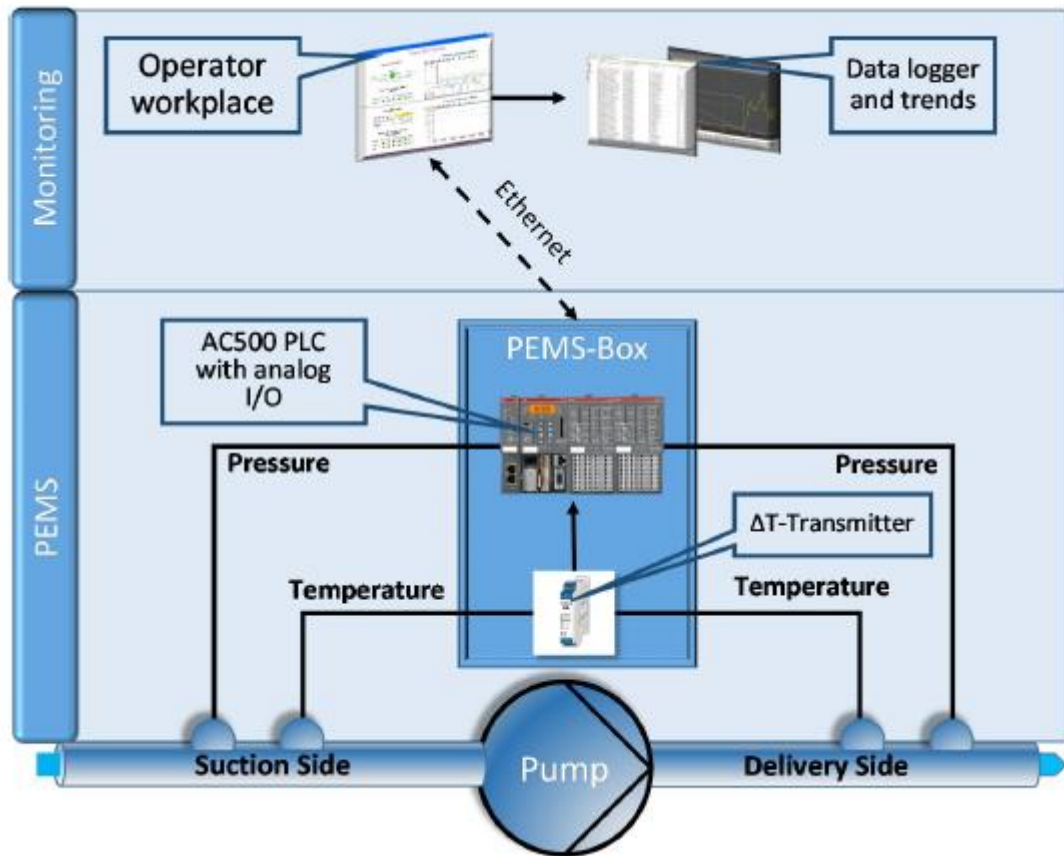
5.2 Ratkaisu

ABB on yksi maailman johtavia yrityksiä tehtaiden optimoinnin alueella. Pumpun hyötysuhteen monitorointijärjestelmä (PEMS) tuotteena tarjoaa mahdollisuuden yksityiskoh- taisen pumpun hyötysuhteen tarkastelun. ABB:n PEMS käyttää korkeatarkkuuksista mit-

tausjärjestelmää täsmälliseen ja jatkuvaan termodynaamiseen kuormariippuvaisen hyötysuhteen ja pumpun virtauksen laskentaan. Termodynaaminen laskenta ja tiedonkeruu tapahtuvat sisäisesti ABB:n ohjelmoitavalla logiikkaohjaimella. Laskettu data on tarkasteltavissa WWW-palvelimessa tai missä tahansa laitoksen säätöjärjestelmässä analogialähdön kautta. (ABB. PEMS User Manual, 7.)

5.3 Laitteistokokoonpano

Kuviossa 15 on nähtävissä PEMS-järjestelmän rakenne. (ABB. PEMS User Manual, 7.)



KUVIO 15. PEMS-järjestelmän rakenne (ABB. PEMS User Manual, 7).

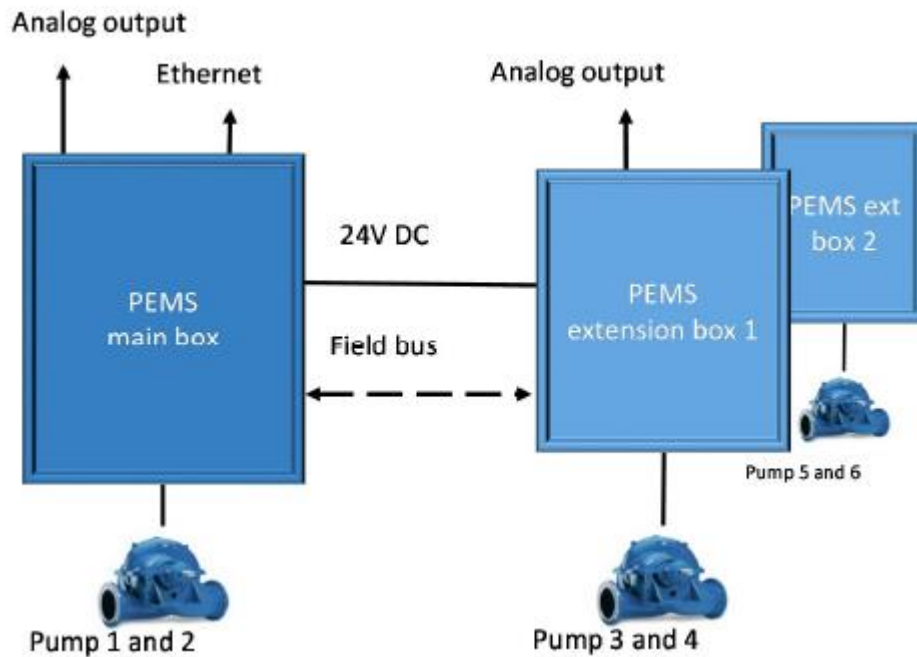
PEMS:n laskettu hyötysuhde mahdollistaa pumpun operaattorin käyttää pumppua korkeimmalla hyötysuhteella ja valita suorituskyvyltään oikeat pumput kuhunkin operaatioon. Tämän lisäksi PEMS:n avulla voidaan määrittää ja optimoida tarvittavien huoltojen ajankohdat ja pumppujen vaihdot uusiin, näin ollen pystytään minimoimaan käyttökatkot. (ABB. PEMS User Manual, 7.) Luottamuksellisessa liitteessä 1 esitetään tarkempi käyttöopas PEMS-järjestelmälle.

5.4 Mittaukset

Mittauksia tehdään paine- ja lämpötila-antureilla, jotka on sijoitettu sekä imu- että syöttöpuolelle pumppua. Pumpun häviöt johtavat lämpötilan nousuun syöttöpuolella, näin ollen syöttö- ja imupuolen välillä on pieni veden lämpötilaero. Painemittauksia ja lämpötilaeroa käytetään laskettaessa reaaliaikaista suorituskykyä ja pumpun virtausta. (ABB. PEMS User Manual, 7.)

5.5 Konfiguraatiot

Kenttäkotelot voidaan jakaa kahteen kategoriaan, pää- (main box) ja lisäkoteloihin (extension box 1 & 2). Pääkoteloa voidaan yksinään käyttää monitoroimaan kahden pumpun hyötysuhdetta. Pääkoteloon voidaan liittää kaksi lisäkoteloa. Molemmat lisäkotelosta mahdollistaa lisäksi kahden pumpun monitoroinnin, näin ollen PEMS järjestelmällä voidaan monitoroida maksimissaan kuuden pumpun hyötysuhdetta. (ABB. PEMS User Manual, 8.) PEMS-järjestelmää suositellaan yli 200 kW pumpuille, järjestelmille joissa nesteen paine on yli 7 bar ja putkien halkaisija on vähintään 15 cm (ABB. PEMS. 2). Kuvista 16 voidaan huomata, että lisäkotelot saavat jännitteensyöttönsä pääkotelolta ja kotelot kommunikoivat keskenään kenttäväylän välityksellä.



KUVIO 16. PEMS-kotelot (ABB. PEMS User Manual, 8).

5.6 Lähtösignaalit

PEMS:n lähtösignaaleja ovat:

- Pumpun hyötysuhde
- Paine imupuolella
- Paine syöttöpuolella
- Lämpötilaero
- Lämpötila imupuolella

PEMS:in integroituun serveriin saa yhteyden selaimella tai Ethernetin kautta. Käyttöliittymä mahdollistaa yllämainittujen mittauksien ja tuloksien monitoroinnin reaaliajassa. Lisäksi se antaa operaattorille mahdollisuuden muokata pumppujen parametreja. Jos lisäkotelaita on liitetty pääkoteloon, hyötysuhteen laskennat kaikille pumpuille siirretään pääkoteloon, johon Ethernet-yhteydellä saadaan yhteys. (ABB. PEMS. 3.)

5.7 Yhteydet

PEMS vaatii toimiakseen 100 – 240 VAC sekä 50 tai 60 Hz. Lisäkotelot saavat jännitteensyöttönsä pääkotelolta, 24 VDC. Yhteydet pääkotelon ja lisäkoteloiden välillä on hoidettu kenttäväylällä. Järjestelmän ollessa yhteydessä Internettiin, voidaan PEMS-järjestelmää käyttää myös etänä. (ABB. PEMS. 3.)

5.8 Asennus

PEMS voidaan asentaa jo olemassa oleviin järjestelmiin analogiasignaalin välityksellä tai Ethernet-väylän kautta. Järjestelmään voidaan yksinkertaisesti liittää muitakin hyödyllisiä mittauksia, paineen, lämpötilan ja lämpötilaeron lisäksi. Tällaisia mittauksia kokeillaan ensimmäistä kertaa Jyväskylään tehtävässä pilottiprojektissa. Aiheesta kerrotaan enemmän kappaleessa 8.1.

Tuotannollisia katkoja ei synny asennusvaiheessa, jos lämpötilan- ja paineenmittausta varten löytyvät vaadittavat yhteydet jo valmiina asennuskohteessa. Vaadittavia sisääntulotietoja ovat pumpun datalehti ja ominaiskäyrä. Toimitusaika projektille on varsin lyhyt, 4 kuukautta siitä, kun ABB on vastaanottanut asiakkaan sisääntulotiedot. Toimitusaikaan vaikuttavat myös tietysti yhteydet ja mahdollisesti niiden rakentaminen.

5.9 Hyödyt

PEMS-järjestelmän käyttö mahdollistaa seuraavia hyötyjä:

- Laskelmat reaaliaikaisesta pumpun hyötysuhteesta
- Vertailua pumpun hyötysuhteista, joiden avulla voidaan tehdä pumpun käyttöstrategioita
- Tärkeät pumpun mittaukset käyttöliittymästä Ethernet-yhteydellä tai analogiasignaalilla
- Mahdollisuudet optimoituihin huoltoajankohtiin ja pumpun vaihtoaikoihin
- Lyhentää käyttökatkoja
- Kokonaisuudessaan alentaa energiankulutusta ja kuluja
- Nopea käyttöönotto, johtuen yksinkertaisesta laiterakenteesta

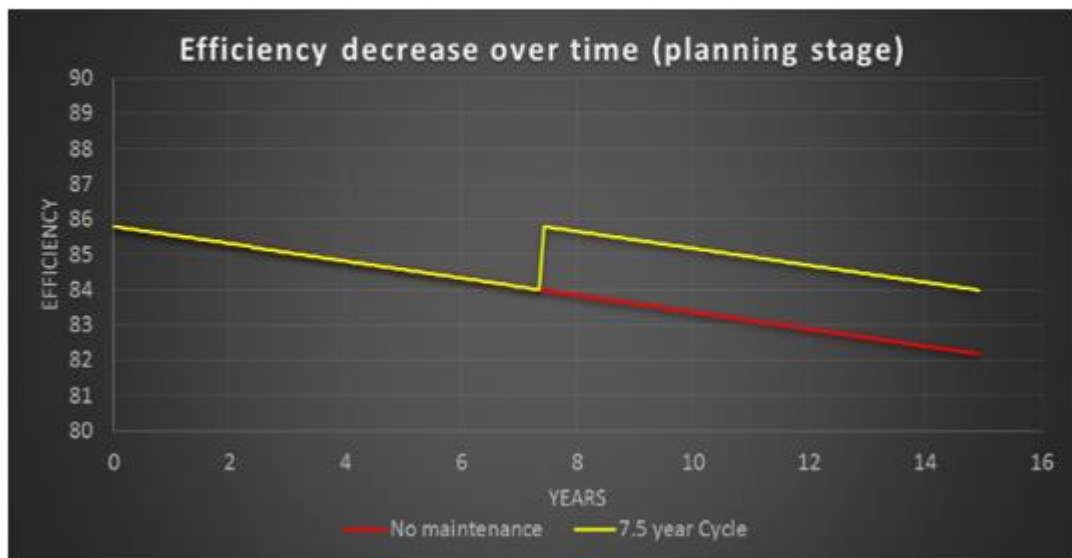
- Voidaan helposti integroida jo olemassa olevaan järjestelmään
- Historia ja trendit
- ABB:n PEMS-järjestelmällä on olemassa olevia referenssejä muutamissa projekteissa.

(ABB. PEMS. 3.)

5.10 Kannattavuusanalyysi

Kohde 1 (kuvio 17) kuvaa pumpun elinkaaren hyötysuhteen alenemista pumpulle suunnitellussa 7,5 vuoden huoltosyklissä ja tilanteessa, jossa pumpua ei huolleta. Käyrät ovat valmistajan antamia arvioita pumpun elinkaaresta. Keltainen viiva kuvaa hyötysuhdetta 7,5 vuoden huoltosyklillä, punainen taas tilannetta, jossa huoltoja ei tehdä.

Kohde 1

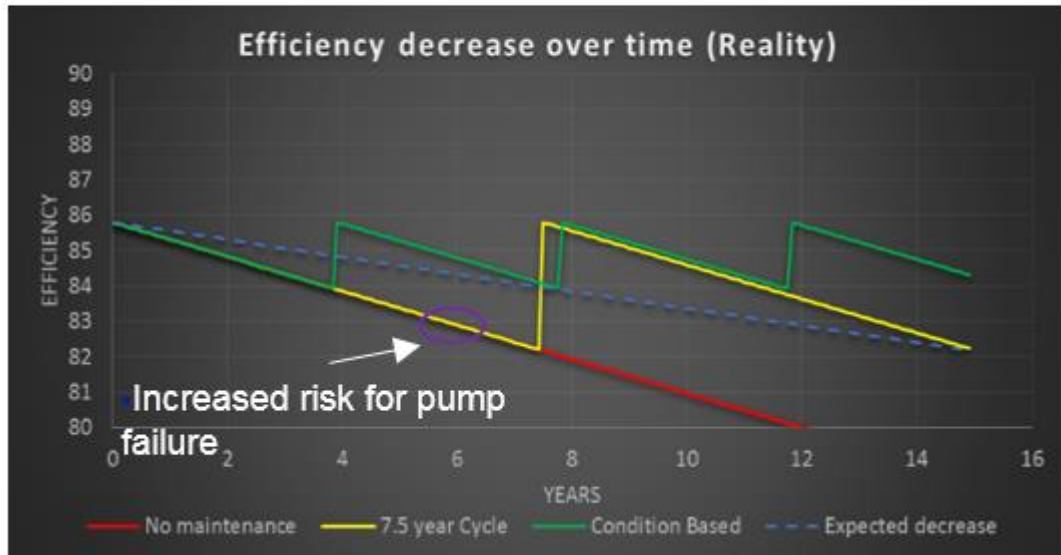


KUVIO 17. Kohteen 1 hyötysuhteen aleneminen ajan kuluessa (Optimax PEMS).

Kuviossa 18 kuvataan kohdetta, jossa on oletettu, että todellinen hyötysuhteen aleneminen on suurempaa, kun kohteessa 1 luvataan. Kuvion 18 sininen katkoviiva on luotu vertaamalla suunniteltua arvoa ja todellista punaisen viivan arvoa. Tässä tapauksessa suunniteltu 7,5 vuoden syklissä tapahtuva huolto tapahtuu huomattavasti heikommalla hyötysuhteella, kuin on oletettu suunnitteluvaiheessa. Täten riski pumpun rikkoutumiseen kasvaa alhaisilla hyötysuhteen arvoilla, tilanne kuvattu violetilla ympyrällä kuviossa 18. Tätä

voidaan pitää myös pumpun huonon kunnan mittarina. Vihreällä viivalla kuvataan optimoitua, PEMS:iin perustuvaa, huoltosykliä.

Kohde 2



KUVIO 18. Kohteen 2 hyötysuhteen aleneminen ajan kuluessa (Optimax PEMS).

Taulukossa 2 esitetään kohteen 1 ja 2 kuluja ja säästöjä erilaisilla huoltosykleillä. Kohteessa 2 käytetään PEMS-järjestelmää, jonka avulla voidaan arvioida pumpun kuntoa ja ajoittaa huollot oikeisiin aikoihin kunnan perusteella. Näin ollen pystytään pidentämään pumpun elinkaarta ja sen aikaista hyötysuhdetta.

Kokonaiskulut ilman huoltoja kasvavat 1,43 miljoonalla eurolla, johtuen korkeammasta hyötysuhteen alenemisesta. Verrattaessa 7,5 vuoden huoltosykliä ja kuntoperusteista huoltosykliä, voidaan kuntoperusteisella huoltosyklillä säästää jopa 0,3 miljoonaa euroa. Tästä voidaan laskea, että PEMS-järjestelmään investoiminen maksaa itsensä takaisin alle kahdessa vuodessa, tarkalleen ottaen 19 kuukaudessa.

TAULUKKO 2. Kulut ja säästöt (Optimax PEMS).

No.	Selitys	Kohde 1	Kohde 2
1	Kulut ilman huoltoja	57,75 M€	59,18 M€
2	Säästöt 7,5 vuoden syk- lissä	716,9 k€	1,298,2 k€
3	Säästöt kuntoperusteisella syklillä	-	1596,9 k€

5.11 Sovelluskohteet

PEMS-järjestelmää voidaan hyödyntää useissa kohteissa. Yleisimpiä sijoituskohteita ovat lämpövoimaloiden syöttövesipumpuissa, käyttövesijärjestelmän pumpuissa sekä veden siirtojärjestelmissä, kuten suolanpoistossa merivedestä. Sovellusmahdollisuutena pidetään myös eri teollisuudenaloja, kuten kemianteollisuutta ja paperiteollisuutta. Teollisuuden aloilta ei ole vielä referenssikohteita, joihin voitaisiin viitata kappaleessa 6.

Kohteiden ainoa rajoitus on pumppujen teho ja paineluokat. PEMS:iä suositellaan asennettavaksi vain pumppuihin, joiden teho ylittää 200 kW ja järjestelmän paine on yli 7 bar. Muuten sovelluskohteita on lähes rajattomasti. Tulevaisuudessa saatetaan nähdä muun muassa PEMS-järjestelmän sijoittamista sovelluksiin, joissa on käytössä esimerkiksi puhaltimia.

6 PEMS REFERENSSIPROJEKTIT

Luvussa tutustutaan viiteen ABB:n referenssiprojektiin neljässä eri maassa, joita ovat Saksa, Saudi Arabia, Kuwait sekä Libya. PEMS-järjestelmää on kokeiltu ennen Suomen pilottiprojektia enimmäkseen juomaveden pumppauslaitoksiin, mutta referenssiprojekteja on myös syöttöveden sekä meriveden pumppaussovelluksista. Projekteissa on kokeiltu järjestelmää hyvin erilaisiin ympäristöihin, pumppujen määrät vaihtelevat yhdestä pumpusta aina 16:sta pumppuun asti. Myös tehot ja paineluokat ovat hyvin erilaisia. Taulukossa 3 esitellään referenssiprojektien teknisiä tietoja pumppujen tehot ja vallitsevat paineet sekä pumppujen lukumäärä.

TAULUKKO 3. Referenssiprojektien tekninen tieto (ABB. OPTIMAX PEMS).

Sijainti	Pumppujen lukumäärä	Teho ja paine	Tyyppi
Bodensee Wasserversorgung, Saksa	6 pumppua	8 / 11 MW, 31 bar	Makeavesi
Ingolstadt Voimalaitos, Saksa	1 pumppu	8 MW, 210 bar	Syöttövesi
Benghazi Conveyance Pumppausasema 319, Libya	7 pumppua	2,4 MW, 7 bar	Makeavesi
Shoiba, Phase III Vedensiir- tojärjestelmä, Saudi Arabia	1 pumppu	3 MW, 24 bar	Makeavesi
Shuaiba, Plant C Meriveden jäähdytys- ja pumppaus- asema, Kuwait	16 pumppua	3,6 MW, 7 bar	Merivesi

6.1 Saksa

Saksassa PEMS-järjestelmä on otettu käyttöön kahdessa erillisessä projektissa. Toinen sijaitsee Saksan ja Sveitsin rajalla Constance-järven juomaveden pumppaamossa, kun taas toinen on otettu käyttöön öljyvoimalaitoksessa Baijerissa.

6.1.1 Ingolstadt

Ingolstadt voimalaitos on yksi suurimpia öljypolttoisia voimalaitoksia Baijerissa. Voimalaitos koostuu nykyisin kahdesta 420 MW laitosyksiköstä. Alkujaan laitos koostui kahdesta 150 MW yksiköstä, jotka rakennettiin 1965, yksiköt kuitenkin suljettiin jo 1994. Uudet yksiköt 3 (v. 1973) ja 4 (v. 1974) ovat vielä nykyäänkin käytössä. Laitoksilla on käytössä ainoastaan raskasta polttoöljyä polttoaineena. (E.ON SE).

Voimalaitokset omistaa saksalainen energiayritys E.ON, joka on maailman suurin yksityisomistuksessa oleva energiayhtiö. Voimalaitoksia kuitenkin operoi saksalainen yritys Uniper Kraftwerke GmbH. (E.ON SE).

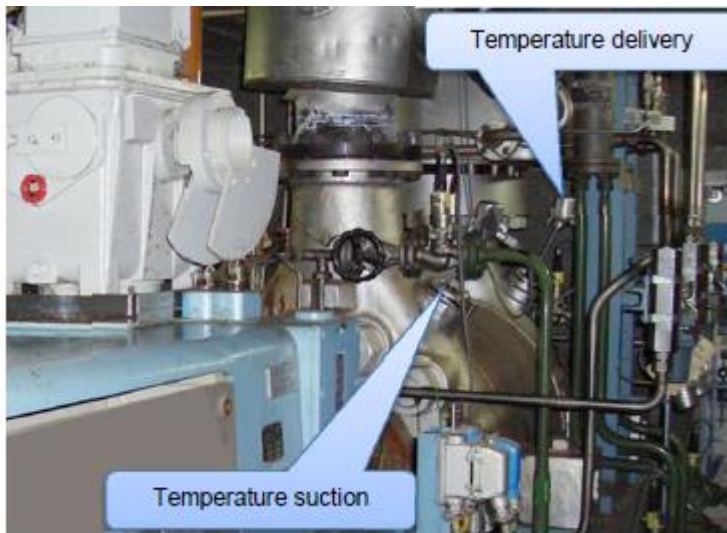
6.1.2 Ingolstadtin referenssiprojekti

PEMS-järjestelmä asennettiin vuonna 2008 syöttövesipumppuun Ingolstadtin voimalaitokseen. Kyseinen projekti on ensimmäinen PEMS-järjestelmän referenssiprojekti. Taulukossa 4 on pumpun teknistä dataa. (ABB. PEMS reference Ingolstadt).

TAULUKKO 4. Ingolstadtin voimalaitoksen pumpun tekninen data (ABB. PEMS reference Ingolstadt).

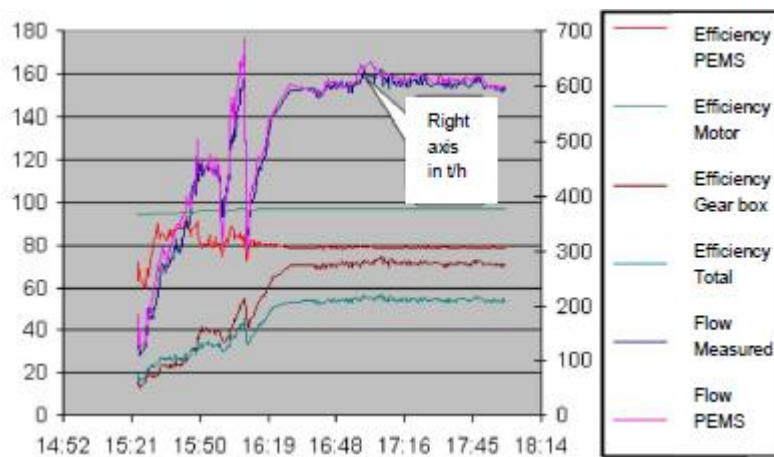
Sähköteho	8 MW
Veden lämpötila	150 - 180 °C
Veden paine painepuolella	120 - 220 bar

Mittaukset suoritettiin paine- ja lämpötila-antureilla, jotka on sijoitettu pumpun imu- ja syöttöpuolille. Projektin yhteydessä asennettuja lämpötila-antureita ja jo olemassa olevia paineantureita käytetään pumpun reaaliaikaisen hyötysuhteen laskemiseen. Massavirtauksen laskenta lisättiin myös PEMS laskentoihin. Kuvassa 1 nähdään asennetut lämpötila-anturit imu- ja syöttöpuolella pumppua. (ABB. PEMS reference Ingolstadt).



KUVA 1. Lämpötila-anturien asennuskohdat (ABB. PEMS reference Ingolstadt).

Kuvio 19 esittää höyrykattilan käynnistysketjun mittauksia. Ketjusta voidaan havaita, että hyötysuhde nousee aina nimellisarvoon asti, kun pumppua käytetään tasapaino-tilassa. Voidaan myös todeta, että mitattu ja PEMS:llä laskettu virtaus ovat hyvällä tasolla.



KUVIO 19. Höyrykattilan käynnistysketjun mittaukset (ABB. PEMS reference Ingolstadt).

Syöttöveden lämpötila on 150 °C ja 180 °C välillä ja paine nousee imupuolen 10 baarin paineesta syöttöpuolen 120 - 220 baarin paineeseen. Pumppua ohjataan 8 MW moottorilla ja hydraulisella vaihteistolla.

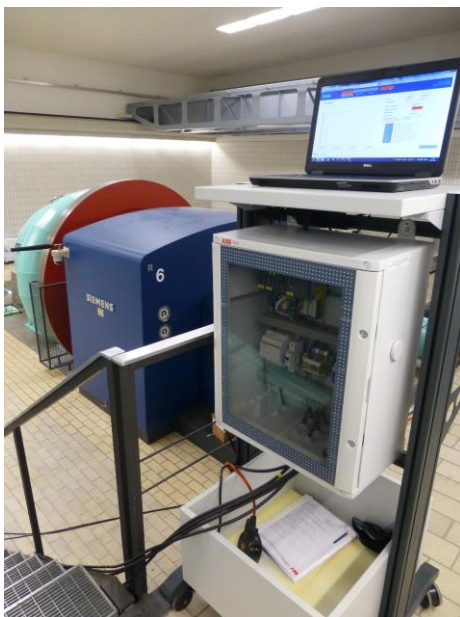
PEMS:n hyötysuhteen arvoa käytetään tässä projektissa enimmäkseen syöttövesipumpun kuntoperusteisen huollon oikein ajoittamiseen. (ABB. PEMS reference Ingolstadt).

6.1.3 Bodensee Wasserversorgung ("Lake Constance Water Supply")

Constance järvi on Keski-Euroopan kolmanneksi suurin järvi, pituudeltaan 63 km ja leveimmistä kohtaa melkein 14 km. Pinta-alaa järvellä on jopa 571 km², syvin kohta on 252 metriä. Constance on tärkeä juomaveden lähde Lounais-Saksalle, noin 4 miljoonaa ihmistä saa juomavedensä tästä Euroopan suurimmasta juomavesialtaasta. Joka vuosi 60 metrin syvyydestä pumpataan yli 130 milj. kuutiometriä vettä. Vesilaitoksen kapasiteetti on noin 15 000 m³/h ja sen kokonaispinta-ala on jopa 3 000 m². Vesilaitosta operoi Water Works Sipplinger Berg -niminen yhtiö. (EVERS GmGH & Co. KG.)

6.1.4 Bondensee Wasserversorgungin referenssiprojekti

Bondensee Wasserversorgungin vesilaitoksella on ollut käytössä pumppujen hyötysuhteen mittausjärjestelmä vuodesta 1995 asti. Vanha järjestelmä on Iso-Britannialaisen Yates yrityksen valmistama. Vuonna 2009 vesilaitos osti ABB:n hyötysuhteen mittausjärjestelmän, joka asennettiin mittaamaan kuuden makeavesipumpun hyötysuhdetta. Kyseinen järjestelmä oli PEMS-järjestelmän edelläkävijä. Vuonna 2014 ABB sai tilauksen PEMS-järjestelmälle, asiakas halusi siirrettävän version AC500:sta (kuva 2). Tilauksen jättämisestä aina asennukseen asti kului 4 kuukautta. (Berthold 2016).



KUVA 2. Siirrettävä versio AC500:sta (Berthold 2016.)

Siirrettävästä versiosta asiakas saa suuresti hyötyä, sillä myös sitä voidaan hyödyntää kuuden pumpun yhtäaikaiseen mittaukseen. Tämänkin asiakkaan tapauksessa pumppuja on kymmeniä ja ne sijaitsevat kaukana toisistaan, jolloin paikallisten PEMS-mittausten järjestäminen kaikille pumpuille tulisi erittäin kalliiksi. Ratkaisuksi ongelmaan kehitettiin siirrettävä versio, sillä asiakas oli kiinnostunut vain kerran vuodessa tapahtuvista mittauksista, eikä niinkään jatkuvista mittauksista. Asiakkaalla on oma asiantuntija, joka tulkitsee PEMS-dataa ja huolehtii tarvittavista pumpun vaihdoista ja korjauksista. Järjestelmää ei niinkään käytetä ohjaamaan pumppuja toimimaan mahdollisimman taloudellisesti vaan lähinnä oikea-aikaisen korjaustarpeen ja vaihtosyklin ajoittamiseen.

6.2 Saudi Arabia

Shoiban Phase III vedensiirtojärjestelmä Saudi Arabiassa tarjoaa juomaveden noin 5 miljoonalle asukkaalle Jeddahin, Taifin ja Mekkan kaupunkeihin. Laitos koostuu viidestä pumppausasemasta, kolmesta suuresta vesialtaasta, joissa yhteensä 30 pumppua pumppaa vettä. Vedensiirtojärjestelmään on liitetty 213 mailia pitkä putkistoverkosto, joka kuljettaa vettä raakaöljykäyttöisiltä suolanpoistolaitoksilta aina kaupunkeihin asti. Fraunhofer IOSB:n ja ABB:n yhteistyössä toteutetut vuodonpaikannus- ja simulointijärjestelmät mahdollistavat vedensiirtojärjestelmän korkeatasoisen toiminnan SCADA-ohjelmiston kanssa. (Fraunhofer IOSB.)

6.3 Kuwait

Shuaiban Plant C meriveden jäähdytysjärjestelmä ja pumppausasema sijaitsee Kuwaitissa noin 25 km Kuwait Citystä etelään. Pumppausasema koostuu kolmestatoista jäähdyttävästä merivesipumpusta, joiden moottoritehot ovat välillä 3,5 ja 4,1 MW. Mina Al-Ahmadin -jalostamo (MAA) ja nestekaasulaitos sijaitsevat pumppausaseman lähetyviltä ja saavat tätä kautta jäähdytettyä merivettä. MAA tarjoaa paikalliselle markkina-alueelle sen tarvitseman bensiinin, kerosiinin ja dieselin. Nestekaasulaitos myy ja jakaa nestekaasua paikalliselle markkina-alueelle vaihtoehdoksi kevyelle polttoöljylle. (ABB. Shuaiba Plant C.)

6.4 Libya

Benghazin siirto- ja pumppausasema 319 Libyassa (BCPS) sekä siihen liitetyt jakelu- ja siirtoverkot syöttävät Al Khadra N.E:n (AKNE) maatalousvesialtaaseen vettä, jossa se säilötään ja siirretään viljelyalueille BCPS:n ja AKNE:n välille. Vesialtaassa voidaan varastoida jopa 24 milj. kuutiota vettä ja altaan syvyys on 27,25 metriä. The Great Man-Made River on maailman suurin maanalle rakennettu putki- ja vesijohtoverkosto. Se sisältää yli 1300 kaivoa, joista suurin osa on yli 500 metrin syvyydessä. Verkosto syöttää yli 6,5 milj. kuutiometriä puhdasta vettä päivittäin Tripolin, Benghazin ja Sirtin kaupunkeihin ja maataloudelle. (ABB. Benghazi Conveyance Pumping Station 319).

6.5 Muut referenssiprojektit

Valitettavasti Libyan, Kuwaitin ja Saudi Arabian referenssiprojekteista ei ole edellä mainitusta enempää tietoa. Tämä johtunee suuresti siitä syystä, että PEMS-projektit on toteutettu jo vuosia sitten ja asiakkaat eivät ole olleet kiinnostuneita tarjottavista elinkaaripalveluista tuotteen toimituksen lisäksi. Projektit ovat olleet tilaus-toteutus -tyyppisiä, sillä PEMS on huoltovapaa järjestelmä, eikä vaadi erityistä kunnossapitoa. Asiakkailla on itsellä käytössä omia asiantuntijoita tulkitsemassa PEMS-dataa ja yleisesti ottaen järjestelmää käytetään maailmalla lähinnä vain oikea-aikaisen huollon ajoittamiseen.

7 PEMS JA ETpu-MENETELMIEN KEHITTÄMINEN

ETpu-menetelmän käytössä on suuresti potentiaalia yhdistettäessä ABB:n kehittämään PEMS-järjestelmään. Jotta ETpu-menetelmästä saadaan kaikki potentiaali irti, on saatava jatkuvia mittaustuloksia laskentaja varten. Mittaustuloksien kerääminen voidaan helposti toteuttaa PEMS-järjestelmään ohjelmoidulla järjestelmällä. Tulevaisuudessa onkin tarkoitus ohjelmoida PEMS-järjestelmään toiminto, joka laskee energiatehokkuuden tunnusluvun kerätystä mittausdatasta.

Yhdistelmällä on varmasti myös suuresti kysyntää markkinoilla, sillä PEMS-järjestelmällä laskettu hyötysuhde ja sen vertaaminen pumpun nimellishyötysuhteeseen sekä ETpu-menetelmän energiatehokkuuslaskelmien avulla voidaan pumppuille määrittää ja suunnitella tarpeelliset huoltojen ja vaihtojen ajankohdat. Myös pumppuja ja niiden yhdistelmiä pystytään ohjaamaan mahdollisimman energiatehokkaasti säästämällä jopa kymmeniä prosentteja sähkönkulutuksessa.

PEMS:n ja ETpu-menetelmän yhdistelmälaiteistosta operaattori saa reaaliaikaista tietoa pumppujen energiatehokkuudesta, mikä auttaa pumppaamon operaattoria säästämään muun muassa sähkönkulutuksessa. Pumppujen huolto- ja vaihtoajankohtien ennalta määrittämisellä saavutetaan suuria säästöjä valitsemalla ajankohdat muun muassa sähkönhinnan ja kannattavuuden perusteella oikein. Tällöin pystytään välttämään tilanteita, joissa pumput rikkoutuvat yllättäen ilman minkäänlaista varoitusta ja vältetään tilanteita, joissa täysin toimivat pumput vaihdetaan uusiin iän takia tai valmistajan käyttöikäennusteen takia.

8 ASIAKAS

Suomen pilottiprojektin asiakkaana toimii Jyväskylän Energia Oy. Vuonna 1902 kaupunki perusti sähkölaitoksen, joka tuotti kaupungin asukkaille sähköä höyryvoimalla. Yritys laajensi kaukolämmöntuotantoon vuonna 1960 ja vuonna 1980 se muutettiin liikelaitokseksi sekä samassa yhteydessä nimi muutettiin Energialaitokseksi. Yhtiömuoto muutettiin osakeyhtiöksi vuonna 1997, jonka jälkeen yritys on tunnettu Jyväskylän Energia Oy:nä. (Jyväskylän Energia Yhtiöt).

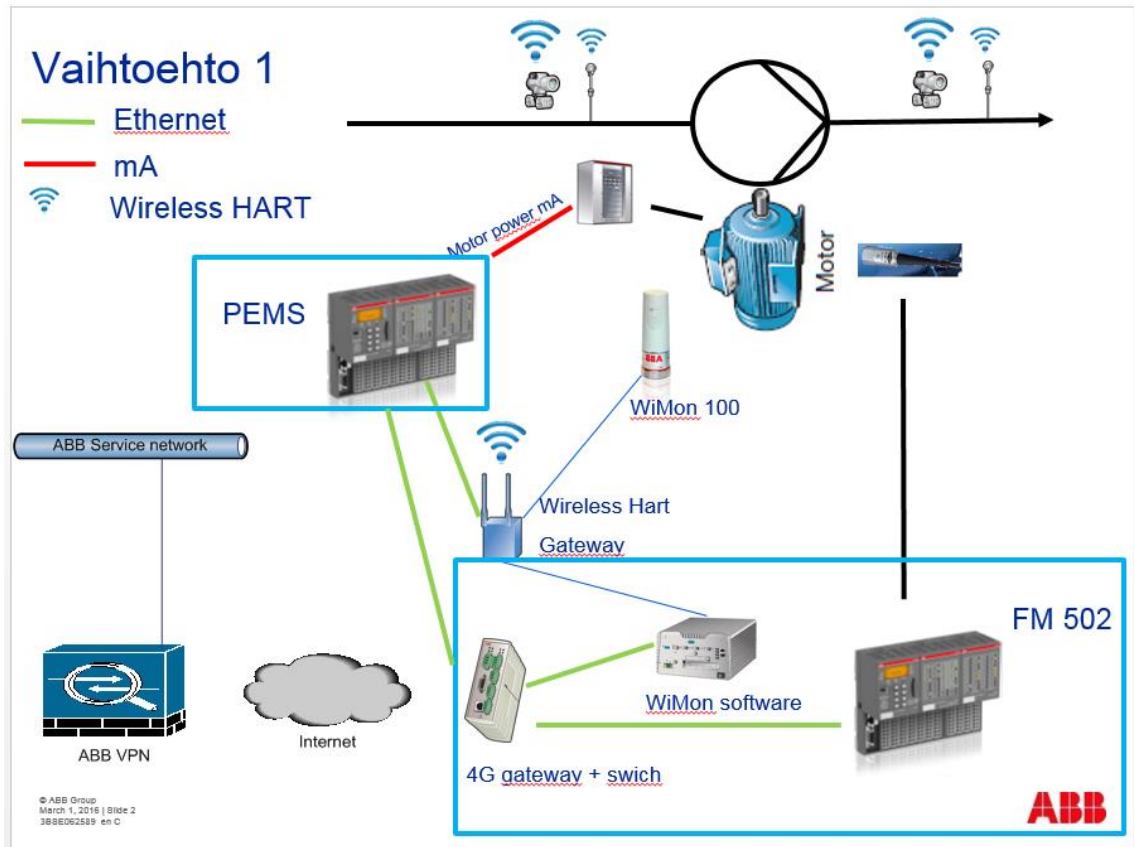
JE-konserni koostuu seuraavista tytär- ja osakkuusyhtiöistä; ”Jyväskylän Energian tytäryhtiöitä ovat: JE-Siirto Oy (100 %), Jyväskylän Energiatuotanto Oy (100 %) ja Jyväskylän Voima Oy (81,4 %).” (Jyväskylän Energia Yhtiöt). Osakkuusyhtiöitä ovat: KS Energiavälitys Oy (44,66 %), C-Ella Oy (33,3 %), Suomen Hyötytuuli Oy (12,5 %) ja Liikennevirta Oy. (Jyväskylän Energia Oy).

Tänä päivänä, Jyväskylän Energia Oy tytäryhtiöineen tuottaa, myy ja jakaa sähköä, lämpöä ja vettä omistamissaan verkoissa. Sähköä myydään ja jaetaan koko Suomen alueelle. JE-yhtiöt kehittävät palveluitaan ja niihin liittyviä ratkaisuja huomioiden asiakastarpeet ja ekologian. (Jyväskylän Energia Yhtiöt).

8.1 Projektin toteutus

Pumppaamoon asennetaan lämpötila- ja painemittauksessa käytettävät anturit imu- ja syöttöpuolelle pumppua. Asiakkaalle esitettävässä vaihtoehdossa 1 antureina käytetään WirelessHART protokollaa viestinnässä hyödyntäviä laitteita, layout nähtävissä kuviossa 20. PEMS-järjestelmässä ei tiedettävästi ennen ole ollut käytössä WirelessHART protokollaa hyödyntäviä antureita. Vaihtoehdossa 2 antureilta tulevat signaalit ovat perinteisiä analogiasignaaleja (4 - 20 mA), layout nähtävissä kuviossa 21. Signaalit hajautetaan laitoksen signaaleista galvaanisilla erottimilla. Vaihtoehto 2, on maailmalla yleisesti käytetty menetelmä referenssiprojekteissa.

Kummassakin vaihtoehdossa on ajateltu, että laitteet kytketään ABB:n kattavaan VPN-verkkoon, eli ABB:n etäyhteyteen. Asiakas saa tunnukset VPN-verkkoon, jonka kautta asiakkaalla on mahdollisuus tarkkailla PEMS:n keräämään dataan.

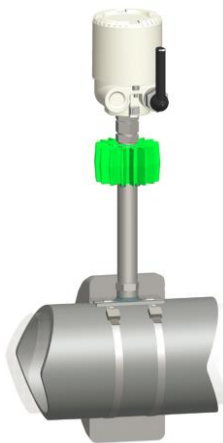


KUVIO 20. Vaihtoehto 1, hyödynnetään WirelessHART protokollaa.

Kunnonvalvontaa varten pumppuun ja moottorin molempiin laakeripäihin on tarkoituksena asentaa yhteensä kolme WiMon 100 -värähtely- ja lämpötila-anturia. Näin ollen moottorin laakeriviat ja pumpun kuluminen saadaan ennakoitua nopeammin ja tarkemmin.

8.1.1 TSP341-W WirelessHART lämpötila-anturi ja 266HSH painelähetin

Asiakkaalle esitettyssä vaihtoehdossa 1 lämpötila-anturina käytetään ABB:n TSP300-W -sarjan anturia, joka asennetaan putken pinnalle kuvion 22 ja kuvan 3 mukaisesti clamp-tyyppisellä kiinnityksellä. Clamp-tyyppinen kiinnitys nopeuttaa uusien lämpötilamittauksien sijoittamista, eikä kiinnitys vaadi prosessin keskeytystä tai yhteiden rakentamista. Lämpötila-anturi sisältää energiakeräimen (energy harvester), näin ollen anturi ei vaadi minkäänlaista ulkoista johdotusta tai tehonlähdettä, eikä akun vaihtoa. Anturi hyödyntää Seebeckin ilmiötä, jonka mukaan jännite syntyy, kun kahden erilaisen metallin liitoksessa on lämpötilaero. WirelessHART protokollan ansiosta myös mittausdata ja diagnostiikka saadaan siirrettyä ilman johdotusta kenttälaitteelta DCS:ään.



KUVIO 22. Lämpötila-anturin clamp-tyyppinen kiinnitys, periaatekuva (ABB. Data Sheet DS/TSP300-W.)



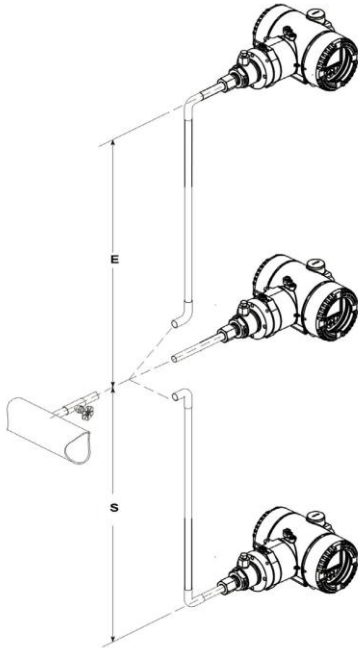
KUVA 3. Clamp-tyyppinen kiinnitys (ABB. Measurement & Analytics.)

Painemittauksissa käytetään ABB:n 266HSH.Q.S.B.B.9-L5.B7 -painelähetintä (kuva 4). Kuviossa 23 esitetään käytettävän painelähettimen mahdolliset kytkentätyylit, kiinnitettäessä putkeen. Linjan kyljessä tulee olla venttiilillinen yhde, johon lähetin voidaan kiinnittää, kytkentätyyli riippuu nesteen likaisuudesta. Puhtaalla nesteellä lähetin kiinnitetään joko suoraan venttiilin perään tai sen alapuolelle. Likaisilla nesteillä lähetin tulee asettaa venttiilin yläpuolelle, jotta mittauskohta pysyisi mahdollisimman puhtaana ja säästyttäisiin lian aiheuttamilta vikatiloilta ja mittausvirheiltä.

Lähetin käyttää lämpötila-anturin tavoin WirelessHART protokollaa. Lähettimen yläreunassa sijaitsevan antennin sijainti ja suunta vaikuttavat WirelessHART-signaalin kantavuuteen. Lämpötila-anturista poiketen, painelähetin saa käyttöjännitteensä akusta, eikä käytä energiakeräinteknologiaa.



KUVA 4. Projektissa käytettävä painelähetin (ABB. 2600T Series Pressure Transmitters.)



KUVIO 23. Painelähtetimen kytkentätyyli (ABB 2600T Series Pressure Transmitters.)

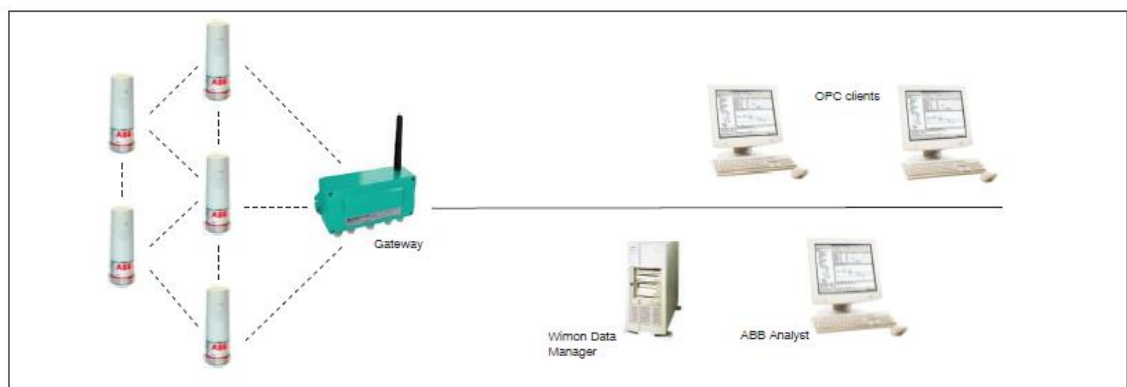
8.1.2 WiMon 100 -värinä- ja lämpötila-anturi

WiMon 100 (kuva 5) on itsenäinen elementti, joka sisältää sekä värinä- että lämpötila-anturin, korkean kapasiteetin akun ja WirelessHART protokollaa käyttävän viestintämoduulin. WiMon 100 -anturia voidaan käyttää kaikissa pyörivissä koneissa jatkuvan värinän mittaamiseen. WiMon 100 -yksiköt muodostavat yhteysverkon; mahdollistaen turvallisen ja luotettavan reitin WiMon 100 -anturilta tukiasemalle (gateway) ja aina monitorointi ja analysointityökaluille asti. (ABB. Condition Monitoring).



KUVA 5. WiMon 100 -anturi (ABB. Condition Monitoring).

WiMon 100 -antureita varten toiseen kaappiin tulee asentaa myös WirelessHART tukiasema, joka mahdollistaa anturien kommunikoinnin ja hallitsee verkon turvallisuutta ja yhdistettävyyttä. Tukiasema muuntaa langatonta laitedataa muotoon, joka on yhteensopiva muiden järjestelmien kanssa. Kaappi sisältää etäyhteyden ja PC:n, johon kerätään WiMon 100 -anturin tuottama data WiMon Data Manageriin, ja sitä kautta ABB Analyst -ohjelmaan. Ohjelma on graafinen liittymä, joka piirtää laitteiston ja prosessin dataa dataserveriltä. Ohjelma on ohjelmoitu analysoimaan dataa liitetyiltä värinäantureilta. Ohjelma on ohjelmoitu auttamaan operoijaa tunnistamaan toistuvuuksia ja trendejä kerätyssä datassa. Järjestelmän layout on nähtävissä kuviossa 24. (ABB. Condition Monitoring).

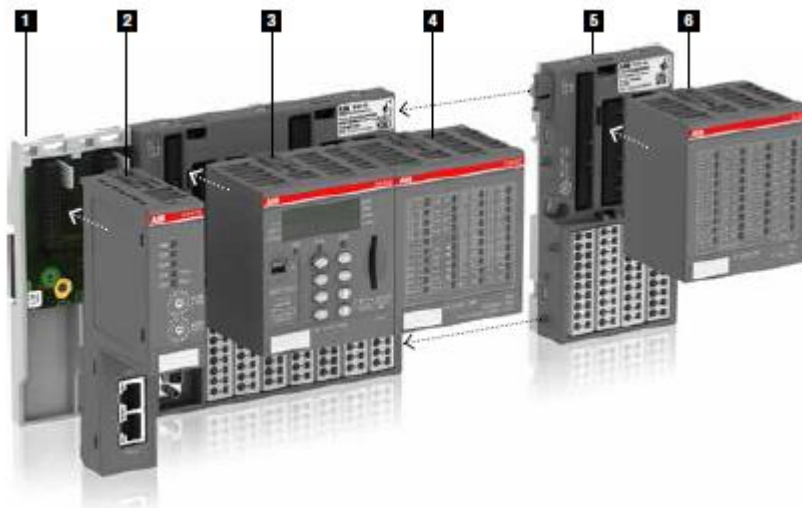


KUVIO 24. Langattoman värinän monitorointijärjestelmän layout (ABB. Condition Monitoring).

8.1.3 FM502-CMS

Projektiin lisätään kunnonvalvontajärjestelmä toisen organisaation toimesta. FM502-CMS on kunnonvalvontayksikkö luotuna AC500 PLC:n alustaan. FM502-CMS -yksikköä käytetään säästämään kunnossapitokuluissa ennustamalla oikeanaikaiset kunnossapitotarpeet. Integroitu kunnonvalvonta maksimoi mm. käytön ajan ja suorituskyvyn.

Erilliset värinäanturit tuottavat mittaustietoa kunnonvalvontajärjestelmälle. FM502-CMS kerää tietoa mittauksista, tietoa diagnosoidaan ja käytetään ennakoivaan ohjaukseen. Reaaliaikainen monitorointi mahdollistaa nopeankin reagoimisen hälyttäviin tilanteisiin. Järjestelmällä voidaan tunnistaa jo etukäteen mahdolliset laitteiden rikkoutumiset ja näin ollen voidaan suojautua vikatilanteilta. Kuvassa 6 esitellään esimerkkikokonaisuus, jota voitaisiin hyödyntää FM502-CMS -moduulin kanssa kunnonvalvontajärjestelmässä.



KUVA 6. FM502-CMS yksikkö AC500 alustassa (ABB. FM502 module for condition monitoring.)

KUVA 6 numeroitujen moduulien kuvaukset luetellaan alla:

1. Taustakisko
2. Kytkeä mahdollisuus maksimissaan kahdelle viestintäyksikölle
3. CPU
4. FM502 CMS -moduuli
5. Kytkeä mahdollisuus I/O-yksiköille
6. Kytkettävä I/O-yksikkö

8.2 Laitteiston testaus

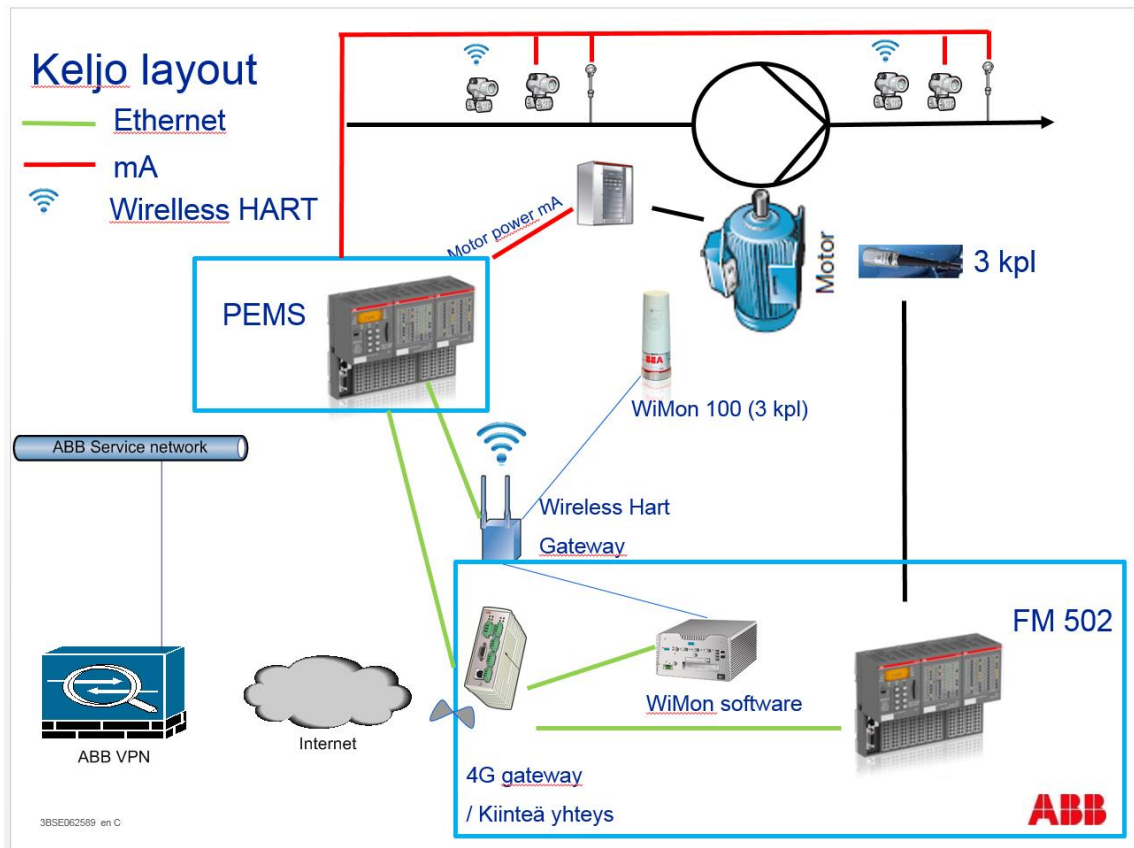
Saksan ABB:ltä saapuneen PEMS-laitteiston toimintaa testattiin toimistolla ennen asiakaskäyntiä. Laitteistolle suoritettiin signaalitesti, tarkasteltiin lähdekoodia ja valmisteltiin langattomia reitityksiä. Laitteiston toiminnassa ei havaittu ongelmia ja se läpäisi kaikki vaadittavat testit. Huomattiin kuitenkin, että PEMS:in sisältämä koodi on salattu ja siihen ei pysty tekemään muutoksia.

9 ASIAKASKÄYNNIN TULOKSET

Asiakaskäynnillä asiakkaalle esitetään Power Point -esityksen muodossa PEMS-laitteisto ja sen vaatimia sisääntulosignaaleja sekä siitä saatavia ulostulosignaaleja. Tällöin esitetään myös mahdollisia järjestelmällä saavutettavia tuloksia ja parannuksia. ETpu-menetelmä esitetään kokonaisuudessaan uutena osana projektia. Käsitellään tilanteita, joissa pumppaamon käyttötilanteiden vaihtelut vaikuttavat energiatehokkuuteen sekä miten ETpu-menetelmässä verrataan pumppaamon hetkellistä energiatehokkuudentilaa pumppaamolle optimaaliseen tilaan. Käydään myös läpi menetelmän kunnossapidollisia hyötyjä.

ETpu-menetelmän laskenta esitellään pintapuolisesti. Siten, että ensin tulee laskea pumppaamon nostokorkeudet sekä pumpun imupuolelta, että painepuolelta. Nostokorkeuksien avulla pystytään laskemaan pumppaamon vesiteho. Kun taas vesitehon ja sähkötehon suhteesta saadaan pumppaamon hyötysuhde. Pumppaamon nimellishyötysuhde lasketaan pumppujen hyötysuhteiden painotetulla keskiarvolla. Ja lopuksi ETpu-luku voidaan laskea pumppaamon hyötysuhteen ja nimellishyötysuhteen osamäärästä. Tämän jälkeen voidaan käsitellä tunnusluvun arvioimista ja tilanteita, joissa energiatehokkuutta ajatellen on tehtävä muutoksia ja tilanteita, joissa prosessiin ei ole välttämätöntä tehdä muutoksia energiatehokkuuden näkökulmasta.

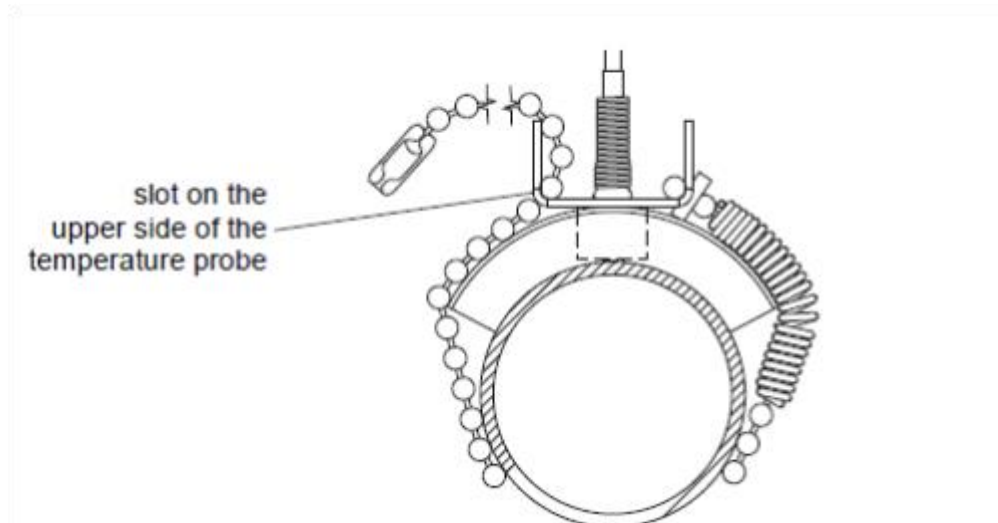
Tämän jälkeen tullaan lopputulokseen, jossa päädytään käyttämään aivan uudenlaista layoutia Jyväskylän projektissa (kuviot 25). Projektissa päädytään käyttämään sekä langattomia- että langallisia mittausyksiköitä, jotta PEMS-järjestelmässä saadaan kokemusta molempien käytöstä. Projektissa ei myöskään alkuperäisen suunnitelman mukaan aiota käyttää hyödyksi jo olemassa olevia antureita vaan ABB:n toimesta asennetaan neljä painelähetintä ja kaksi pintamittaavaa lämpötila-anturia.



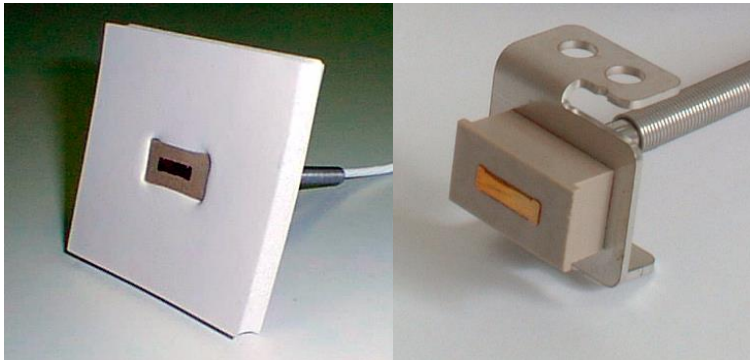
KUVIO 25. Jyväskylän projektissa toteutettava layout.

Asiakaskäynnin laitoskierroksen aikana huomataan, että vaadittavia lämpötila- ja painemittauksia ei valitettavasti löydy jo valmiiksi asennettuina pumpun paine- ja imupuolelta. Ainoa jo olemassa oleva mittaus, jota projektissa olisi voitu hyödyntää, sijaitsee pumpun imupuolella. Painemittauksen signaali olisi saatu hajautettua laitoksen signaaleista galvaanisilla erottimilla, mutta päädytään kuitenkin ratkaisuun, jossa signaaleja ei hajauteta jo olemassa olevasta automaatiojärjestelmästä. Pumpun painepuolella sijaitsevaa paineen paikallisnäyttöä voidaan hyödyntää siten, että jo olemassa olevaan yhteeseen lisätään T-haara, johon saadaan liitettyä PEMS:in vaatima painepuolenmittaus. Tässä tapauksessa kiinnitetään kaksi T-haaraa, jotta molemmat painelähtimet saadaan kiinnitettyä. Valitettavasti pumpun kummallakaan puolella ei ole yhteitä lämpötilamittauksien kiinnittämistä varten. Ja lähimmät lämpötilamittaukset prosessissa sijaitsevat fyysisesti niin kaukana pumpusta, ettei kyseisiä mittauksia voida hyödyntää projektissa. Näin ollen yhteisymmärryksessä asiakkaan kanssa päädytään pintamittaaviin lämpötilalähtimiin, jottei prosessia tarvitse keskeyttää eikä uusia yhteitä tarvitse tehdä. Pintamittaavat anturit saadaan asennettua helposti avaamalla putken päällä olevat eristeet saumoista ja kiinnittämällä pintamittaava lämpötila-anturi helminauha-jousikiinnityksellä putken ympärille

(kuvio 26). Anturina käytetään nelijohtimista Pt100 anturia (kuvio 27). Anturin mittauspään ympärille tulee asentaa hyvät eristeet, jotta pystytään minimoimaan mittausvirheet, joita saattaisi aiheutua ympäristön lämpötilanmuutoksien vaikutuksesta.



KUVIO 26. Pintamittaavan lämpötila-anturin kiinnitysmenetelmä (Starast 2016.)



KUVIO 27. Pt100 -lämpötila-anturi (Starast 2016.)

Pumpun paine- ja imupuolelle asennetaan kuvan kaltaiset laitteet sekä tilataan samaan tuoteperheeseen kuuluvat lähes vastaavat langalliset painelähettimet (kuva 7).



KUVA 7. 266HSH painelähetin (ABB. 2600T Series Pressure Transmitters.)

WiMon 100 -värinäantureita kiinnitetään yhteensä kolme kappaletta liimaamalla yksi pumpun ja moottorin kylkeen sekä yksi pumpun laakeripäähän. Tukiaseman kautta signaali siirtyy kaapissa olevaan PC:hen, joka on myös liitetty etäyhteyteen. FM 502 -yksiköön liitettävät kolme värinäanturia liittyvät toisen organisaation kunnonvalvontayksikön testausprojektiin. Anturit kiinnitetään moottoriin, antureiden tarkempi sijainti selviää vasta myöhemmin.

Asiakkaalta tulee vielä varmistaa, onko heidän mahdollista järjestää projektia varten etäyhteyteen kiinteä ja julkinen IP-osoite ja palomuurista portti SSL salattua VPN tunnelia varten. Luottamuksellisessa liitteessä 2 esitellään ABB:n standardi etäyhteyksissä käytettävästä topologiasta.

Asiakkaan kanssa sovitaan, että heidän puolesta hoidetaan ennen laitteiston asennusta:

- Internet-yhteysvalmius PEMS-laitteistolle
- moottorin tehomittauksen tuonti laitteistolle
- virtausmittauksen mittaussignaali laitteistolle
- paineenmittauksien rinnalle T-haarat
- paineenmittauksien impulssiputkien halkaisija
- pumppukäyrät ja moottoreiden nimellisarvot ja muu data projektinvetäjän saataville.

Asiat, jotka projektinvetäjän tulee hoitaa ennen seuraavaa asiakaskäyntiä:

- antureiden tilaus sekä lämpötilanpintamittauksia että paineenmittauksia varten
- varmistetaan pintamittausantureiden mittaustarkkuuden riittävyys PEMS-laitteistolle.

Seuraavan asiakaskäynnin ajankohtaa ei vielä päätetä, mutta sovitaan, että asennettu ja toimintavalmis laitteisto saadaan toimitettua pääsiäisen jälkeen. Asennuksen hoitaa allekirjoittanut itse asiakkaan kanssa.

10 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli toimia esiselvityksenä Jyväskylän Keljonlahden pumppaamoon suoritettavalle pilottiprojektille. Työn aikana tutkittiin maailmalla toteutettuja referenssi-projekteja monesta eri näkökulmasta, muun muassa millaisiin ympäristöihin projektit sijoittuvat ja millaisina tuotteina projektit on myyty asiakkaalle. Referenssiprojekteista löytyi vähemmän tietoa kuin alun perin oli kuviteltu, mutta kuitenkin riittävästi, jonka johdosta Suomen pilottiprojektissa voidaan edetä. Referenssiprojekteista saadaan myös hyviä ideoita tuotteen kehittämisen näkökulmasta. Tärkeimpänä huomiona voidaan pitää eroavaisuutta Saksan ja Suomen näkökulmassa tuotteen potentiaalista puhuttaessa. Saksan ABB:llä PEMS-järjestelmää myydään ja tarjotaan asiakkaalle lähinnä pumppaamoiden pumppujen oikea-aikaisen vaihtosyklin ajoittamiseen. Tietysti tästäkin on asiakkaalle suuresti hyötyä, mutta miksi käyttää vain osaa PEMS:in valtavasta potentiaalista.

Suomessa jo ennen pilottihankkeen aloittamista PEMS nähtiin tuotekokonaisuutena, jonka yhteyteen voidaan tarjota monenlaisia palveluita riippuen asiakkaan tarpeista. Asiakkaalle halutaan tarjota laitteisto ja palvelu, josta asiakas todella hyötyy. Laitteisto, jonka avulla saadaan reaaliaikainen tieto pumpun hyötysuhteesta ja pystytään optimoimaan huoltoajankohdat, joiden avulla asiakas pystyy alentamaan energiankulutusta ja muita kuluja. Tarjottavan palvelun ansiosta asiakasta voidaan neuvoa oikeanlaisiin käyttöstrategioihin sekä pystytään lyhentämään käyttökatkoja prosessissa.

Saksan ABB:ltä saadulle idealle siirrettävästä laitteistosta nähdään mahdollinen markkinarako Suomen tulevaisuuden markkinoilla. Siirrettävällä laitteistolla asiakkaalle voitaisiin tarjota muun muassa jaksottaista hyötysuhteen ja energiatehokkuuden mittauspalvelua, jonka tuloksena asiakasta voidaan ohjata oikeanlaisiin käyttöstrategioihin. Jaksottaisella ja jatkuvalla palvelulla asiakkaalle voidaan tarjota myös neuvoja pumppujen huoltojen oikea-aikaiseen sykliin ja näin ollen voidaan pidentää pumppujen elinkaarta ja parantaa elinkaaren aikaista hyötysuhdetta huomattavasti. Saksan ABB:n mallia halutaan kuitenkin kehittää vielä jonkin verran, sillä tällä hetkellä laitteisto on vielä kooltaan erittäin suuri (KUVA 2). Laitteiston suuren koon johdosta se ei toistaiseksi ainakaan vielä ole kovin helposti liikuteltavista paikasta A paikkaan B vaikka laitteisto onkin jo sijoitettu pyörien päälle. Myös, jotta siirrettävästä laitteistosta saataisiin kaikki hyöty irti ja käytettävyys olisi mahdollisimman tehokasta, tulisi asiakkaillakin olla valmius laitteiston käyttöön. Tämä tarkoittaa sitä, että asiakkaalla tulee olla jo PEMS:in vaatimat mittaukset ja

laitteet. Laitteiston kytkeminen prosessiin tulisivikin olla mahdollisimman yksinkertainen, jottei valmisteluihin kuluisi turhaa aikaa.

ETpu-laskennan liittäminen PEMS-järjestelmään on ratkaiseva ja suurimman hyödyn tuoja tuotteeseen. Energiatehokkuuden tunnuslukua määritettäessä hetkellistä energiategokkuudentilaa verrataan parhaaseen mahdolliseen tilaan, eli mitä lähempänä todellinen hyötysuhde on pumppaamon nimellishyötysuhdetta. Lasketusta ETpu-luvusta itse operaattori pystyy tekemään jo tulkinnan siitä, miten energiategokkaasti pumppaussovellus tällä hetkellä toimii. Luvussa 3.2 esitetyssä taulukossa 1 ETpu-luku arvioidaan ja kirjoitetussa kappaleessa ohjeistetaan kunkin tunnusluvun kohdalla suoritettaviin toimenpiteisiin energiategokkuutta ajatellen. Pidemmällä aikavälillä tarkkailtuna ETpu-luvun vaihtelut voivat indikoida muun muassa pumpun korjaustarpeesta tai jopa vaihtotarpeesta, näin ollen menetelmällä on myös kunnossapidollista hyötyä asiakkaalle.

ETpu-menetelmän vaatima jatkuva tiedonkeruu on ollut ETpu:n referenssiprojekteissa ongelmana. Automatisoidun ja jatkuvan tiedonkeruun puuttuminen on johtanut virheellisiin mittaustuloksiin ja täten myös virheellisiin energiategokkuuden tuloksiin. PEMS-järjestelmän avulla pystytään poistamaan edellä mainittu ongelma ja ETpu-menetelmästä saadaan kaikki sen tarjoama potentiaali irti. Jatkuvalle pumppaamon energiategokkuuden mittauksella pumppaamon operaattori pystyy reagoimaan nopeastikin epätaloudelliseen pumppaukseen sekä joissain tapauksissa esimerkiksi putkistojen tukkeutuminen voidaan havaita normaalia nopeammin. Parasta reaaliaikaisessa energiategokkuuden mittauksessa on se, että korjaustoimenpiteisiin voidaan ryhtyä lähes reaaliajassa ja toimenpiteiden suorittamisen jälkeen järjestelmästä voidaan tulkita välittömästi toimenpiteiden vaikutus energiategokkuuteen. Suurin hyöty saataisiin, kun seurantajärjestelmä kiinnitettäisiin mahdollisuuksien mukaan kaikkiin pumppaamon pumppuihin ja mahdollisesti myös saman verkoston muiden pumppaamoiden pumppuihin. Näin ollen menetelmää voitaisiin käyttää usean pumppaamon energiategokkuuden arviointiin, minkä avulla voitaisiin tutkia esimerkiksi koko kaukolämpöverkoston energiategokkuuden tilaa ja tätä kautta mahdollisesti parantaa koko verkoston energiategokkuutta.

ETpu-menetelmän vaatima laskenta on varsin yksinkertainen ja tulevaisuudessa sen ohjelmoiminen nähdään varsin yksinkertaisena. Laskenta olisi tarkoitus ohjelmoida kunnonvalvontayksikön FM 502-yksikköön, koska PEMS:in koodi on suojattu. Ohjelmomalla laskenta kunnonvalvontayksikköön, voidaan sitä jopa muokata ajon aikana FM 502

-yksikön ominaisuuksien johdosta. Ohjelmoitu ja automaattinen laskenta helpottavat ja nopeuttavat reagointia energia-analyysin antamiin tuloksiin.

Tulevaisuudessa voisi olla mahdollista tarjota eritasoisia palveluita asiakkaalle. Tasoja voisivat olla esimerkiksi:

- Perustaso 1, 2 ja 3
- Service-taso
- Advanced-taso.

Perustaso 1 pitäisi sisällään vain laitteiston ja toimituksen Saksan ABB:n tyyliin, siten että järjestelmästä olisi asiakkaalle enimmäkseen hyötyä määritettäessä optimoituja pumppun korjaus- ja vaihtosyklejä, mahdollisesti myös operaattori tai jokin muu asiakkaan analysoija voisi tulkita hyötysuhteen muuttumista ja näin ollen tehdä tarvittavia toimenpiteitä sen parantamiseksi. Perustaso 2 voisi pitää sisällään kaiken edellä mainitun sekä PEMS-järjestelmään ohjelmoidun ETpu-laskennan tai vaihtoehtoisesti kunnonvalvontayksikön. Asiakkaalla olisi mahdollisuus valita jompikumpi lisäosista PEMS-järjestelmään, valinnanmahdollisuutta voidaan pitää tärkeänä, sillä osalle asiakkaista voi riittää pelkkä ETpu-menetelmästä ja PEMS:in yhdistelmästä saatava kunnossapidollinen hyöty. Tällainen asiakas ei välttämättä koe tarvetta moottorin kunnonvalvonnalle. Perustasolla 3 asiakkaalle tarjotaan PEMS-järjestelmä, johon on sisällytetty sekä moottorin kunnonvalvontayksikkö että ETpu-menetelmän laskennat. Kyseisellä paketilla asiakkaalle annetaan kaikki avaimet käteen energiatehokkaaseen pumppaukseen ja kunnonvalvontaan sekä oikea-aikaisen korjaus- ja vaihtosyklin ajoittamiseen.

Service-taso pitäisi sisällään asiakkaan tilauksesta suoritettavan analysointipalvelun ja täten tuotettavan kattavan energia-analyysin. Palvelu voidaan suorittaa esimerkiksi siirrettävällä laitteistolla tai mahdollisesti, jos asiakkaalla on olemassa oleva laitteisto, voidaan laitteiston tuottamaa dataa tulkita. Service-tasoa voidaan pitää tärkeänä vaihtoehtona, sillä kaikki eivät ole kiinnostuneita jatkuvasta energiatehokkuuden tarkastelusta tai hyötysuhteen reaaliaikaisesta mittauksesta. Jaksottaiset energia-analyysit kuitenkin mahdollistavat esimerkiksi oikean säätötavan tai -strategian valitsemisen erilaisiin pumppaussovelluksiin.

Advanced tasolla olisi tarkoitus tarjota jatkuvaa analysointipalvelua saatavasta mittausdatasta. Näin ollen asiakkaalla on mahdollisuus pidentää pumpun elinkaarta ja sen aikaista hyötysuhdetta. Tällöin tarjottaisiin myös tulkintaa energiatehokkuudentasosta ja ohjattaisiin oikean kaltaiseen toimintaan energiatehokkuuden parantamiseksi. Kunnonvalvontayksiköllä tutkittaisiin ja analysoitaisiin moottorin kuntoa ja huoltotarvetta.

Tulevaisuuden projekteja ajatellen suurimpana huomiona voidaan pitää sitä, että olisi parasta selvittää asiakkaalta monitoroitavan pumpun ympärillä sijaitsevat yhteet ja mahdollisesti jo olemassa olevat mittalaitteet. Asiakkaalle olisi hyvä selittää, miten tärkeää järjestelmän kannalta pumpun paine- ja imupuolella olevien paine- ja lämpötilalähtemien sijainti on. Ettei kummallekaan osapuolelle tule projektin edetessä yllätykseksi yhteiden sijainti tai tarvittavien mittalaitteiden puuttuminen. Selvittämällä nämä asiat jo etukäteen nopeutetaan projektin toteuttamista huomattavasti. Annetaan asiakkaalle mahdollisuus päättää muun muassa yhteiden rakentamisesta tai esimerkiksi pintamittaavien lämpötilalähtemien välillä, jos tarvittavia yhteitä ei ole vielä olemassa. Yhteiden rakentaminen saattaa tulla erittäin kalliiksi asiakkaalle, jos sitä ei pystytä ajoittamaan huoltokatkon ajankohtaan vaan prosessi joudutaan pysäyttämään yhteiden rakentamisen ajaksi. Pintamittaavat lämpötilalähtimet mahdollistavat projektin etenemisen nopeasti ja mahdollisesti huomattavasti halvemminkin, mutta mittaustulokset eivät ole yhtä tarkkoja tai mittaus yhtä varmaa, kuin yhteisiin kiinnitetyillä lämpötilalähtimillä.

LÄHTEET

ABB. Benghazi Conveyance Pumping Station 319. Libya. [Verkkajulkaisu, projektiraportti]. Luettu 8.1.2016.

https://library.e.abb.com/public/85a5c12a62f945ddc1257cbd003d3ca9/2008_Benghazi%20Conveyance%20PS%20319_DEABB%201595%2010%20en%20REV01.pdf

ABB. Condition Monitoring. Wireless vibration monitoring system. [Verkkajulkaisu, tuote-esite]. Luettu 19.1.2016.

https://library.e.abb.com/public/c4a05cf76087447785257bce005b8bb2/TP013_Wireless_vibration_monitoring_system.pdf

ABB. Data Sheet DS/TSP300-W. SensyTemp TSP300-W WirelessHART. [Tuote-esite] Luettu 19.1.2016.

ABB. FM502 module for condition monitoring - CMS. Predictable performance. Luettu 16.2.2016. ABB kirjasto

ABB. Measurement & Analytics. The Energy Harvester. [Tuote-esite] Luettu 19.1.2016.

ABB. OPTIMAX PEMS (Pump Efficiency Monitoring System). PSPG Power and Water Optimization [Power Point -esitys] Luettu 21.12.2015.

ABB. PEMS (Pump Efficiency Monitoring System). Continuous Metering System for Pump Performance. Mannheim, Saksa 2015. Luettu 7.1.2016. ABB kirjasto

ABB. Power Generation. Energy Efficient Design of Auxiliary Systems in Fossil-Fuel Power Plants. Rocky Mountain Institute, USA. Luettu 21.12.2015 ABB Kirjasto

ABB. Pump Efficiency Monitoring System. PEMS User Manual. D-68309 Mannheim.

ABB. Shuaiba Plant C Seawater Cooling Pumping Station. Kuwait. [Verkkajulkaisu, projektiraportti]. Luettu 8.1.2016.

https://library.e.abb.com/public/c2517bd34707f902c1257cbd003dbdf2/2008_Shuaiba%20Pumping%20Station%20C_DEABB%201588%2010%20en%20REV01.pdf

ABB. 2600T Series Pressure Transmitters. 266 Models. WirelessHART. [Tuote-esite] Luettu 19.1.2016

Berthold, A. Senior Engineer Microgrids. 2016. PEMS. Sähköpostiviesti. andreas.berthold@de.abb.com. Luettu 15.01.2016.

E.ON SE. Ingolstadt power plant [Verkkajulkaisu]. Luettu 8.1.2016.

<http://www.eon.com/en/about-us/structure/asset-finder/ingolstadt.html>

EVERS GmGH & Co. KG. Lake Constance Water Supply [Verkkajulkaisu]. Luettu 8.1.2016.

<http://en.evers.de/reference/category/drinking-water/lake-constance-water>

Fraunhofer IOSB. Shoaiba Phase III: Drinking water supply in Saudi Arabia [Verkkójulkaisu]. Luettu 8.1.2016.

<https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/15010/Projekt-Saudi-Arabien-ABB.pdf?command=downloadContent&filename=Projekt-Saudi-Arabien-ABB.pdf>

Global Johnson pump. [Verkkójulkaisu]. Luettu 21.12.2015.

http://global.johnson-pump.com/OTHER/FI_Positive_Displacement.htm

Huhtinen, M., Korhonen, R., Pimiä, T., Urpalainen, S. 2008. Voimalaitostekniikka. Opetushallitus. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Jyväskylän Energia Yhtiöt. [Verkkosivut]. Luettu 15.1.2016.

<http://www.jyvaskylanenergia.fi/je-yhtiot>

Kurunlahti, P. 2013. Vedenpumpun energiatehokkuus. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Centria ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Luettu 21.12.2015

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/59514/kurunlahti_pekka.pdf?sequence=1

Lesonen, M., Vuohelainen, J. 2010. Prosessilaboratorion esisuunnitelma. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Paperikonetekniikka. Opinnäytetyö. Luettu 21.12.2015

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/15253/Oppari_amk_kirjasto.pdf?sequence=1

MOTIVA 2011. Energiatehokkaat pumput. Opas [verkkójulkaisu]. Luettu 21.12.2015

http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/379/Energiatehokkaat_pumput.pdf

Pat. FI 124877. 2015. Pumppaamon energiatehokkuuden määrittäminen. Pulli, Martti

Pulli, M. 2009. Virtaustekniikka. 1. painos. Tampere: Tammertekniikka.

Pulli, M. 2012. Energiatehokkuus vesien siirrossa. Vesitalous 1/2012, 32 - 38.

Rouvinen, S., 2009. Pumppujen energiatehokkuuden mittaus ja optimointi. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan koulutusohjelma, energiatekniikka. Opinnäytetyö. Luettu 21.12.2015

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/4170/Rouvinen_Satu.pdf?sequence=1

Suomen Standardoimisliitto: [SI-opas \(myös painettuna, ISBN 952-5420-93-0\)](#) [PDF] (Sivu 19.) *SFS-opaat*.

Starast, J. Process Automation. Instrumentointi ja analysointi. Palvelupäällikkö. 2016. PEMS. Sähköpostiviesti. joonas.starast@fi.abb.com. Luettu 15.03.2016.

Viitala, A. 2015. Jätevesipumppamojen energiatehokkuus. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Kandityö. Luettu 2.2.2016

https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/117889/Kandity%C3%B6_AnniViitala_2015.pdf?sequence=2

LIITTEET

1 (30)

Liite 1. PEMS-käyttöopas (ABB. PEMS User Manual) (Luottamuksellinen)

Liite 2. Etäyhteyksissä käytettävä topologia, ABB:n standardi. (Luottamuksellinen)