

Romeo Xenos

# Taajuusmuuttajien säätöjen optimointi jätevesipumppaamoissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

19.9.2014

Tekijä Otsikko	Romeo Xenos Taajuusmuuttajien säätöjen optimointi jätevesipumppaamoissa
Sivumäärä Aika	28 sivua + 1 liite 19.9.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Sähköinsinööri, Jan Strömdahl, HSY Lehtori Eero Kupila, Metropolia
<p>Tämä opinnäytetyö on tehty Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymälle (HSY). Työssä tehdyt mittaukset suoritettiin lokakuussa 2013 Espoon Kalevantien taajuusmuuttajaohjatussa jätevesipumppaamossa. Tavoitteena oli selvittää taajuusmuuttajaohjattujen jätevesipumppaamoiden energiansäästömahdollisuutta.</p> <p>Teoriaosuudessa käydään läpi jätevesipumppaamon rakennetta ja toimilaitteita, sekä pumppausjärjestelmän eri energiansäästömenetelmiä. Suurin osa maailmalla käytössä olevista pumppausjärjestelmistä on ylimitoitettuja, ja tässä työssä keskitytään löytämään energiatehokkain tapa ajaa pumppuja.</p> <p>Opinnäytetyön tulokset tukivat vahvasti aikaisempia tutkimuksia aiheesta ja osoittivat, että taajuusmuuttajien optimointi säästää tuntuvasti sähköä. Kalevantieltä saadut mittaustulokset osoittivat, että investoimalla taajuusmuuttajiin ja niiden optimointiin pystytään säästämään lähes puolet sähkönkulutuksesta. Nykypäivän taajuusmuuttajan ohjauslaitteilla pystytään myös erikoisiin ohjaus- ja säätötapoihin, kuten esim. Flygtin uusimmalla ohjauslaitteella pystytään estämään tukkeumat ja ehkäisemään jätevesikaivoon syntyvät pintalautat.</p>	
Avainsanat	Energiansäästö, taajuusmuuttaja, optimointi, jätevesipumppaamo, pumppausjärjestelmä

Author Title	Romeo Xenos Optimizing Sewage Pumping Station's Variable-Frequency Drivers
Number of Pages Date	28 pages + 1 appendix 19 September 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Jan Strömdahl, Electrical Engineer, HSY Eero Kupila, Senior Lecturer, Metropolia
<p>This Bachelor's thesis was made for Helsinki Region Environmental Services Authority. The project was carried out in a variable-frequency driver (VFD) controlled sewage pumping station on Kalevantie in Espoo in October 2013. The thesis handles energy saving options for VFD controlled sewage pumping stations.</p> <p>The theoretical part shows the structure, devices and different energy saving methods in a sewage pumping station controlled by VFDs. Most of the world's pumping stations are oversized and this thesis focuses on finding an energy efficient method to control the pumps.</p> <p>The results of the thesis heavily support previous research results about the subject and show great energy savings from optimizing VFDs. Results of the measurements taken from Kalevantie indicate almost 50 % energy saving by investing in optimizing VFDs. The present day VFD controllers can use special adjustments and controls such as Flygt's newest pump controller can prevent clogging and handle solids-bearing liquids in the well.</p>	
Keywords	Energy saving, variable-frequency driver, optimization, sewage pumping station, pumping system

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut	2
2.1	Jätevedenpumppaamot	2
2.2	Energiatehokkuussuunnitelma	3
3	Jätevesipumppaamon rakenne ja toimilaitteet	4
3.1	Jätevesipumppaamon rakenne	4
3.2	Nesteiden siirtämiseen tarkoitetut pumput	5
3.3	Keskipakopumpun ominaiskäyrä	7
3.4	Taajuusmuuttajan toimintaperiaate	7
4	Energiatehokas pumppausjärjestelmä	9
4.1	Pumpun mitoitus	9
4.2	Pumppaamoiden ohjaus ja säätö	10
5	Taajuusmuuttajaohjattujen jätevesipumppaamoiden energiatehokkuus	12
5.1	HSY:n energiansäästötavoitteet	12
5.2	Taajuusmuuttajakäyttöiset jätevesipumppaamot HSY:ssä	13
5.3	Espoon Kalevantien jätevesipumppaamon rakenne	15
5.4	Uppopumppujen eri ajotavat	16
6	Espoon Kalevantien jätevedenpumppaamon taajuusmuuttajien säätöjen optimointi	17
6.1	Mittauslaitteisto	17

6.2	Energiatehomittaus	20
6.3	Espoon pumppaamon mittaukset	21
6.4	Espoon pumppaamon tulokset	22
6.5	Uudet pumppauksen ohjauslaitteet	24
6.6	Päätelmät	26
6.7	Tulevaisuuden toimenpiteet pumppaamokohteisiin	26
7	Yhteenveto	27
	Lähteet	28
Liite	Chauvin Pel 103 -energiamittarin toiminnot	

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Helsingin seudun ympäristöpalveluiden (HSY) jätevesipumppaamoiden energiansäästöä. Työ perustuu EU:n v. 2006 laatimaan energiapalveludirektiiviin (2006/32/EY), jonka tavoitteena on säästää energiaa 9 % vuoteen 2016 mennessä vuoden 2010 energiankulutuksesta. Motiva Oy sekä työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) ovat laatineet erilliset energiatehokkuussopimusmallit kunnille ja kuntayhtymille huomioiden näiden kokonaisenergiankäytön ja asukasluvun. TEM:n sopimuksen allekirjoittaneita vuoteen 2011 mennessä oli noin 71 % koko kuntasektorista.

Tämä työ tehtiin yhdessä HSY:n taajuusmuuttajaohjatussa jätevesipumppaamossa. Opinnäytetyön idean sain HSY:n Suomenojan toimipisteen sähköinsinööriltä, ja aihe kiinnosti minua, koska työskentelin koko kesän 2013 Helsingin ja Vantaan jätevesipumppaamoiden parissa. HSY:ssä on yli 500 jätevesipumppaamaa, jotka käyttävät yli 10 % koko jätevesipuhdistusprosessin energiatarpeesta. Työn tarkoituksena on löytää energiatehokas tapa ajaa pumppaamaa, optimoida taajuusmuuttajia ja parantaa pumppausjärjestelmän logiikkaa. Taajuusmuuttajien optimoinnit suoritettiin Espoon Kalevantien taajuusmuuttajakäyttöisellä jätevesipumppaamolla. Työssä käydään läpi lokakuussa 2013 tehtyjä energia- ja virtausmittauksia sekä analysoidaan saadut mittaustulokset.

Parantamalla pumppausjärjestelmien energiantehokkuutta pystyttäisiin säästämään jopa 4 % koko maailman sähkön kulutuksesta. Yli 75 % pumppausjärjestelmistä on ylimitoitettuja. Pumppausjärjestelmän ylimitoituksella pystytään käsittelemään erikoistilanteissa syntyvien suurten virtauskuormien pumppausta. Ongelmana on, että ylimitoitus kuluttaa myös normaalitilanteissa paljon energiaa. Niin kotimaisten kuin kansainvälisten tutkimusten mukaan taajuusmuuttajilla ja niiden optimoinnilla pystytään säästämään huomattavasti sähköä. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Espoon Kalevantien jätevesipumppaamon energiansäästöä.

## 2 Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut

Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY) aloitti toimintansa 1.1.2010. HSY huolehtii pääkaupunkiseudulla yli miljoonan asukkaan juomaveden toimituksesta, jätevesien puhdistuksesta, jätteiden keruusta ja käsittelystä sekä tiedottaa ympäristöasioista, kuten ilmanlaadusta jne. HSY on kuntayhtymä, johon on liittynyt Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten vesilaitokset ja niiden henkilöstöt. Kuntayhtymässä työskentelee noin 750 työntekijää. [1.]

Pääkaupunkiseutu kasvaa asukasluvultaan joka vuosi, ja täten myös vesi- ja jätehuollon palvelutarpeet lisääntyvät. Veden puhdistus on yksi tärkeimmistä HSY:n prosesseista. Pääkaupunkiseudun lisäksi Helsingin ja Espoon jätevesilaitokset puhdistavat myös Kirkkonummen sekä Sipoosta Mäntsälään tulevat jätevedet.

Veden puhdistus on suurin sähkönkuluttaja HSY:ssä. Vuonna 2011 jopa 77 % koko sähkönkulutuksesta käytettiin vedenpuhdistukseen. Jätevesipumppaamoiden sähkönkulutuksen osuus oli 10 %:n luokkaa koko jätevesipuhdistusprosessin sähkönkulutuksesta, ja sitä pyritään tehostamaan tässä tutkimuksessa. HSY allekirjoitti vuoden 2012 alussa energiatehokkuussopimuksen työ- ja elinkeinoministeriön kanssa. Sopimuksen tarkoituksena on parantaa energiatehokkuutta, kehittää uusiutuvaa energiaa ja vähentää päästöjä. Kuntayhtymä tuottaa lähes saman verran energiaa kuin mitä se kuluttaa. HSY:n oma energiatuotanto kattoi 94 % vuoden 2012 energiankulutuksesta, mikä oli 200 600 MWh. [1 ; 7, s. 3-16.]

### 2.1 Jätevedenpumppaamot

HSY:n toimialueeseen kuuluu yli 500 jätevedenpumppaamoja. Jätevesipumppaamot on jaettu kahteen eri alueeseen, joista vastaavat Suomenojan puhdistamon ja Viikinmäen puhdistamon kunnossapitoryhmät. Uusia jätevesipumppaamoita rakennetaan muutama vuodessa ja ne pyritään rakentamaan maan alle. Uusia pumppaamoja tarvitaan, sillä

kaupunki kasvaa ja laajentuu uusille alueille. Pumppaamoilla on tärkeä tehtävä pääkaupunkiseudun jäteveden puhdistuksessa. Jätevettä pumpataan verkkoon pitkiä matkoja aina jätevedenpuhdistamolle saakka. [2.]

## 2.2 Energiatehokkuussuunnitelma

HSY liittyi kuntien energiaterhokkuussopimukseen helmikuussa 2012. HSY:n toimialoista suurin energiankuluttaja on vesihuolto, joka kulutti 87 % kokonaisenergiankulutuksesta v. 2010 (taulukko 1). Tavoitteena on vähentää energiankulutusta yhdeksän prosenttia vuoden 2010 energiankulutuksesta vuoteen 2016 mennessä, yhteensä noin 17 000 MWh. Nykyään eri tahot ja toimijat kiinnittävät erityistä huomiota energiansäästöön ja haluavat korostaa energiaterhokasta toimintaansa. Työ- ja elinkeinoministeriö tukee HSY:n energiaterhokkuusinvestointeja. Lisäksi EU on asettanut v. 2012 uuden ehdotuksen, jonka tavoitteena on säästää sekä julkisella että yksityisellä sektorilla 20 % kokonaisenergian tuotannosta ja käytöstä v. 2020 mennessä. Energiaterhokkuussuunnitelman allekirjoittaneet organisaatiot ovat julkisesti ympäristöystävällisiä ja kannustavat myös esimerkiksi muita. Pääkaupunkiseudun asukkaat hyötyvät pitkällä aikavälillä energiaterhokkuussuunnitelman onnistumisesta, mm. pienemmillä vesi- ja jätemaksuilla. [3, s. 4.]

Taulukko 1. HSY:n energiansäästötavoitteet vuosille 2012 - 2016, taulukossa vuoden 2010 kulutus ja vuoden 2016 säästötavoite. [3, s. 12.]

Toiminto	kulutus v. 2010, MWh	säästötavoite v. 2016, MWh
Jätevedenpuhdistamot	96 800	8 812
Jätevesipumppaamot	12 900	1 161
Lietteen kompostointi	320	29
Vedenpuhdistuslaitokset	39 500	3 611
Puhtaan veden jakelu	6 500	585
Verkoston tukikohdat	2 400	216
Kaatopaikkatoiminnot	15 700	1 413
Muu jätteiden vastaanotto	2 400	216
Seutu- ja ympäristötieto	330	30
Hallinto ja toimistot	7 000	630
Autot ja työkoneet	3 300	297
<b>Yhteensä</b>	<b>187 150</b>	<b>17 000</b>

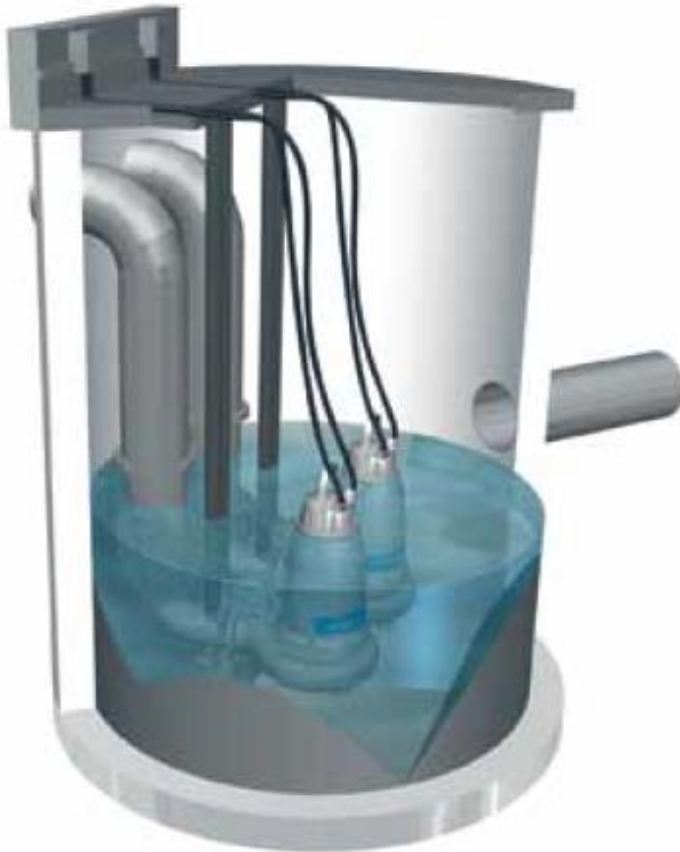


### 3 Jätevesipumppaamon rakenne ja toimilaitteet

Pumppausjärjestelmät käyttävät lähes 20 % maailman sähköstä. Motiva Oy, joka on valtion omistuksessa oleva asiantuntujayritys, joka kannustaa energia- ja materiaalitehokkuus hankkeita, on arvioinut, että 75 % pumppausjärjestelmistä on ylimitoitettuja, ja suurin osa niistä on ylimitoitettu 20 % liian suuriksi. Keskittymällä pelkästään pumppujen energiantehokkuuteen pystyttäisiin säästämään n. 4 % maapallon sähkönkulutuksesta. Pumppausjärjestelmien energiatehokkuuden parantamiseen ei ole yhtä ratkaisua, vaan ratkaisut ovat aina kohdekohtaisia. [6, s. 6 ; 4, s. 5.]

#### 3.1 Jätevesipumppaamon rakenne

Jätevesipumppaamon rakenne on yksinkertainen. Pumppaamossa on imukaivo, johon jätevesi varastoituu ja pumppaamon ohjauskeskus säättää jätevedenpintaa pumppujen avulla. Asuinalueiden asukkaiden ja teollisuuden jätevedet siirtyvät viemäriputkistoa pitkin jätevesipumppaamon imukaivoon, jossa jätevesipumput siirtävät nestettä eteenpäin. Pumppaamoiden rakenteet ovat kohdekohtaisia. Joissakin pumppaamoissa pumput on sijoitettu kuivaan tilaan. Yleisin ratkaisu on kuitenkin sijoittaa pumput imukaivoon kuten kuvassa 1. Pumppaamon imukaivo on viemäriputkistoa alempana, jotta painovoimaa hyväksikäyttämällä saadaan jätevettä siirrettyä eteenpäin. Imukaivon tehtävä on varastoida jätevettä ja pumpata sitä seuraavalle pumppaamolle tai puhdistamolle. Pumppaamossa on myös ohjauskeskus, jossa logiikka ohjaa pumppuja paineantureiden antaman tiedon avulla. Paineanturit mittaavat jäteveden pintaa, ja logiikka ohjaa pumppuja säädettyjen parametrien mukaan. Keskus voi olla pumppaamorakennuksen sisällä tai ulkona riippuen mm. pumppaamon koosta.



Kuva 1. Jätevesipumppaamon imukaivo [13, s. 4]

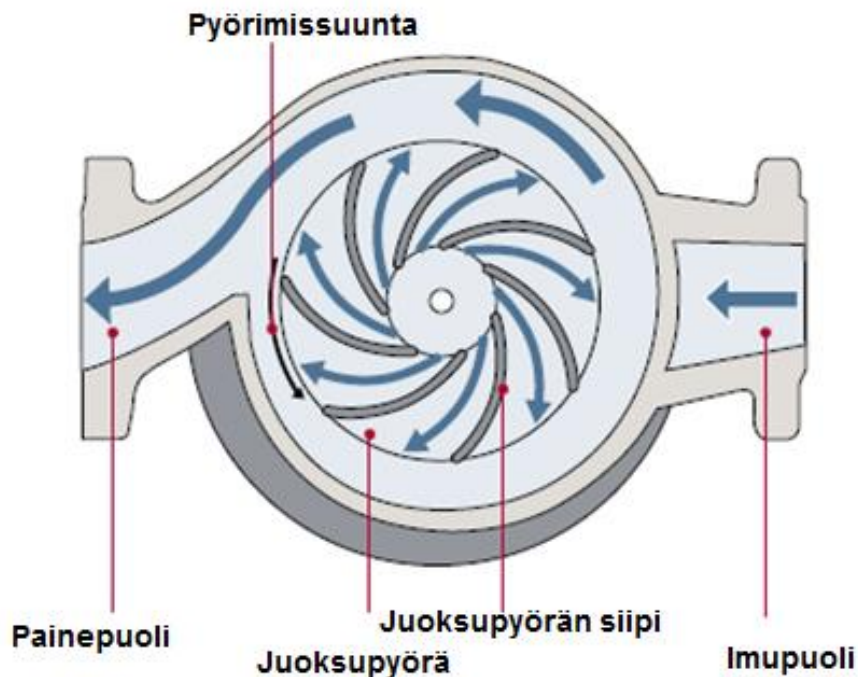
### 3.2 Nesteiden siirtämiseen tarkoitetut pumput

Nesteiden siirtämiseen käytettävät pumput voidaan jakaa syrjäytyspumppuihin ja dynaamisiin pumppuihin. Syrjäytyspumppuja käytetään silloin, kun nestevirrat ovat pienet ja nostokorkeudet suuret. Tarkan nesteensäädön vuoksi syrjäytyspumppuja käytetään yleensä annostelupumppuina, koska tilavuusvirta säilyy lähes vakiona nesteen nostokorkeudesta riippumatta. Toimintaperiaate perustuu pumpun pesässä olevan nesteen syrjäyttämiseen poistoputkeen (painepuolelle). Pumput sopivat prosesseihin, joissa pumpattavan nestevirran määrä halutaan pitää mahdollisimman vakiona. [14, s. 134-135.]

Dynaamisiin pumppuihin kuuluvat keskipakopumput, aksiaalipumput ja suihkupumput. Dynaamiset pumput muuttavat mekaanisen energian liike-energiaksi ja paine-energiaksi. Aksiaalipumput ovat syrjäytyspumppujen toinen ääripää. Käyttöalueena ovat suuret nestevirrat ja pienet nostokorkeudet. Käytännön esimerkkejä, joissa aksiaalipumppuja

käytetään, ovat mm. painepesurit, voimalaitoksen jäähdytyspumpput ja muut isojen nestemäärien pumppaamiseen tarkoitetut laitteet. Aksiaalipumppu muodostaa aksiaalisen kiihtyvyyden ja siirtää nestettä akselinsa suuntaisesti. Keskipakopumpput sijoittuvat aksiaalipumppujen ja syrjäytyspumppujen välille. Pääasiassa keskipakopumppuja käytetään tilanteessa, kun tarvittava nostokorkeus suhteessa nestevirtaan on suuri. [14, s. 135-136.]

Keskipakopumppu on yleisin käytössä oleva pumpputyyppejä, ja jätevesipumppaamoissa se on ainoa käytössä oleva pumpputyyppejä. Keskipakopumppu on tehokas, halpa valmistaa ja toimintaperiaatteeltaan yksinkertainen. Pumpun toimintaperiaate perustuu keskipakovoimaan. Kuvassa 2 näkyy nesteen siirtyminen keskipakopumpun kautta. Keskipakovoima syntyy juoksupyörän siipien työntäessä nestettä eteenpäin, jolloin nesteen kineettinen energia muuttuu paine-energiaksi. Keskipakovoiman ansiosta juoksupyörään syntyy alipaine, jonka avulla imupuolelta virtaa uutta nestettä sisään. Näin syntyy jatkuva virtaus. Syntyvässä paineessa on kyse Newtonin jatkuvuuden laista, minkä perusteella keskipakovoima pystyy voittamaan vastassa olevan paineen ja korkeuseron. [12, s. 52.]



Kuva 2. Nesteen siirtyminen keskipakopumpulla [11, s. 9]

### 3.3 Keskipakopumpun ominaiskäyrä

Keskipakopumpun toimintaa kuvaa ominaiskäyrä, eli pumpattavan tilavuusvirran  $Q$  (kuutiota sekunnissa) funktio nostokorkeuteen  $H$  (metreinä). Kuva 5 (ks. s. 17) on hyvä esimerkki pumpun eri käyristä. Kuvassa nähdään yleisimmät pumppukäyrät, kuten systeemiikäyrä ja ominaiskäyrät kolmella eri nopeudella. Pumppuvalmistajat piirtävät ominaiskäyrät pumppujen koeajojen perusteella. Käyrästä nähdään pumpun tuottoarvot eri nopeuksilla ja korkeuksilla. Pumpun nostokorkeuden  $H$  määrittämiselle on olemassa lauseke, jota kutsutaan Bernoullin yhtälöksi.

$$H = \frac{p_p - p_i}{\rho g} + h + \frac{v_p^2 - v_i^2}{2g}$$

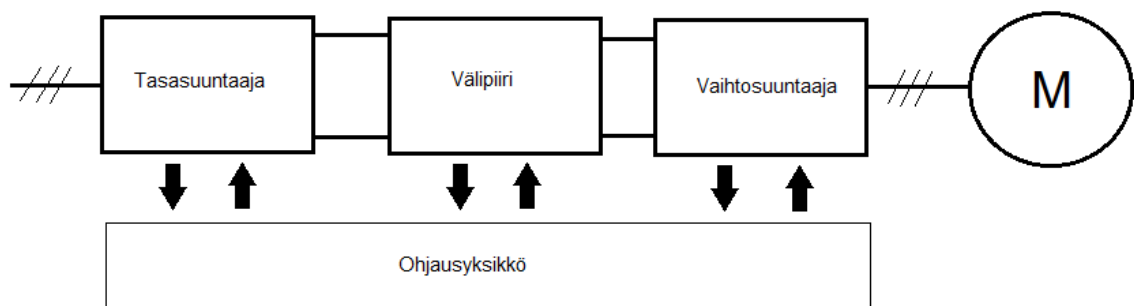
$p_p$  on painepuolen paine,  $p_i$  on imupuolen paine,  $h$  on imu- ja painepuolen välinen korkeusero,  $v_p$  on nesteen nopeus painepuolella,  $v_i$  on nesteen nopeus imupuolella. Nesteen tarvitsema paineen lisäys, jotta se liikkuu putkistosta eteenpäin, saadaan lausekkeesta  $\Delta_p = \rho g H$ , missä  $\Delta_p$  on paineen lisäys,  $\rho$  on nesteen tiheys,  $g$  on putoamiskiihtyvyys ( $9,81 \frac{m}{s^2}$ ) ja  $H$  on nostokorkeus. Pumpun teoreettinen tehontarve, minkä se vaatii moottorilta ilman häviöitä, saadaan kaavasta  $P = \rho g H Q$ . [14, s. 137-138]

### 3.4 Taajuusmuuttajan toimintaperiaate

Tutkimusten mukaan taajuusmuuttajan avulla pystytään monissa moottorisovelluksissa säästämään sähkönkulutusta yli 50 %. Energiansäästö on sitä parempi taajuusmuuttajan kanssa, mitä tehokkaampi sähkömoottori tai generaattori on kyseessä. Taajuusmuuttajalla pystytään sähkömoottorikäytössä portaattomaan nopeudensäätöön ja taloudelliseen ajotapaan. Sähkömoottori, joka on kytketty taajuusmuuttajaan, eliminoi kontaktoreiden ja releiden kuten lämpöreleiden käytön, koska taajuusmuuttajan logiikalla pystytään ohjaamaan moottorin pyörimisnopeutta, käynnistystä ja pysäytystä sekä suunnanvaihtoa. [10, s. 83-85.]

Yleisin taajuusmuuttajatyyppejä on välipiirillinen taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajan yleisin nopeudensäätö pumppukäytössä on skalaarisäätö. Skalaarisäätö perustuu nopeussäätöön ja tämän jälkeiseen vääntömomenttisäätöön. Skalaarisäädöllä pystytään tarkasti sääntämään moottorin pyörimisnopeutta, mutta sen säätövirheet kasvavat nopeissa vääntömomentin muutoksissa. Välipiirillisessä taajuusmuuttajassa on neljä pääosaa,

jotka näkyvät periaatekaaviossa kuvassa 3. Tasasuuntaaja muuttaa verkosta otetun vaihtojännitteen muuttuvaksi tasajännitteeksi. Välipiirin käämi muuttaa syötetyn virran muuttuvaksi tasavirraksi. Vaihtosuuntaaja muuttaa tasajännitteen muuttuvaksi vaihtojännitteeksi ja samalla ohjaa moottorijännitteen taajuutta. Ohjaus- ja säätöpiiri (ohjauskortti) ottaa tietoa kaikista kolmesta edellä mainituista osista ja lähettää tiedot muihin laitteisiin. Tiedot näkyvät ohjauspaneelissa, tietokoneessa tai molemmissa riippuen käytettävistä laitteista ja halutusta käytöstä. Ohjauskortti säätää taajuutta välipiirin ja asetettujen arvojen avulla. Taajuusmuuttajan käyttöpaneelin näytöstä, tietokoneohjelmasta tai analogisista laitteista voidaan ohjata ja valvoa prosessia, mikroprosessorin ohjauskorttiin tallentavien tietojen avulla. Ohjauskortilla on kaksi tehtävää, ohjata taajuusmuuttajan puoli-johteita (ohjaa sähkön voimakkuutta) sekä ottaa vastaan tietoa ja lähettää sitä muihin laitteisiin. Käyttäjä voi syöttää tietoa ohjauspaneelin kautta tai käyttää PLC-ohjausta (programmable logic controller eli ohjelmoitava logiikka). [10, s. 83-85 ; 9, s. 11-18.]



Kuva 3. Taajuusmuuttajan rakennekaavio [9, s. 11]

Taajuusmuuttajan sisäiseen tietokoneeseen kuuluu mikroprosessori, EPROM-piiri (erasable programmable read only memory), RAM (random access memory) ja I/O (input / output). Näiden eri osien tiedonsiirto toimii kolmella eri väylällä. Dataväylä siirtää nimensä mukaan tietoa osasta osaan, osoiteväylä näyttää, mistä ja mihin tietoa siirretään, ja ohjausväylä siirtää tietoa oikeassa järjestyksessä. Tietokoneen tärkein elin on mikroprosessori. Muistissa olevien tietojen ja ohjelman avulla mikroprosessori pystyy suorittamaan erilaisia toimintoja, ja näin tietokone ohjaa muita yksiköjä säädetyllä tavalla. EPROM-piirin muisti säilyy sähkökatkossa sekä EPROM-piiriä voidaan ohjelmoida ja pyyhkiä ultraviolettivalon avulla. Mikroprosessori voi lukea tietoa EPROM:ista ja RAM-muisti on se josta mikroprosessori hakee tietoa ja tallentaa uudet tiedot sinne. RAM hävittää muistissa olevat tiedot sähkökatkossa. I/O-yksikköön kuuluu tulot ja lähdöt, joiden

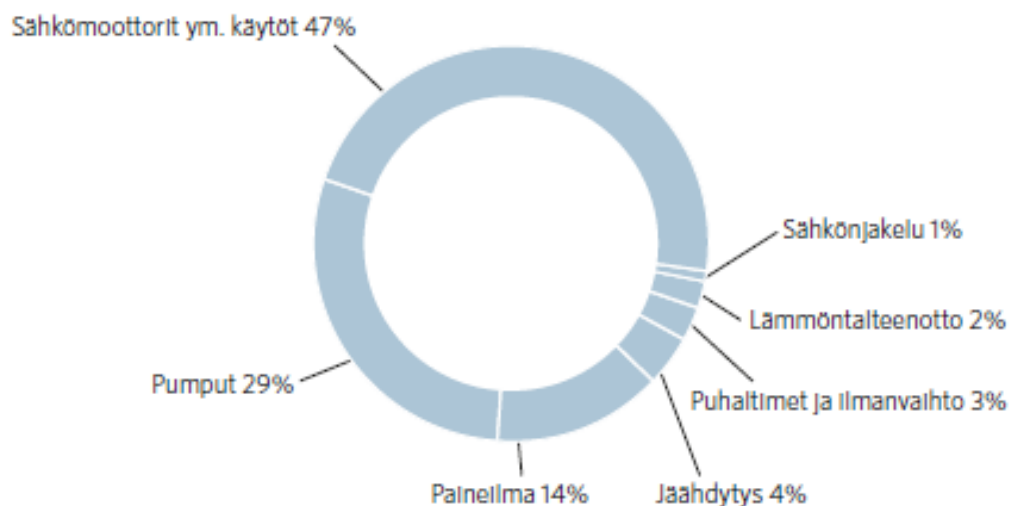
avulla taajuusmuuttajan sisäinen tietokone on yhteyksissä ohjauspaneeliin, tietokoneeseen tai muihin käytössä oleviin laitteisiin. [9, s. 31-32.]

## 4 Energiatehokas pumppausjärjestelmä

### 4.1 Pumpun mitoitus

Pumppujen mitoitus on tärkeää energiatehokkaassa pumppauksessa. Ulkopuoliset konsultit mitoittavat jätevesipumppaamot nykyisten ja tulevaisuudessa kasvavien jätevesivirtaamien ja niiden nostokorkeuksien perusteella. Pumppaamon mitoittaminen ei ole aina helppoa vaihtelevien virtaamien takia. HSY:n kaikki pumppaamot ovat ylimitoitettuja juuri edellä mainittujen vaihteluiden takia. Tärkeimmät tekijät pumpun valintaan ovat nesteen nostokorkeus, tuotto, pumpattava aine, pumpun teho ja hyötysuhde sekä pyörimisnopeus.

Pumppujen mitoituksessa on oltava tarkkana, kun valitaan pumppaamoon uudet pumput. Oikean pumpun valintaan kohdistuu jopa 29 % pumpun säästöpotentialista. Tässä työssä keskitytään pumppujen säätöön, sillä kirjallisuuden mukaan pumppuja säätämällä voidaan säästää energiaa jopa 47 % (kuva 6).



Kuva 6. Pumppukäyttöön liittyvä säästöpotentialin jakauma [4, s. 13]

Seuraavasta kaavasta näkyy pumpun tarvitsemaan tehoon vaikuttavat tekijät.

$$P_2 = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta_p} \Rightarrow P_2 = \frac{Q \cdot p}{\eta_p}$$

$P_2$  on pumpun akseliteho [W],  $\rho$  nesteen tiheys [ $\text{kg/m}^3$ ],  $g$  putoamiskiihtyvyyys [ $\text{m/s}^2$ ],  $Q$  tilavuusvirta [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],  $H$  nostokorkeus [m],  $\eta_p$  pumpun hyötysuhde [%] ja  $p$  paine [Pa]. Ainoa tekijä, mihin ei voida vaikuttaa, on nesteen tiheys, sillä kyseessä on jätevesi. Nesteen tiheys on vaihtelevaa riippuen eri tekijöistä. Pumpun hyötysuhde on myös tekijä, johon ei voida vaikuttaa vaihtamatta pumppua. Tilavuusvirtaan ja nostokorkeuteen voidaan vaikuttaa tehostamalla pumppausjärjestelmää eri tavoin. [4, s. 14.]

#### 4.2 Pumppaamoiden ohjaus ja säätö

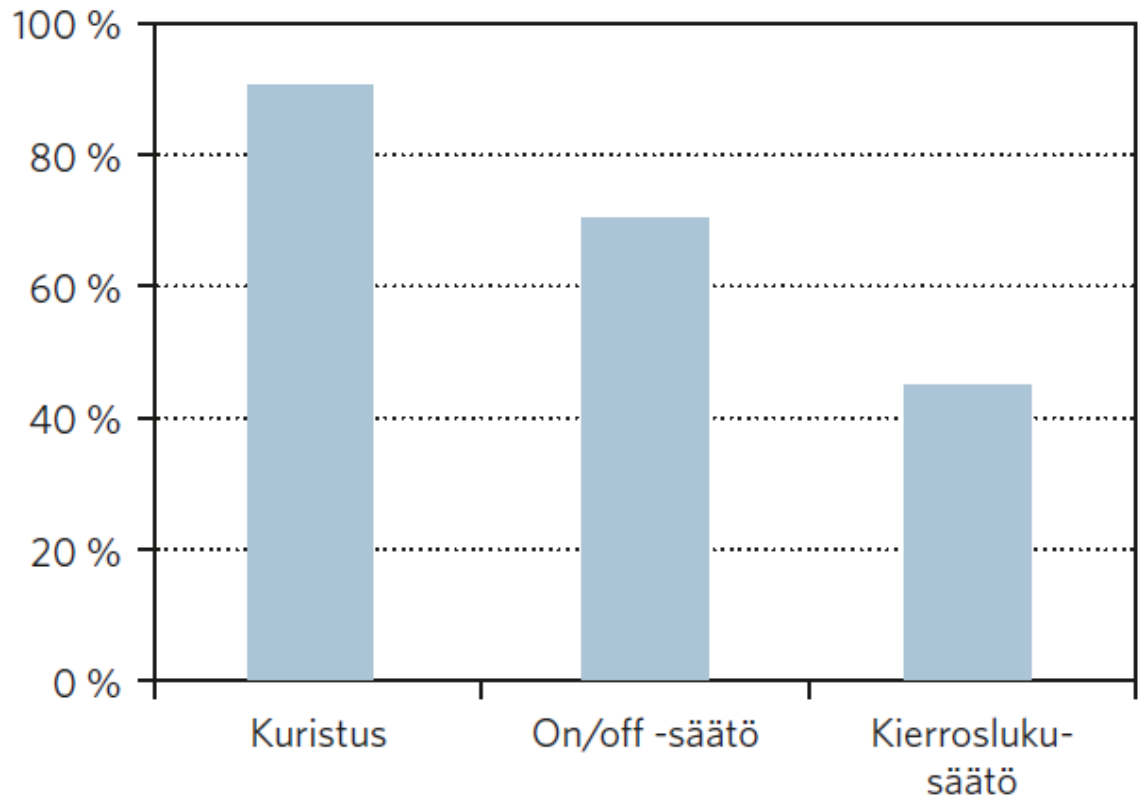
Pumppausprosessin moottorien yhteydessä usein esiintyvät termit ohjaus ja säätö. Nämä termit sekoitetaan helposti toisiinsa tai niiden eroa ei tunnisteta. Molempia yleensä käytetään teollisuuden eri prosesseissa

Yleisimmät ohjaustoiminnot ovat moottorin käynnistys ja pysäytys. Venttiilien kääntäminen haluttuun asentoon ja moottorin pyörimisnopeuden asettelut kuuluvat myös ohjaukseen. Ohjauksella saatua tulosta ei käytetä ohjaustoimenpiteen tarkastamiseen.

Säädössä taas käytetään prosessissa saatuja tietoja, joilla pyritään pitämään prosessi säädettyjen arvojen sisällä. Saatuja suureita verrataan keskenään ja näiden erotusta pyritään pienentämään. Säädöllä yleensä tarkoitetaan automaattisesti prosessia korvaavaa ohjaustoimintaa. Yleisin säätötapa on pitää moottorin pyörimisnopeus halutussa nopeudessa. [8, s. 94.]

Pumppujen yleisimmät säätötavat ovat kuristussäätö, on / off-säätö, ohitusvirtaussäätö ja pyörimisnopeussäätö taajuusmuuttajalla. Yleisin näistä neljästä säädöstä on kuristussäätö, missä venttiilin avulla rajoitetaan virtausta ja kasvatetaan painetta. On/off-säätöä käytetään jaksottaisessa prosessissa, jolloin pinta ajetaan tiettyjen rajojen sisällä. Ohitusvirtaussäätö ei ole yleisesti käytössä sen epätaloudellisen ajotavan takia. Säädössä osa tulevasta virtauksesta pumpataan takaisin imupuolelle, jossa neste kiertää edestakaisin.

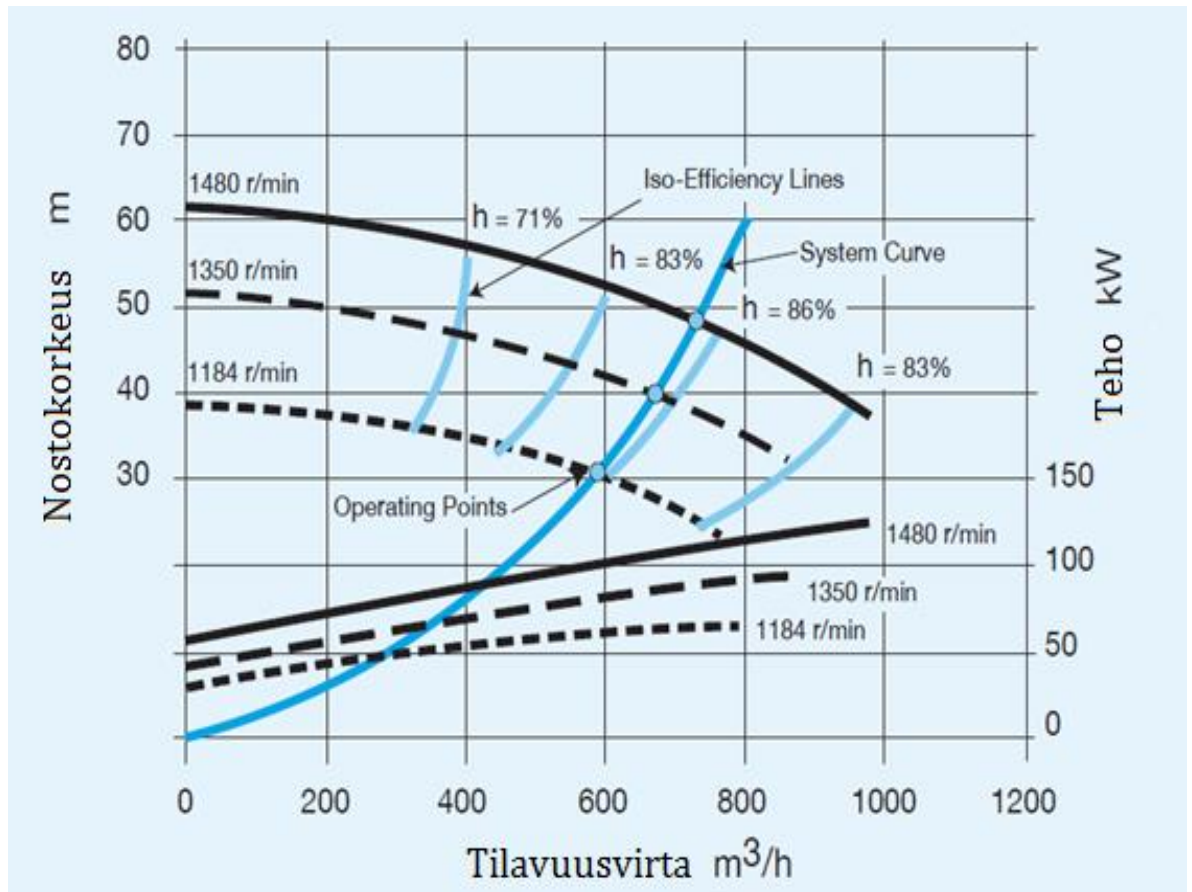
Pyörimisnopeussäätö on energiatehokkain ajotapa. Se voi tuottaa jopa 25 % säästöä on/off-säätöön verrattuna (kuva 7).



Kuva 7. Pumpun säätötavan vaikutus täyteen tilavuusvirran kulutukseen [4, s. 16]

Kuten jo edellä todettiin, HSY:n jätevesipumppaamoiden pumput ovat ylimitoitettuja. Tehokkain tapa säästää energiaa on säätää taajuusmuuttaja ajamaan pumppuja optimaalisella pyörimisnopeudella. Optimointiin on olemassa pumpun systeemikäyrä (kuva 8) josta voidaan nähdä pumpun hyötysuhde eri pyörimisnopeuksilla. Paras hyötysuhde saadaan vertaamalla nostokorkeutta, virtauksen- ja pyörimisnopeuskäyrää systeemi-käyrään. Pumpun hyötysuhde systeemikäyrässä on yleensä 85 - 90 %.





Kuva 8. Pumpun hyötysuhteet eri pyörimisnopeuksilla. [5, s. 6.]

## 5 Taajuusmuuttajaohjattujen jätevesipumppaamoiden energiatehokkuus

Tämä työ perustuu HSY:n vuosille 2010 - 2016 laadittuun energiansäästötavoitesuunnitelmaan. Tavoitteena on tutkia ja löytää energiatehokas tapa ajaa taajuusmuuttajakäyttöisiä jätevesipumppuja. Tämän projektityön mittaukset on tehty yhdessä Espoon jätevesipumppaamossa, Kalevantien taajuusmuuttajakäyttöisellä jätevesipumppaamolla

### 5.1 HSY:n energiansäästötavoitteet

HSY:n energiatehokkuussuunnitelmassa jätevesipumppaamoiden sähköenergian säästötavoitteeksi on asetettu 9 %:n (1 161 MWh) lasku vuoden 2010 sähkönkulutuksesta vuoteen 2016 mennessä (taulukko 1 s. 3). Edellä mainittuun suunnitelmaan on kirjattu

erikseen 50 MWh:n säästötavoite taajuusmuuttajien ohjausparametroinnin muuttamisesta energiatehokkaammaksi, johon tämä työ liittyy (taulukko 2). Tässä työssä keskitytään vähintään 50 MWh säästöihin jätevesipumppaamoissa. [3, s. 23.]

Taulukko 2. Jätevesipumppaamoiden energiatehokkuusinvestoinnit ja säästötavoite [3, s. 23]

Jätevesipumppaamot				
LVI - saneeraus + rakennustekniset muutokset	5 /2013	Suunnittelu käynnissä	-33	
Pumppaamosaneerauksen yhteydessä pumput uusitaan	8/2013	Työ käynnissä	-25	
Selvitetään ja parannetaan jätevesipumppaamoilla olevien taajuusmuuttajien ohjausparametrointia energiatehokkaammiksi	2013	Suunnittelu käynnissä	-50	

## 5.2 Taajuusmuuttajakäyttöiset jätevesipumppaamot HSY:ssä

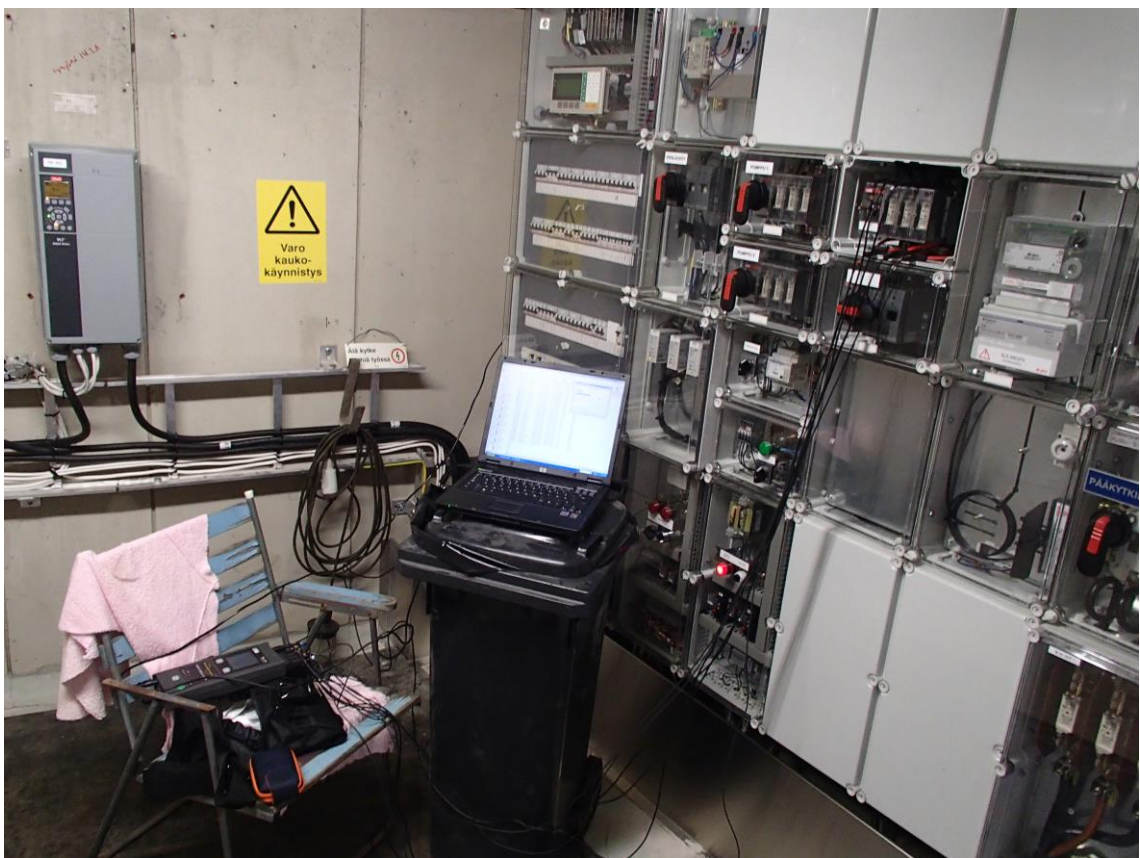
HSY:n toiminta-alueeseen kuuluu 500 jätevesipumppaamaa, jotka on jaettu kahteen alueeseen ja joita hoitaa jätevesiosaston kunnossapitoyksikkö. Suomeonojan kunnossapitoryhmä hoitaa Espoon, Kauniaisten sekä Länsi-Vantaan jätevesipumppaamot ja Viikimäen kunnossapitoryhmä hoitaa koko Helsingin, Pohjois-Vantaan ja Itä-Vantaan jätevesipumppaamot. Projektityössä keskitytään Suomeonojan kunnossapitoryhmän alueeseen, jätevesipumppaamoiden oman rakennustavan ja viemäroinnin takia. Alueeseen kuuluu yli 200 jätevesipumppaamaa, joista 32 (taulukko 3) on taajuusmuuttajakäyttöisiä. Taajuusmuuttajakäyttöisten pumppaamoiden yhteenlaskettu moottoriteho on 2 317 kW ja vuonna 2012 energian kulutus oli 3 166 MWh (taulukko 3).

Taulukko 3. Espoon kunnossapitoryhmän taajuusmuuttajakohteiden pumpputehot sekä sähköenergian kulutus vuonna 2012

Kohde	Nimi	Pumput	kW	kW yht.	2012 kWh
JVP10	Friisilä	6	37	222	495 742
JVP11	Niittykumpu	3	17	51	90 220
JVP12	Hakalehto	3	7,5	22,5	40 847
JVP13	Karhulahti	2	22	44	37 769
JVP14	Itäranta	2	7,5	15	10 220
JVP17	Kalevalantie	3	22	66	119 592
JVP24	Kokinkylä	4	75	300	470 149
JVP29	Leppäsilta	3	44	132	250 679
JVP30	Perkkaa	3	75	225	327 571
JVP33	Myllypuro	2	30	60	129 978
JVP36	Viherlaakso	3	37	111	91 343
JVP38	Järvenperä	4	30	120	292 960
JVP49	Soukka	2	13,5	27	20 732
JVP52	Koivuniemi	2	44	88	73 095
JVP55	Muurala	4	30	120	119 577
JVP56	Keilaniementie	2	13,5	27	33 764
JVP59	Kauklahti	2	22	44	36 418
JVP60	Muulo	2	44	88	140 805
JVP71	Kirkkotie	3	22	66	64 924
JVP79	Örkkiniityntie	2	7,5	15	21 038
JVP97	Kurkijärvi	2	10	20	4 078
JVP110	Kolmirannantie	2	22	44	51 693
JVP111	Kolmperä	2	11	22	30 926
JVP112	Ämmäsuon risteys	2	30	60	25 103
JVP115	Saunalahti	2	68	136	140 486
JVP194	Brobacka	2	22	44	36 150
JVP196	Piilipuuntie	2	18,5	37	3 630
JVP205	Viiriniitty	2	11	22	604
JVP207	Nuukio 1	2	11	22	1 800
JVP208	Nuukio 2	2	11	22	1 800
JVP209	Nuukio 3	2	11	22	1 800
JVP219	Minttupelto	2	11	22	1 200
				2 317	3 166 693

### 5.3 Espoon Kalevantien jätevesipumppaamon rakenne

Espoon Kalevantien kohde on tyypillinen jätevedenpumppaamo. Kohteessa on kolme 18,5 kW:n Flygtin uoppopumppua, joita ohjataan Danfossin taajuusmuuttajilla. Uppopumput on asennettu jätevesikaivoon, mihin jätevesi tulee ja josta pumput siirtävät jätevettä eteenpäin. Pumput ovat uoppopumppuja, joten ne ovat kaivon pohjassa jäteveden peittäminä. Pumppaamon logiikka käynnistää pumpun, kun jäteveden pinta on tietyssä rajassa. Pumppaamon sähkötilassa on ohjauskeskus ja taajuusmuuttajat. Kuvassa näkyy Kalevantien ohjauskeskus, jossa on meneillään energiatehomittaus.



Kuva 4. Kalevantien pumppaamon sähkötila

Kalevantiellä on myös huoltotila, joka on yleistä isoissa pumppaamoissa. Huoltotila sijaitsee sähkötilan alapuolella. Kuvassa 5 näkyy pumpuista lähtevät putket (3 kpl poistoputkia jotka yhdistyvät) ja niiden venttiilit, tyhjennysventtiili loka-autoa varten sekä meneillään oleva ultraäänimittaus.



Kuva 5. Espoon pumppaamon huoltotila

#### 5.4 Uppopumppujen eri ajotavat

Taajuusmuuttajakäyttöisissä pumppaamoissa, kuten Kalevantiellä, on eri ajotapoja riippuen käyttäjästä, pumppaamon rakenteesta, halutusta käyttötavasta, jäteveden tulovirtaamasta jne. Prosessin kannalta katsottuna on vain kaksi ohjaustapaa, pintaohjaus tai tyhjennysohjaus. Pintaohjauksessa logiikka pyrkii pitämään jäteveden pinnan asetussa arvossa. Moottorin pyörimisnopeus muuttuu tulovirtaaman (pinnan nousun ja laskun) mukaan. Tyhjennysohjauksessa taajuusmuuttajat on asetettu ajamaan moottoreita 49,9 - 50 Hz:n taajuudella. Toisin sanoen moottori pyörii vakionopeudella, logiikassa asetetusta käynnistysrajasta pysäytysrajalle asti. Energiatohokkuudella ei ole ollut suurta vaikutusta ajotavan valintoihin. Käyttäjän haluttu ajotapa tai kokemus ovat vaikuttaneet eniten ajotavan valintaan. Esimerkiksi joissakin kohteissa kaivon synty helposti

pintalauttaa, jota saadaan poistettua ainoastaan moottoreiden suurilla nopeuksilla. Haluttu ajonopeus on yleensä 50 Hz, joka vastaa moottorin maksimipyörimisnopeutta (100 %).

## **6 Espoon Kalevantien jätevedenpumppaamon taajuusmuuttajien säätöjen optimointi**

Kalevalantien jätevesipumppaamo sijaitsee Espoon Tapiolassa. Kalevantien jätevesipumppaamon kautta pumpataan kaikki Otaniemen sekä Länsi-Tapiolan jätevedet. Kohteessa on kolme kappaletta Flygtin 18,5 kW:n uppopumppua, joita ohjataan Danfosin VLT AQUA Drive FC 202 -taajuusmuuttajilla. Yhden pumpun maksiminestevirtaus on noin 100 l/s. Suurimmat jätevesivirtaukset Kalevantien pumppaamolle tulevat arkena normaaliin työaikaan (8-16). Tämän työn mittaukset on suoritettu lokakuussa 2013 arkipäivinä klo 8 – 15 välisenä aikana, jolloin on ollut suurin tulovirtaama. Mittauksissa käytettiin ultraäänivirtausmittaria (kuva 9) ja energiamittaria (kuva 11). Ultraäänivirtausmittarin asentamisessa ja käytössä avusti Vanhankaupungin toimipisteen puhdasvesipuolen sähköasentaja sekä energiatehomittauksen asentamisessa, käytössä ja Pel Transfer-ohjelmiston opastamisessa avusti Suomenojan sähköinsinööri.

### **6.1 Mittauslaitteisto**

Kohteessa ei ollut kiinteää virtausmittausta, joten se piti asentaa erikseen. Mittauksessa käytetty Controlotron System 1010 -virtausmittarin ultraäänianturit asennettiin poistoputken kylkeen putkensuuntaisesti. Virtausmittari toimii ultraäänisignaalien avulla. Anturit lähettävät ultraäänisignaalit putkeen ja myös vastaanottavat ne. Ultraäänivirtausmittaus perustuu samaan toimintaperiaatteeseen kuin raskaana olevan kohdun ultraäänitutkimus, jolla halutaan selvittää kohdussa olevan vauvan terveydentilaa ja/tai sukupuolta. Ultraäänisignaalit kimpoilevat putkessa ja anturit vastaanottavat tiedon, jonka virtausmittari analysoi ja näyttää tuloksen ruudulta. Kuvassa 6 näkyy poistoputkessa olevan 100,7 l/s virtaus. Ultraäänimittarin tarkkuus on  $\pm 1$  %, mutta kalibroinnin jälkeen se tarkentuu  $\pm 0,1$  %. [17.]



Kuva 9. Ultraäänivirtausmittari

Enerkey-palvelusta (kuva 10) nähdään Kalevantien pumpptaamon ulkoa ostetun sähköenergian määrät 1.1.2012 - 23.10.2013 välisenä aikana. Kulutuksen keskiarvo on vuosi-raportin ajanjaksona ollut 11 kW. Sähköenergian kulutus tässä kohteessa on ollut täysin riippuvainen pumpattavan jäteveden määrästä eikä ajotavasta. Ajotapa on ollut 2013 ke-sään asti pintaohjattua, minkä jälkeen ajotapa on muutettu *on/off*-säädöksi nostamalla alataajuutta 49,9 Hz:iin.

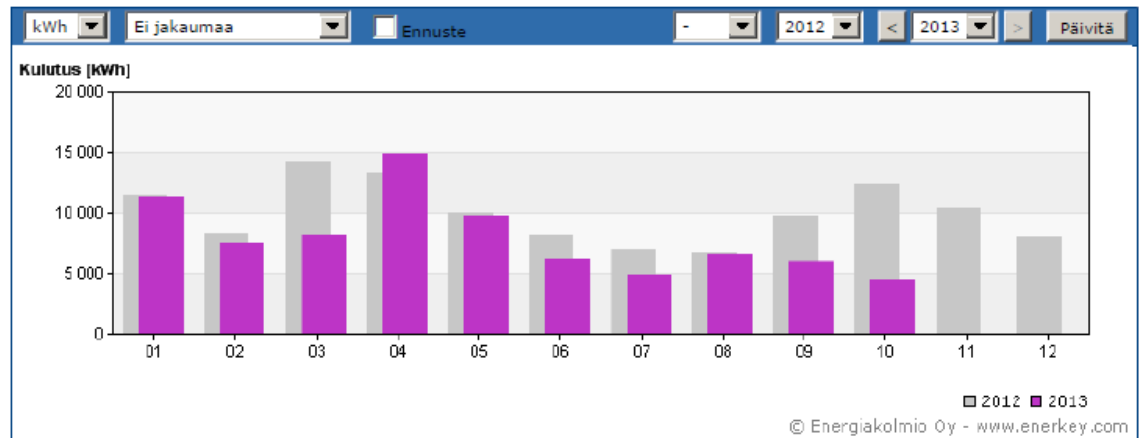
## Vuosiraportti, Sähkö (2013)



36001

23.10.2013

Kohde Kalevalantien jvp 2017		Katuosoite Mielikinviita 1, 02130 ESPOO	
Yritys HSY Helsingin seudun ympäristöpalvelut - kuntayhty		Omistaja -	
Lämmitysmuoto -	Kiinteistötyyppi Jätevedenpumppaamot	Valmistumisvuosi -	



Yhteensä [kWh]					
Kuukausi	2012	2013	Muutos	Maksimi [kW]	Loishuippu [kVar]
Tammikuu	11 425	11 349	-0,7 %	42	5
Helmikuu	8 345	7 426	-11,0 %	20	2
Maaliskuu	14 272	8 111	-43,2 %	19	2
Huhtikuu	13 247	14 861	12,2 %	49	5
Toukokuu	9 957	9 776	-1,8 %	24	3
Kesäkuu	8 164	6 272	-23,2 %	19	2
Heinäkuu	6 926	4 882	-29,5 %	14	1
Elokuu	6 712	6 556	-2,3 %	30	2
Syyskuu	9 806	5 984	-39,0 %	19	1
Lokakuu	12 262	4 471	-	21	1
Marraskuu	10 367	-	-	-	-
Joulukuu	8 109	-	-	-	-
<b>Yhteensä</b>	<b>119 592</b>	<b>79 688</b>	<b>-15,3 %</b>	<b>49</b>	<b>5</b>

Jakauma		Kulutus	
Päivä (07-22)	57 297 kWh	71,9 %	Maksimi 49 kW
Yö (22-07)	22 391 kWh	28,1 %	Kulutuksen keskiarvo 11 kW
Arkipäivä	48 953 kWh	61,4 %	Minimi 1 kW
Yö/pyhä	30 735 kWh	38,6 %	

Selite

123 Vertailujaksolta puuttuu kulutuksia

123 Summarivin muutos on laskettu vertaamalla viime vuoden vastaavaan jaksoon

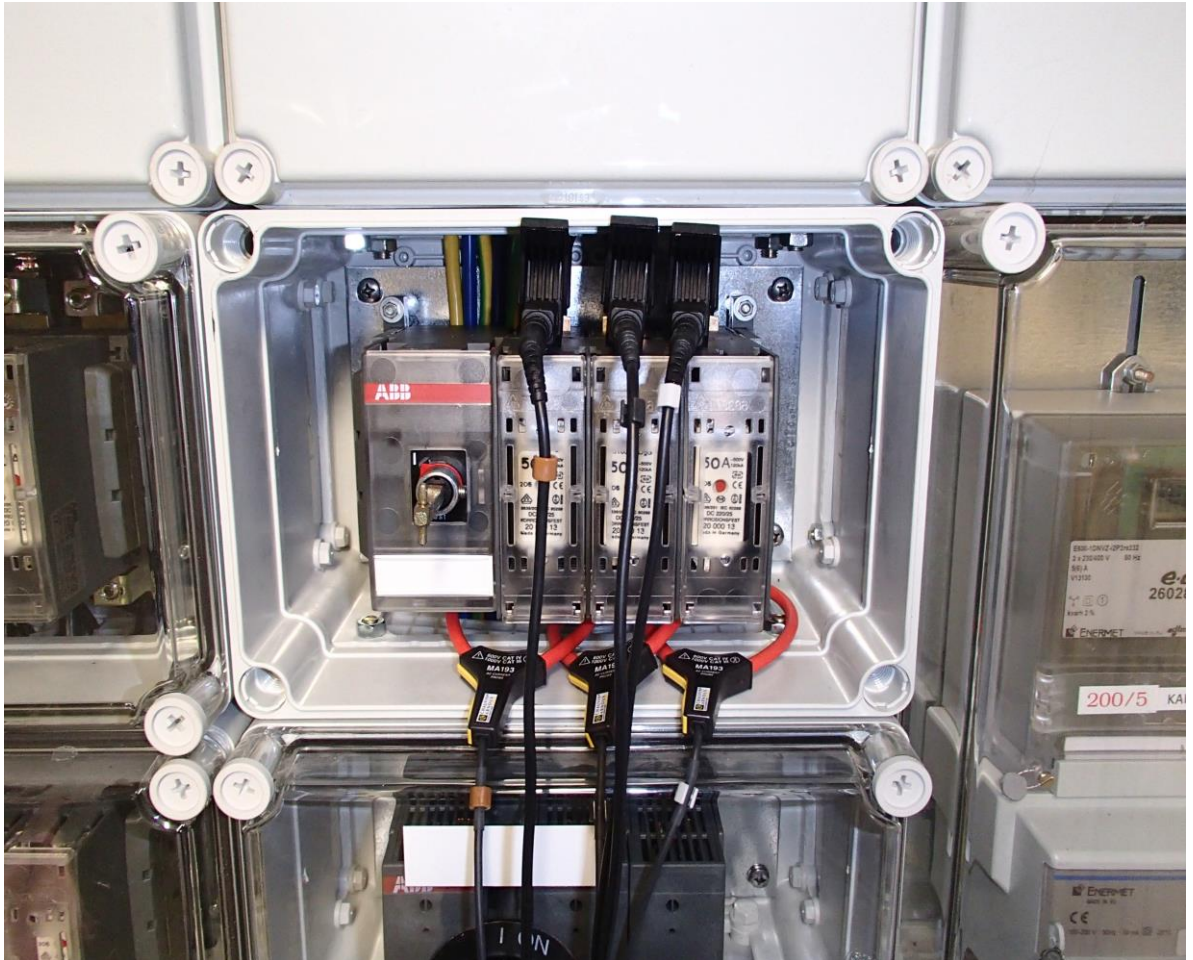
Kuva 10. Kalevantien pumppaamon ostettu sähköteho 2012 - 23.10.2013

Kalevantien vuosiraportin mukaan sähkönkulutus v. 2012 oli noin 120 000 kWh. Sähkön hinta on 5 - 6 snt / kWh ja sähkönsiirto samaa luokkaa v. 2013. Tässä tapauksessa taajuusmuuttajia optimoimalla pystytään säästämään tuhansia euroja vuodessa. Optimoimalla kaikki HSY:n taajuusmuuttajakäyttöiset jätevesipumppaamot säästöt olisivat kymmeniä tuhansia euroja vuodessa.



## 6.2 Energiatohomittaus

Mittaustyössä käytetty Chauvin Pel 103 -energiamittari on kytketty yhden pumpun lähtöön (kuva 11). Energiamittari mittaa jokaisen vaiheen virran ja jännitteen. Liitteestä 1 nähdään, mitä kaikkia sähköisiä suureita Pel 103 -energiamittari pystyy mittaamaan.

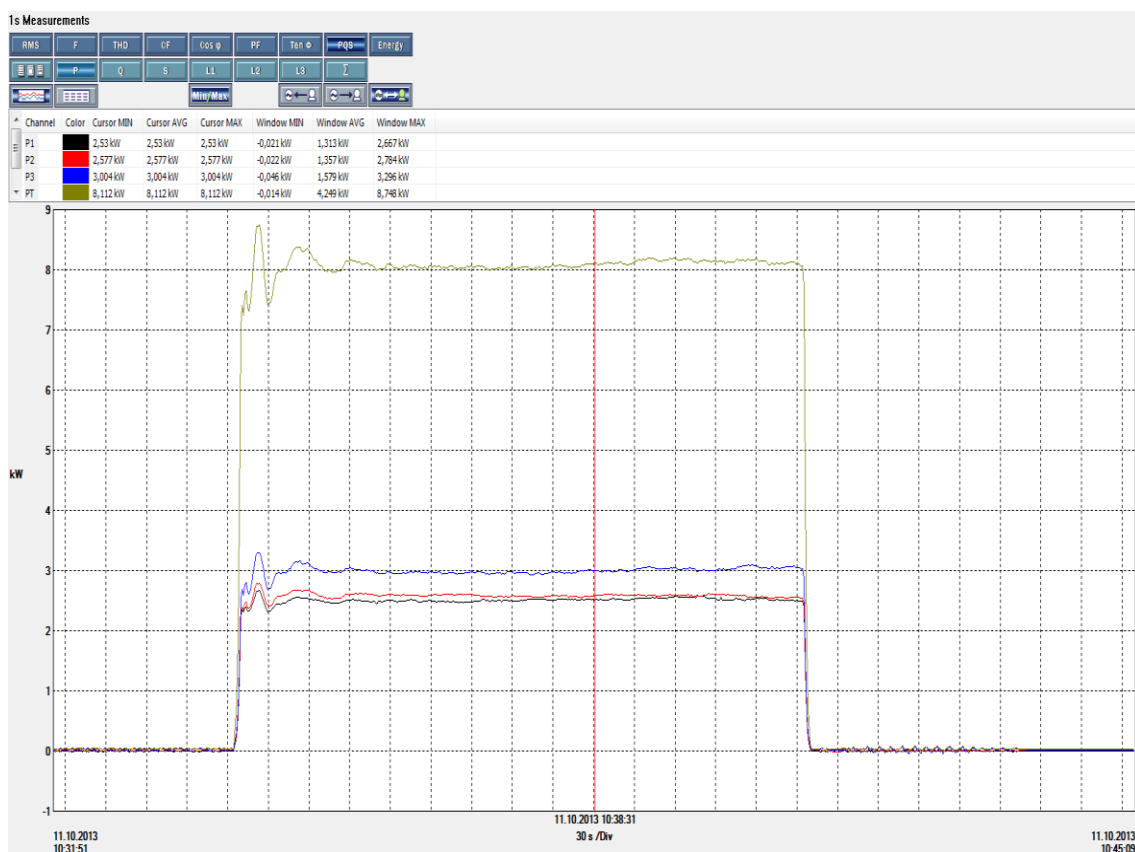


Kuva 11. Kalevantien sähkön tehonmittaus

Mittausten tavoitteena oli selvittää pumppujen energiatehokkain pyörimisnopeus. Lokakuussa 2013 tehdyt mittaukset mitattiin yhden pumpun pumppaamat virtaukset ja tehot. Pumppaamossa on kolme pumppua, ja vain yhtä pumppua käytetään kerralla jäteveden siirtämiseen. Pumppuja ajetaan rinnan vain poikkeustilanteissa (suuret virtaamat).

### 6.3 Espoon pumppaamon mittaukset

Testimittauksen analysoinnista ilmeni, että alle 30 Hz:n mittauksia ei kannata tehdä, sillä tällöin pumput eivät työnnä nestettä eteenpäin. Mittaukset suoritettiin 30 - 50 Hz:iin, yhden Hz:n välein ajamalla imukaivon pinnan lähes ylivuotorajasta alarajalle asti. Mittauksia suoritettiin useita kertoja tehtyjen mittausvirheiden ja varmennusmittauksien takia. Talteenotettuja mittauksia tehtiin kaikkiaan 21 kpl (30 - 50 Hz) ja yhden mittauksen talteenotettu data oli kestoaltaan noin 10 minuuttia. Suurten virtaamien vuoksi alle 45 Hz:n mittaukset suoritettiin imukaivon pinnan ollessa puolessa välissä. Virtausmittari ja PEL Transfer-ohjelmisto (energiamittarin tallennusohjelma kuva 12) säädettiin tallentamaan virtaustuloksia mahdollisimman lyhyillä ajanjaksoilla (virtausmittaukset 30 sekunnin välein ja energiatehomittaukset yhden sekunnin välein). Ohjelmisto näyttää tehot (pätö-, lois- ja näennäistehot), tehokertoimen, vaihejännitteet, virrat ja keskimääräisen tehon jne. Mittausajat energiamittarilla kestivät noin kymmenen minuuttia ja ultraäänivirtausmittari keräsi yhtäjaksoisesti dataa tutkimuksen aikana.



Kuva 12. Pätötehon kulutus 40 Hz:n ajonopeudella

#### 6.4 Espoon pumppaamon tulokset

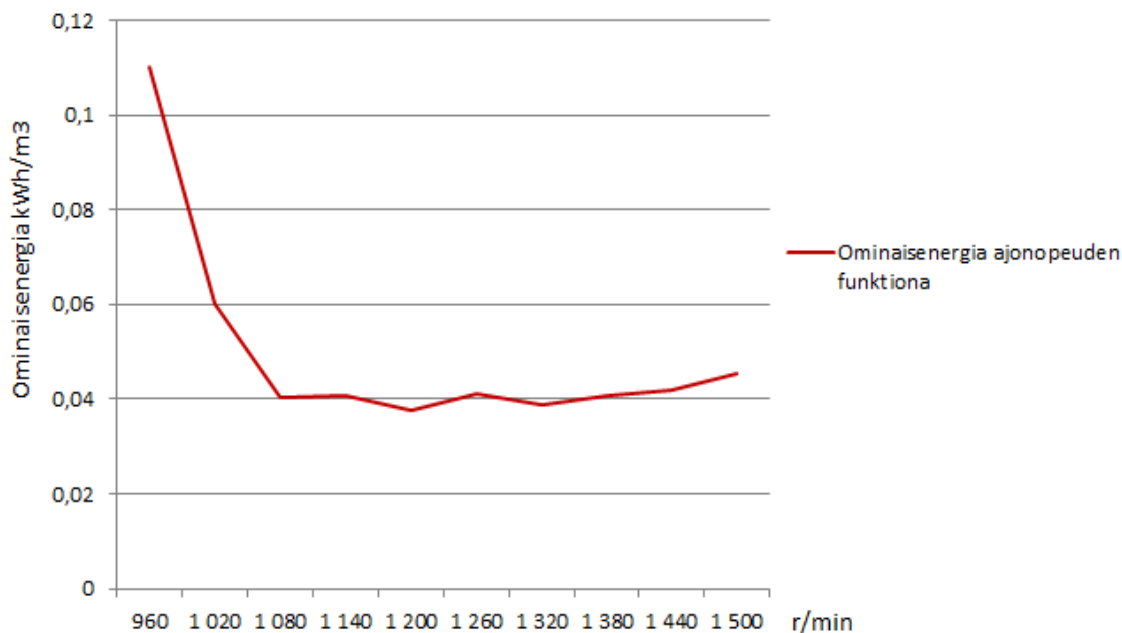
Mittausjaksoista laskettiin keskiarvot jäteveden virtausnopeudelle sekä siihen kuluneelle energialle (taulukko 4 ks. seur. s.). Tulosten perusteella laskettiin eri ajonopeuksien ominaisenergia kWh/m<sup>3</sup>. Alle 30 Hz:n ajonopeuksilla pumppu ei tuota mitään (ei ole virtaamaa), ja tästä syystä mittaustuloksia ei ole merkitty muistiin. Sähköenergiaa kuluu kui-

tenkin myös alle 30 Hz:n ajonopeuksilla, vaikka virtaamaa ei ole, joten energia on pelkästään häviötä. Säästöpotentiaali on laskettu alhaisesta (33 Hz) sekä suurimmasta (50 Hz) virtausta tuottavasta lukemasta.

Taulukko 4. Kalevantien pumppaamolta saadut mittaustulokset ja laskelmat hertsin välein

[rpm]	[%]	[Hz]	[l/s]	[kW]	[kWh/m <sup>3</sup> ]	Säästö 33 Hz:stä [%]	Säästö 50 Hz:stä [%]
900	60	30	6,592	2,697	0,11364786	-64,7	-151
930	62	31	5,821	2,927	0,13967627	-102	-210
960	64	32	8,234	3,268	0,11024748	-59,8	-144
990	66	33	14,432	3,585	0,06900176	0	-52,5
1 020	68	34	18,537	4,009	0,06007505	13	-32,8
1 050	70	35	31,238	4,878	0,04337666	37,1	4,1
1 080	72	36	37,52	5,464	0,0404525	41,4	10,5
1 110	74	37	41,897	5,965	0,03954805	42,7	12,5
1 140	76	38	47,021	6,862	0,04053744	41,3	10,4
1 170	78	39	53,274	7,471	0,0389548	43,5	13,9
1 200	80	40	60,252	8,154	0,03759211	45,5	16,9
1 230	82	41	62,782	8,953	0,03961238	42,6	12,6
1 260	84	42	62,163	9,155	0,04090947	40,7	9,5
1 290	86	43	67,447	10,2	0,04200829	39,1	7,1
1 320	88	44	79,72	11,15	0,03885126	43,7	14,1
1 350	90	45	81,129	12,39	0,04242215	38,5	6,2
1 380	92	46	87,832	12,82	0,04054457	41,2	10,3
1 410	94	47	90,908	13,87	0,04238106	38,6	6,3
1 440	96	48	98,157	14,74	0,04171322	39,5	7,8
1 470	98	49	98,362	15,67	0,04425264	35,9	2,1
1 500	100	50	102,207	16,64	0,04522413	34,5	0

Ominaisenergia näyttää, kuinka monta kWh tarvitaan siirtämään 1000 l ( $m^3$ ) vettä. Ominaisenergiakäyrässä (kuva 10) nähdään energiatehokkuus eri pyörimisnopeuksilla. Kuvasta näkyy mittauksista saatu optimaalinen pyörimisnopeus (1 200 kierrosta/min).



Kuva 10. Kalevantien ominaisenergia ajonopeuden funktiona

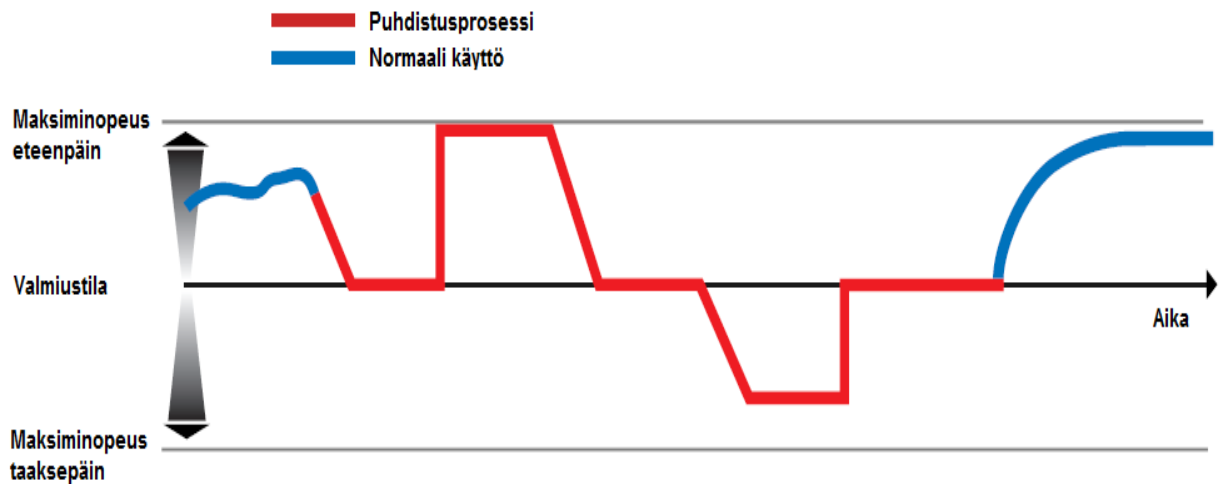
## 6.5 Uudet pumppauksen ohjauslaitteet

Taajuusmuuttajakäyttöisissä jätevesipumppaamoissa on myös haittapuolia. Imukaivon syntyy helpommin pintalauttaa, kun moottorin pyörimisnopeutta säädetään taajuusmuuttajalla. Kun pumpun pyörimisnopeus on pieni myös jäteveden virtaus on pieni. Mitä pienempi virtaus on sitä todennäköisemmin sitä todennäköisemmin kiinteät aineet eivät siirry poistoputkeen yhtä tehokkaasti kuin maksiminopeudella. Vaikka energiansäästökulut olisivat pienemmät, niin joillakin jätevesipumppaamoilla pidetään tärkeämpänä, että kiinteä aine liikkuu tehokkaasti poistoputkeen. Pumpun tukkeumat aiheuttavat huoltotoimenpiteitä ja joissain kohteissa huollot kumoavat taajuusmuuttajan säädöstä saadut säästöt. Tukkeutumien estämiseksi on hyvä ajaa pumppuja täydellä nopeudella, tietyn ajanjakson välein. Ajanjaksot tulisi ohjelmoida logiikkaan tai ottaa käyttöön uusia ohjauslaitteita.

Pumppu- ja taajuusmuuttajavalmistaja Flygt on tuonut markkinoille uuden PumpSmart PS -ohjauslaitteen. Laitteen toiminta on sama kuin tavallisella taajuusmuuttajalla, mutta PS-laitteella on enemmän ohjaus- ja säätötapoja kuin tavallisessa. Tärkeimmät PS-laitteen ominaisuudet ovat anturiton pumppusuojaus, vääntömomentin tasapainottelu, eri-

laiset ohjelmoitavat ajotavat, kavitaation ohjaus, paineen ohjaus, monipumppusynkronointi, energiansäästö- ja virtauslaskuri. Näistä ominaisuuksista virtauslaskuri olisi tässä työssä tärkein.\* Laitteen anturiton virtausmittaus perustuu moottorin pyörimisnopeuteen, vääntömomenttiin, tehoon ja ominaiskäyrien tarkkailuun. PumpSmart PS laskee virtauksen edellä mainittujen arvojen perusteella ja antaa tuloksen ohjausnäytölle tai muulle halutulle valvontalaitteelle. Virtauslaskurin tarkkuus on  $\pm 5\%$ , joten laskurin antama tulos on suuntaa-antava, mutta huomattavasti edullisempi kuin fyysinen virtausmittari ja sen asennus.

PumpSmart PS -tyypin taajuusmuuttajissa on integroitu ohjauslaite, jonka avulla pystytään ohjaamaan pumppuja erilaisilla ohjauslaitteisiin asennetuilla ohjelmilla, kuten puhdistusprosessi-ohjelmalla. Jätevesipumppaamoissa on tärkeää, ettei pumppuun synny tukkeumia ja pumppausprosessin kiinteät aineet siirry putkistossa eteenpäin. Seuraavassa kuvassa (kuva 11) nähdään yksi PS 200 laitteen ajo-ohjelmista. Flygtin PumpSmart puhdistusohjelma käynnistyy, kun pumppuun kohdistuu liian suuri kuorma.



Kuva 11. PumpSmart PS 200 -laitteen puhdistusprosessi [15, s. 7]

## 6.6 Päätelmät

Tämän opinnäytetyön saaduista mittaustuloksista energiataloudellisin pyörimisnopeus Espoon Kalevantien jätevedenpumppaamolla oli 40 Hz (1 200 kierrosta/min). Optimaalisesta pyörimisnopeudesta saatu ominaisenergia oli 0,03759 kWh/m<sup>3</sup>. Energiatehokkuussopimuksen säästötavoite (9 %) pystytään lähes tuplaamaan nykyisin käytössä olevaan on/off-säätöön verrattuna. Logiikan pintaohjatulla ajotavalla saadaan säästöä optimaalisella ajonopeudella jopa 45,5 %. Lopputuloksena Kalevantien jätevesipumppaamon energiasäästö oli 16,9 - 45,5 %:n luokkaa. Tämän hetkisen tiedon mukaan Espoon 32:n taajuusmuuttajakohteen energiansäästö vuodelta 2012 olisi voinut olla jopa 800 MWh/v, mikä olisi lähellä kaikkien HSY:n jätevesipumppaamoiden tavoitteesta ennen vuotta 2016 (1 161 MWh).\*

## 6.7 Tulevaisuuden toimenpiteet pumppaamokohteissa

Nykyisiin taajuusmuuttajakohteisiin (kuten Helsingin alueen jätevesipumppaamoihin) suoritetaan vastaavanlainen tutkimus ja säädetään taajuusmuuttajien pyörimisnopeus optimaaliseen nopeuteen. Tällöin saadaan karkean arvion mukaan 800 MWh energiasäästöä vuodessa, vaikka yksikkökohtainen tavoite on 50 MWh. Kalevantien mittaustuloksista saatu maksimi energiasäästö oli 45,5 %, muissa HSY:n pumppamoissa voi olla enemmän mitoitusta tai säätövirheitä, jolloin energiansäästö voi olla parempi. Teoriaosuuden (ks. s. 7) ilmoitettu yli 50 % säästö taajuusmuuttajan optimoinnilla ei ole kaukana. Pelkästään taajuusmuuttajan lisäämisellä pumppauskohteeseen saadaan n. 20 % energiansäästö on/off-säädöllä.

## 7 Yhteenveto

Merkittävä osa maailman sähköstä kuluu ylimitoitettuihin pumppausjärjestelmiin, joista suurin osa on 20 % ylimitoitettuja. Pelkästään lisäämällä taajuusmuuttaja saadaan energiatehokkaampi, luotettavampi ja tehokkaampi pumppaamo. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin jätevesipuhdistamon prosessia ja sen toimilaitteita sekä onko Kalevantien jätevesipumppaamo mahdollista saada energiatehokkaammaksi optimoimalla taajuusmuuttajia ja miten paljon.

Kalevantien jätevesipumppaamolla suoritettiin virtaus- ja energiatehomittauksia, joiden perusteella laskettiin Kalevantien ominaisenergia eri ajonopeuksilla sekä energiansäästöpotentiaali. Mittaukset tehtiin yhden Hz:n välein alhaisimmasta veden siirtonopeudesta (30 Hz) suurimpaan (50 Hz). Mittausten tuloksista ja säästölaskelmista nähdään, että 40 Hz:n ajonopeus on energiatehokkain Kalevantien 18,5 kW:n Flygtin pumpuille. Vähentämällä Kalevantien pumppujen ajonopeutta 20 %:lla, saadaan sähkönkulutusta pienennettyä 17 %. Tämän opinnäytetyön tavoite oli parantaa jätevesipumppaamoiden sähkönkulutusta 50 MWh:lla säätämällä taajuusmuuttajien ohjausparametreja. Kalevantieltä saadut mittaustulokset todistivat, että optimoimalla HSY:n taajuusmuuttajakäyttöisiä jätevesipumppaamoita saadaan vähintäänkin toteutettua energiatehokkuussuunnitelman mukaiset 50 MWh:n energiansäästöt. Suorittamalla samanlaiset optimointimittaukset muille HSY:n taajuusmuuttajakäyttöisille jätevesipumppaamoille, saavutettaisiin energiatehokkuussopimuksen mukaiset 800 MWh:n säästöt jätevedenpumppaamoille.

Nykyisillä ja tulevaisuudessa kehitettävillä ohjauslaitteilla pystytään säätämään ja ohjaamaan pumppuja niille tarkoitetulla tavalla. Jo nyt on olemassa eri valmistajien ohjauslaitteita, jotka soveltuvat jätevesipumppaamokäyttöön. Taajuusmuuttajan optimoinnilla säästetään huomattavasti sähköenergiaa. Kun on tarve investoida uuteen pumppauksen ohjauslaiteeseen on jo hyvä suunnitteluvaiheessa ottaa huomioon, että ohjauslaite soveltuu jätevesipumppaukseen, jotta pumppujenhuoltotarve olisi vähäistä ja kestävä.



## Lähteet

- 1 Tietoa HSY:stä. Verkkodokumentti. Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut. <<http://www.hsy.fi/tietoahsy/Sivut/default.aspx>> Luettu 4.11.2013.
- 2 Jätevedenpumppaamot. Verkkodokumentti. Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut. <<http://www.hsy.fi/vesi/jatevedenpuhdistus/pumppaamot/Sivut/default.aspx>> Luettu 4.11.2013.
- 3 HSY:n energiatehokkuussuunnitelma 2012-2016. Verkkodokumentti. Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut. <<http://dsjulkaisu.tjhosting.com/~hsy01/kokous/2012311-4-1.PDF>> Luettu 4.11.2013.
- 4 Energiatehokkaat pumput. Verkkodokumentti. Motiva. <[http://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat\\_pumput.pdf](http://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat_pumput.pdf)> Luettu 6.11.2013.
- 5 Variable speed pumping. Verkkodokumentti. U.S Department of Energy. <[http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech\\_assistance/pdfs/variable\\_speed\\_pumping.pdf](http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/variable_speed_pumping.pdf)> Luettu 6.11.2013.
- 6 Energiatehokkaat pumput. Verkkodokumentti. Motiva. < [http://www.motiva.fi/files/7810/Energiatehokkaat\\_pumppausjarjestelma\\_KOULUTUSAINEISTO.pdf](http://www.motiva.fi/files/7810/Energiatehokkaat_pumppausjarjestelma_KOULUTUSAINEISTO.pdf) > Luettu 25.1.2014.
- 7 HSY:n energiatase, energiansäästötoimet ja kasvihuonekaasupäästöt 2012. Verkkodokumentti. Helsingin Seudun Ympäristöpalvelut. <[http://www.hsy.fi/tietoahsy/Documents/Julkaistut/10\\_2013\\_energiatase\\_kasvihuonepaastot\\_2012/files/assets/basic-html/page1.html](http://www.hsy.fi/tietoahsy/Documents/Julkaistut/10_2013_energiatase_kasvihuonepaastot_2012/files/assets/basic-html/page1.html)> Luettu 16.12.2013.
- 8 Kördel, Lennart & Johnsson, Jörgen. 2001. Moottorinohjaus. Iisalmi: IS-PRINT Oy.
- 9 Erkinheimo ym. 1997. Taajuusmuuttaja. Tampere: Tammer-Paino Oy.
- 10 Niiranen Jouko. 2000. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki: Vallopaino.
- 11 Jacobsen Christian Brix. Centrifugal pump. Verkkodokumentti. Grundfos <[http://www.grundfos.com/content/dam/Global%20Site/Industries%20%26%20solutions/Industry/pdf/The\\_Centrifugal\\_Pump.pdf](http://www.grundfos.com/content/dam/Global%20Site/Industries%20%26%20solutions/Industry/pdf/The_Centrifugal_Pump.pdf)> Luettu 7.1.2014.
- 12 Wirzenius Allan. 1977. Keskipakopumput. Tampere: Tampereen kirjapaino Oy.

- 13 Pump control. Verkkodokumentti. Flygt.<<http://www.flygt.com/en-us/Pumping/EngineeringExpertise/Downloads/System%20Engineering/Pump%20control.pdf>> Luettu 8.1.2014.
- 14 Huhtinen ym. 2008. Voimalaitostekniikka. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.
- 15 Flygt PumpSmart PS 200. Verkkodokumentti. <<http://www.xyleminc.ca/Files/3291096.pdf>> Luettu 11.1.2014.
- 16 PumpSmart control solutions. Verkkodokumentti. <<http://www.xyleminc.ca/Files/3291099.pdf>> Luettu 11.1.2014.
- 17 HSY:n Vanhankaupungin toimipisteen sähköasentajan kanssa käydyt keskustelut. 9-10.10.2013.

## Chauvin Pel 103 -energiamittarin toiminnot

### For economical, sustainable buildings, improve your energy efficiency

In the context of a worldwide initiative to protect the environment, Europe has set itself the target of reducing energy consumption by 20 %. Today, industry and the building sector account for more than 50 % of energy consumption. It is therefore crucial to optimize energy consumption if we are to fulfill the regulatory requirements.

The PEL 102 and PEL 103 loggers are power and energy measurement loggers for all electrical installations. The measurements are performed with 3 current sensors and voltage inputs.

They can be used to view all the electrical parameters and to take advantage of

the measurement, energy metering and communication functions.

They offer users all the necessary measurements for successful energy efficiency projects and monitoring of your electricity distribution system.

The PEL100 family of energy meters makes it simple to add metering and measurement points in electrical cabinets where most of the space is already occupied. Because they are magnetic, they can be set up very easily in any cabinet and do not cause any obstruction once the cabinet door is closed.

#### Functions:

- RMS frequency, voltage and current
- VA, W and var power values
- VAh, Wh (source, load) and varh (4 quadrants) energy values, total energy
- $\cos \phi$ ,  $\tan \phi$  and power factor (PF)
- Crest factor
- THD calculated for currents and voltages
- Harmonics up to the 50th order for currents and voltages
- DC, 50 Hz, 60 Hz and 400 Hz measurements
- RMS AC or AC+DC
- Display on LCD screen
- Recording of measurements and calculation results on SD card
- Automatic recognition of the sensor type connected
- Large number of network types: split-phase, three-phase with or without neutral, etc.
- Bluetooth, Ethernet and USB Communication
- Software for data transfer, real-time communication with a PC and report generation

