

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

## **SUURET PUMPPAAMOT SUOMESSA**

### **Big pumping stations in Finland**

Työn tarkastaja: Professori, Risto Soukka

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, Juha Viholainen

Lappeenrannassa 27.5.2012

Tomas Mälkiä

# SISÄLLYS

SYMBOLILUETTELO .....	3
1 JOHDANTO .....	4
1.1 Pumpun käyttötarkoitus .....	5
1.2 Pumppujen ryhmittely.....	5
1.3 Keskipakopumppu .....	7
1.3.1 Keskipakopumpun pääkomponentit ja toimintaperiaate.....	7
1.3.2 Keskipakopumpun ominaisarvoja ja kavitointi .....	9
2 PUMPPAUSTEHTÄVÄT .....	12
2.1 Avoin ja suljettu piiri .....	13
2.2 On/Off-säätöinen pumppaus avoimessa piirissä.....	13
2.3 Jatkuva pumppaus avoimessa piirissä.....	14
2.4 Painecontroloitu pumppaus avoimessa piirissä .....	14
2.5 Virtaukseen tai prosessiparametriin perustuva controloitu pumppaus suljetussa piirissä .....	15
2.6 Pumppaustehtävien energiatehokkuuden arviointi .....	15
3 MERKITTÄVIMMÄT PUMPPAUSTEHTÄVÄT.....	15
3.1 Yhdyskunnan pumppaustehtäviä .....	16
3.2 Teollisuuden pumppaustehtäviä .....	17
4 KARTOITETUT PUMPPAAMOT .....	18
4.1 UPM-Kymmene Oyj.....	19
4.1.1 Kaukaan makro- ja mikroveden pumppaus .....	20
4.1.2 Makroveden pumppauksen toimintakuvaus .....	21
4.1.3 Makro- ja mikrovesipumppujen ominaisuuksia .....	22
4.1.4 Makroveden pumppauksen pysyvyyskäyrä .....	22
4.2 Stora Enso .....	24

4.2.1 Kaukopään biologisen jäteveden pumppaus.....	24
4.2.2 Jäteveden pumppauksen toimintakuvaus.....	25
4.2.3 Pumppujen ominaisuuksia .....	26
4.3 Lappeenrannan energia .....	27
4.3.1 Huhtiniemen tekopohjaveden pumppaamo .....	28
4.3.2 Tekopohjaveden pumppauksen toimintakuvaus.....	29
4.3.3 Pumppujen ominaisuuksia .....	31
4.4 HSY .....	32
4.4.1 Myllypuron, Kontulan, Mäkelänkadun ja Itä-Pasilan paineenkorotusasemat .....	32
4.4.2 Kontulan ja Myllypuron paineenkorotusasemat .....	33
4.4.3 Mäkelänkadun ja Itä-Pasilan paineenkorotusasemat .....	35
5 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI .....	36
6 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	39
6.1 Pumppaamoiden energiatehokkuusparannusskenaarioita.....	41
6.1.1 UPM.....	41
6.1.2 Stora Enso .....	42
6.1.3 Lappeenrannan Energia .....	43
6.1.4 HSY .....	44
7 YHTEENVETO.....	45
LÄHTEET .....	46

## Liitteet

Liite 1. Kaukaan makrovesipumppujen käyntitiedot.

Liite 2. Kaukopään biologisen jäteveden virtausmittaustiedot.

Liite 3. Huhtiniemen tekopohjaveden virtausmittaustiedot.

Liite 4. Kartoitettujen pumppaustehtävien ja pumppujen tiedot.

## SYMBOLILUETTELO

A	virta	[A]
H	nostokorkeus	[Pa], [bar]
n	pyörimisnopeus	[1/s], [r/s]
Q	tilavuusvirta	[l/s], [m <sup>3</sup> /s]
V	jännite	[V]
W	teho	[J/s]

### Lyhenteet

ov	ohjausventtiili
sv	sulkuventtiili

### Termit

imukorkeus pumpun ja pumpattavan aineen välinen korkeusero

nimellisarvo valmistajan ilmoittama pumpun mitoitusasteessa toteutuva arvo

pumpun tuotto

pumpun tuottama tilavuusvirta

suorakäyttö syötettävän virran ja pumpun välissä ei ole säätävää laitetta (esim. taajuusmuuttajaa)

väliaine pumpattava aine kuten vesi

## 1 JOHDANTO

Euroopan teollisuuden sähköenergiankulutuksesta noin 69 prosenttia on peräisin sähkömoottorien käytöstä. Kaikesta sähkömoottorien kuluttamasta energiasta noin 22 prosenttia kuluu pumppaussovelluksissa. (Aranto 2010, 4.) Tunnetusti myös Suomen teollisuus – paperi-, metalli- ja kemianteollisuus – on hyvin energiaintensiivistä. Kyseisillä teollisuuden aloilla tarvitaan paljon pumppuja aineiden siirroissa, prosessivesien hankinnassa sekä muun muassa jäädytyksen toteuttamisessa. Yhdyskunnassa merkittävimmät pumppaukset liittyvät talous- ja jätevedenpumppauksiin. Pumpattavista väliaineista yleisin on vesi tai muu vettä sisältävä väliaine.

Suurissa prosesseissa, joissa käytetään suuria pumppuja, on myös suuri sähköenergiankulutus. Suuri sähkönkulutus tarkoittaa myös suuria muuttuvia kustannuksia yritykselle tai palvelun tuottajalle. Suuret laitteet vaativat siis paljon energiaa, joten on järkevää lähestyä pumppujen energiatehokkuuden tarkastelussa juuri suuremman kokoluokan pumppaamoja. Monet toimijat ovatkin kiinnostuneita erilaisista energia-auditoinneista, joiden tavoitteena on löytää tapoja toteuttaa muun muassa pumppaus mahdollisimman energiatehokkaasti.

Tässä kandidaatintyössä tutustutaan pumppujen erilaisiin pumppaustehtäviin ja kartoitetaan muutamia esimerkkejä pumppaustehtävistä teollisuuden ja yhdyskunnan parista. Tämä työ on osa Lappeenrannan teknillisen yliopiston tutkimusprojektia. Projektin tarkoituksena on etsiä teollisuuden ja yhdyskunnan toimialoilta energiansäästömahdollisuuksia pumppujen suunnittelun, käytön ja ohjauksen osalta sekä innostaa kyseisiä toimijoita lähtemään mukaan energiatehokkuustarkasteluun. Lopuksi tässä kandidaatintyössä tarkastellaan, voisiko kartoitetuista pumppaamoista löytyä mahdollista energiansäästöpotentiaalia ja pohditaan millaisia vaikutuksia energiansäästöillä voidaan saavuttaa.

Kandidaatintyössä keskitytään kartoittamaan vettä tai veden kaltaista nestettä pumppaavia keskipakopumppuja, jotka ovat rinnan kytkettyjä. Vaikka yksittäiset suuret pumput voivat kuluttaa enemmän energiaa kuin rinnan kytketyt pienemmät pumput, on rinnan kytkettyjen pumppujen energiatehokas säätö ja ohjaaminen usein haastavampaa. Tämän takia rinnan kytketyt pumput ovatkin hyvin kiinnostava kohde energia-auditointeja ajatellen.

## 1.1 Pumpun käyttötarkoitus

Pumpulla tarkoitetaan yleensä laitetta, jonka tarkoituksena on siirtää väliainetta paikasta toiseen. Pumpun oleellinen tehtävä on nostaa väliaineen painetta. Yleensä väliainetta siirretään pienemmästä suurempaan paineeseen (Wirzenius 1978, 47). Pumpun avulla mekaaninen energia saadaan siis muutettua hydrauliseksi energiaksi (Karttunen 2003, 181). Pumput voivat siirtää ominaisuuksiltaan hyvin erilaisia väliaineita, kuten vesi, liete, sellu, öljy ja erilaiset kemikaalit. Väliaineet saattavat sisältää myös erikokoisia partikkeleita epäpuhtauksia sekä kaasuja. Eri käyttötarkoituksiin, vaatimuksiin ja väliaineiden siirtoon on kehitetty lukuisia erilaisia pumppuja. (Larjola & Punnonen 2008.)

## 1.2 Pumppujen ryhmittely

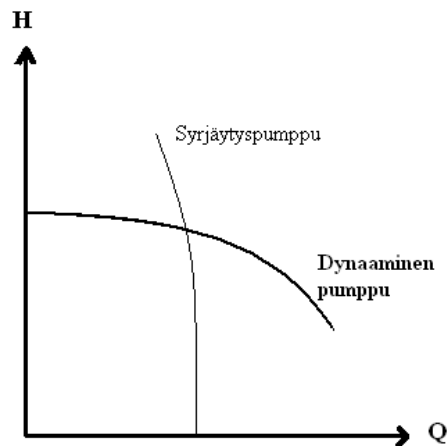
Nesteiden siirtoon käytetyt pumput voidaan jakaa esimerkiksi toimintaperiaatteensa mukaan kolmeen ryhmään: kineettiset eli dynaamiset pumput, syrjäytyspumput ja muut pumput, johon kuuluvat ne pumput, joita ei voida toimintaperiaatteensa mukaan yksiselitteisesti kategorioida kumpaakaan pääryhmään.

- Dynaamiset Pumput
  - Aksiaalipumput
  - Keskipakopumput
  - Sivukanavapumput
  - Suihkupumput
  - Sysäyspumput
- Syrjäytyspumput
  - Hammaspyöräpumput
  - Kalvopumput
  - Letkupumput
  - Mäntäpumput
  - Ruuvipumput
  - Siipipumput

- Muut pumput
  - Kaasupainepumput
  - Nostepumput
  - Sähkömagneettiset pumput (SFS 4874: 1982, 1.)

Syrjäytyspumppujen perus toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Pumpun syrjäytyselin syrjäyttää pumppupesästä syrjäytystilavuutta vastaavan nestemäärän paineenalaiseen poistoputkeen. Syrjäytyspumput toimivat joko jaksoittain, jolloin imu ja syrjäytysvaihe vuorottelevat, tai tasaisesti, jolloin pumppu imee ja syrjäyttää nestettä samanaikaisesti (Ryti 1976, 367). Syrjäytyspumppuissa painetta ei rajoita mikään samalla tavalla kuten dynaamisissa pumppuissa kehänopeus, joten pumppu saattaa rikkoutua, jos virtaus estetään (Ryti 1976, 367). Syrjäytyspumppuille on ominaista, että ne ovat usein itseimeviä eli pumppaus voidaan aloittaa vaikka pumppupesässä ei ole nestettä. ( SFS 4874: 1982, 2.)

Dynaamisissa pumppuissa pumpun mekaaninen energia tai liike-energia muutetaan liike- ja paine-energiaksi. Dynaamisille pumppuille on ominaista, että tilavuusvirran kasvaessa pumpun nostokorkeus alenee merkittävästi. Syrjäytyspumppuilla puolestaan tilavuusvirta pysyy lähes muuttumattomana nostokorkeudesta riippumatta. Kuvasta 1 huomaamme näiden pumpputyypien eroavaisuudet QH-kuvaajassa. Dynaamisia pumppuja käytetäänkin etenkin tilanteissa, joissa virtausmäärät ovat suuria ja vaadittu nostokorkeus suhteellisen pieni. Dynaamisten pumppujen rinnankytkennällä saadaan tilavuusvirtaa kasvatettua entisestään. Teoreettisesti tämä tapahtuu lisäämällä kahden eri pumpun tilavuusvirrat yhteen kullakin nostokorkeuden arvolla. Esimerkiksi kahden samanlaisen pumpun rinnankytkennällä tilavuusvirta kaksinkertaistuisi. Todellisuudessa dynaamiset virtausvastukset kuitenkin pienentävät tilavuusvirtaa sen verran, ettei tilavuusvirta aivan kaksinkertaistu. ( SFS 4874: 1982, 2; Karttunen 2003,189-190.)



Kuva 1. Syrjäytyspumppun ja dynaamisen pumpun eroavaisuudet QH-kuvaajassa. (SFS 4874: 1982, 2.)

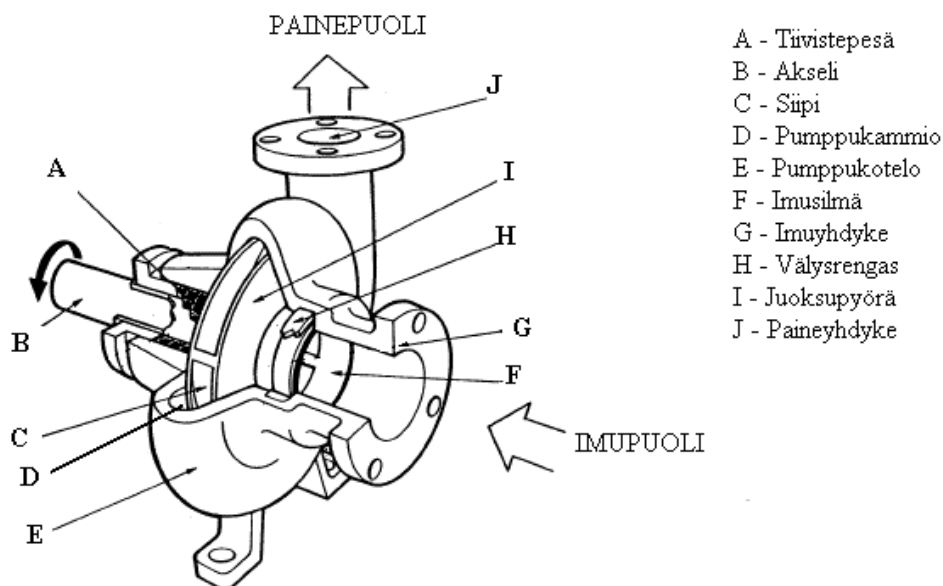
### 1.3 Keskipakopumppu

Keskipakopumput soveltuvat monenlaisiin käyttökohteisiin. Keskipakopumpuilla pumpattavat nesteet omaavat usein alhaisen viskositeetin. Nesteitä siirrettäessä keskipakopumput ovatkin selkeästi yleisin pumpputyyppejä. Etenkin suuremmissa laitoksissa keskipakopumput ovat ainoa järkevä vaihtoehto, sillä muiden pumpputyyppeiden hyötysuhteet ovat olennaisesti heikompia. (Karttunen 2004, 324.)

#### 1.3.1 Keskipakopumpun pääkomponentit ja toimintaperiaate

Keskipakopumpuissa mekaaninen energia muutetaan ensin liike- ja paine-energiaksi juoksupyörän avulla ja edelleen liike-energia paine-energiaksi johtolaitteen avulla (SFS 4874: 1982, 6). Keskipakopumpun tärkeimpiä osia on esitetty kuvassa 2.





**Kuva 2. Keskipakopumpun pääosia. (Titanium Tantalum Products Ltd 2011.)**

Keskipakopumput ovat moottori tai turbiinikäyttöisiä (SFS 4874: 1982, 7). Kuvassa 3 on esitetty sähkökäyttöinen keskipakopumppu. Moottorin voima siirretään akselin välityksellä pyörittämään pumpun juoksupyörää. Juoksupyöriä voi olla peräkkäin useampiakin samalla akselilla (Karttunen 2003, 181). Mikäli käytetään vain yhtä pumppua ja halutaan tuottaa suuri paineenousu, voi olla edullisempää ja käytännöllisempää tuottaa paineenousu yhdellä pumpulla, jossa on usea juoksupyörä peräkkäin, kuin yhdellä isolla juoksupyörällä tai pumppujen sarjaan kytkennällä. Pumpun valinta on aina tapauskohtainen ja siihen voivat vaikuttaa monet tekijät: pumpattava neste, pumppaustehtävä, kustannukset, pumpun sijoituspaikka jne. (Engineers Edge 2011.)

Juoksupyörän tehtävä on muuttaa akselille tuotu mekaaninen energia virtauksen nopeus- ja paine-energiaksi. Tämän avulla neste tunkeutuu painejohtoon voittaen virtausvastukset, korkeuseron ja vastassa olevan paineen. Neste poistuu juoksupyörän ulkokehältä spiraalipesään, jolloin juoksupyörään virtaa imujohdosta uutta nestettä alipaineen vaikutuksesta. Näin syntyy jatkuva virtaus pumpun läpi. Keskipakopumpun pesän on kuitenkin oltava ensin täynnä vettä, jotta pumppu alkaa imeä. Keskipakopumppu ei siis ole itseimevä kuten syrjäytyspumput. Spiraalipesän tehtävä on muuttaa jäljellä oleva kineettinen energia paine-energiaksi. Pumppu-

kammio on asteittain laajeneva, spiraalin muotoinen kammio, jotta virtaushäviöt saataisiin minimoitua muutettaessa kineettinen energia paine-energiaksi. (Karttunen 2003, 181-182.)

Pumpun luotettavuuden ja toimivuuden kannalta tärkeisiin osiin kuuluvat myös tiivisteet. Juoksupyörän ja pesän välissä täytyy olla rako, jotta pumppu voi pyöriä ilman hankausvastusta. Jotta neste ei pääsisi pumpun painepuolelta valumaan takaisin imupuolelle, on raossa oltava tiiviste eli vällysrenkas. Toinen merkittävä tiiviste sijaitsee akselin ja pumpun yhtymäkohdassa. Pyörivän akselin ja kiinteän pumppukotelon väliin asennetaan tiivisteet niin sanottuun tiiviste-pesään, jotta neste ei pääse valumaan pumpusta ulos. Molemmat edellä mainitut tiivisteet ovat paikoissa, joissa ne kuluvat, joten tarvittaessa ne tulee vaihtaa. (Wirzenius 1978, 52-53.)

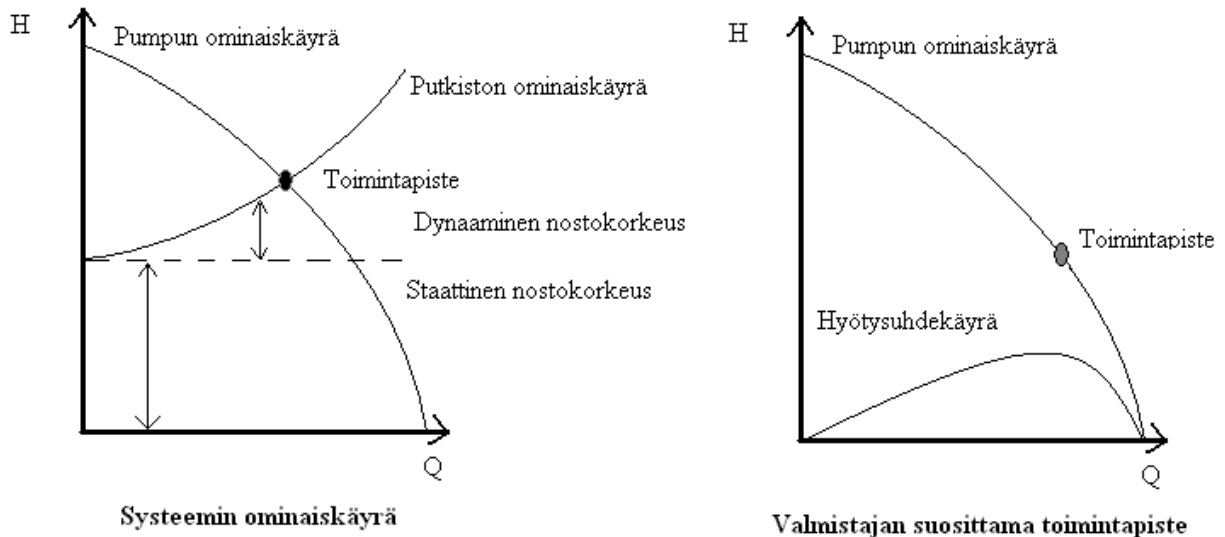


**Kuva 3. Sähkökäyttöinen keskipakopumppu.**

### **1.3.2 Keskipakopumpun ominaisarvoja ja kavitointi**

Pumpuilla on valmistajan toimittama ominaiskäyrä (kuva 4), josta ilmenee pumpun nostokorkeus ja hyötysuhde tilavuusvirran funktiona. Ominaiskäyrä pätee tietyllä pyörimisnopeudella ja juoksupyörän halkaisijalla. Kuvaajan avulla voidaan pyrkiä toimimaan mahdollisimman lähellä pumpun toimintapistettä. Koko pumpun virtapiirin toimintapiste löydetään kun pumpun ominaiskäyrän kanssa samaan kuvaajaan piirretään putkiston ominaiskäyrä (kuva 4). Putkiston

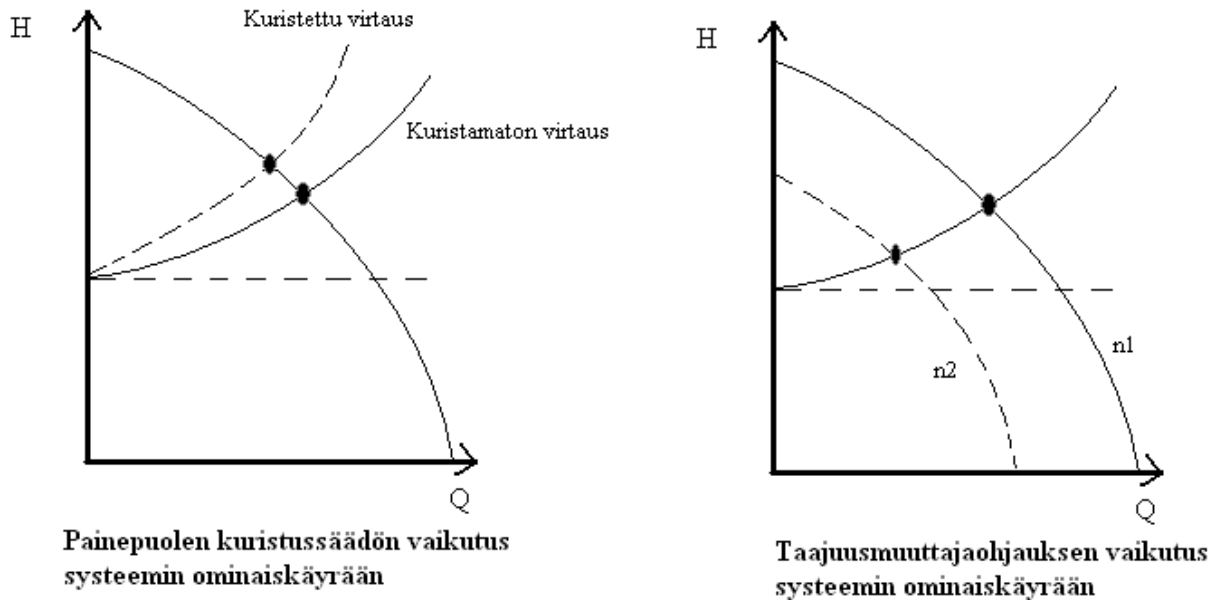
ominaiskäyrään sisältyy mm. virtauskanavien ja venttiilien häviöt. (Larjola & Punnonen 2008; Karttunen 2003, 186-189.)



**Kuva 4. Pumpun ominaiskäyrät. (Larjola & Punnonen 2008; Karttunen 2003, 186-189.)**

Pumpun toimintaa joudutaan säätämään pumppaustehtävän tarpeiden mukaisesti. Pumpun synnyttämän paineen ja tilavuusvirran säätöön on erilaisia ratkaisuja. Säätötapa riippuu usein pumppaustehtävästä. Säätötapoja ovat muun muassa kuristusventtiili painepuolella, ohijuoksuvirtaus painepuolelta imupuolelle sekä pumpun käyntitilan on/off-säätö. Energiatohokkuuden näkökulmasta usein varteenotettavin vaihtoehto on taajuusmuuttajasäätö, jolla säädetään juoksupyörän pyörimisnopeutta. Investointikustannuksiltaan kuristussäätö on taajuusmuuttajasäätöä edullisempi ratkaisu, mutta sen elinkaarikustannukset ovat suuremmat. Tämä johtuu siitä, että kuristettu virtaus kuluttaa enemmän energiaa kuin kuristamaton virtaus, kun taas taajuusmuuttajaohjattu pumppaus vähentää pumpun energiankulutusta. Pysyviä muutoksia pumpun tuottoarvoihin voidaan tehdä muuttamalla juoksupyörän halkaisijaa tai johdesiipiä. Painepuolen kuristus siirtää putkiston ominaiskäyrää vasemmalle ja juoksupyörän muutokset sekä taajuusmuuttajan käyttö muuttavat pumpun ominaiskäyrän sijaintia. Venttiili- ja pyörimisnopeussäädön aiheuttamat muutokset systeemin ominaiskäyrässä on esitetty kuvassa 5. Kuvassa taajuusmuuttajaohjaus on esitetty kahdella eri juoksupyörän pyörimisnopeudella  $n_1$  ja  $n_2$ . Pyörimisnopeudella  $n_1$  taajuusmuuttajaohjausta ei käytetä, eli pumppu pyörii täysillä, ja nopeudessa

$n_2$  taajuusmuuttajaohjaus on käytössä. Kuristusventtiili aiheuttaa virtauksessa paineen alenemisen ja näin ollen pumpulta vaaditaan enemmän nostokorkeutta (kuva 5). Suuremman nostokorkeuden synnyttämiseksi pumppu tarvitsee enemmän energiaa. (Larjola & Punnonen 2008; Hovstadius et al. 2005, 3-5; Karassik & McGuire 1998, 595-600; Wirzenius 1978, 81-82.)



**Kuva 5. Painepuolen kuristuksen ja juoksupyörän pyörimisnopeussäädön vaikutukset systeemin ominaiskäyrään. (Volk 2005, 381.)**

Pumpun asennuksessa on huomioitava nostokorkeuden lisäksi myös imukorkeus. Mikäli imukorkeus on liian suuri, pumppu alkaa kavitoida. Pumpun imukorkeus tarkoittaa pumpun ja pumpattavan nesteen välistä korkeuseroa. Keskipakopumpulla suurin mahdollinen imukorkeus on noin 6 metriä, jos väliaineena on kylmä vesi. Lämpimämmällä vedellä imukorkeus on pienempi, sillä imuaukossa väliaineen lämpötila ei saa nousta korkeammalle kuin veden höyrystymislämpötila. Kavitoinnissa vesi pääsee höyrystymään, ja kun paine nousee riittävästi vesi romahtaa takaisin nesteeksi aiheuttaen painesysäyksen. Painesysäykset kuluttavat ja saattavat jopa rikkoa pumppuverkostoa. Kavitointivaaran takia virtauskuristusta ei pidä toteuttaa pumpun imupuolella. Kavitointia voi esiintyä myös esimerkiksi imupuolen putkirikon takia. (Larjola & Punnonen 2008; Volk 2005, 89-92.)

## 2 PUMPPAUSTEHTÄVÄT

Vesi on tärkeä luonnonvara niin ihmisen perustoiminnassa kuin teollisuusprosesseissakin. Tämän takia vedellä on useita käyttökohteita ja sitä myöten myös monenlaisia pumppaussovelluksia. Pumppujen käyttösovelluksia ovat esimerkiksi:

- talousveden hankinta ja siirrot
- jäteveden siirrot
- raakaveden hankinta ja siirrot (teollisuudessa)
- prosessivesien siirrot
- jäähdytysveden kierto/siirrot
- kemikaalien siirrot
- massojen siirrot (sellu)
- sade ja hulevesien siirrot
- palontorjunta.

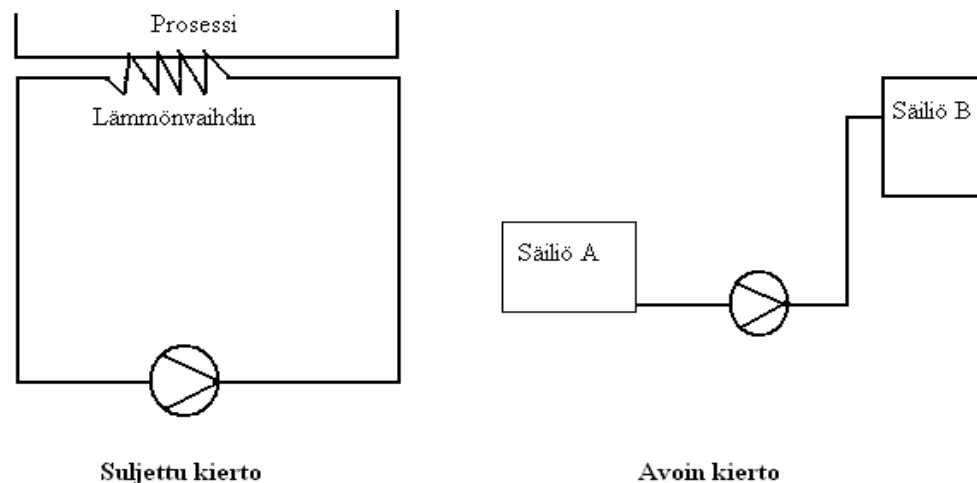
Suuret prosessit teollisuuden ja yhdyskunnan piirissä sisältävät useita eri pumppaustehtäviä, ja näin ollen jokainen pumppu ja pumppaustehtävä on osa laajempaa kokonaisuutta. Esimerkiksi edellä mainittu talousveden hankinta- ja siirtoprosessi sisältää lukuisia pumppaustehtäviä. Vesi pumpataan esimerkiksi järvestä raakavesialtaaseen, josta vesi pumpataan edelleen vedenpuhdistuslaitokselle. Vedenpuhdistuslaitos voi jo itsessään sisältää useita eri pumppaustehtäviä niin veden kuin kemikaalienkin osalta. Puhdistettu vesi pumpataan lopulta runkolinjaan, josta se päättyy mahdollisten paineenkorotusasemien ja ylävesisäiliöiden kautta kuluttajille. (Karttunen 2004, 248-249.)

Suurten pumppaustehtävien lisäksi prosessit sisältävät lukuisia pienempiä pumppaustehtäviä: hulevesipumppaukset yhdyskunnassa, teollisuuslaitoksissa ja kaatopaikoilla sekä jäähdytyspumppaukset, kemikaalien pumppaukset ja prosessivesien pumppaukset eri käyttökohteisiin. Eri toimialoilla pumppaukset voivat olla hyvinkin eri kokoluokkaa. Energiateollisuudessa lauhdutinveden siirtoon tarvitaan suuria pumppuja, kun taas esimerkiksi paperiteollisuudessa jäähdytyskiertoon käytetyt pumput ovat pienempiä.

## 2.1 Avoin ja suljettu piiri

Erilaisten pumppaustehtävien tunnistaminen on tärkeää tutkittaessa pumppausprosesseja. Pumppaustehtävät voidaan luokitella ryhmiin niiden ominaispiirteiden avulla. Ryhmittely ei kuitenkaan ole yksiselitteinen, sillä eri ryhmiin luokitelluilla pumppaustehtävillä voi olla myös samoja ominaisuuksia. Tässä pumppaustehtävät luokitellaan sen mukaan onko kyseessä avoin vai suljettu nestekierto ja huomioidaan virtauksen säätöperuste. (Ahonen et al. 2011.)

Suljetussa kierrossa pumpulta lähtevä neste palaa esimerkiksi lämmönsiirtimen jälkeen takaisin pumpun imupuolelle. Avoimessa kierrossa neste pumpataan paikasta A paikkaan B eikä pumppattava neste siis palaa takaisin pumpulle. Suurimmat ja yleisimmin esiintyvät pumppaustehtävät ovat avoimen piirin pumppauksia. Kuvassa 6 on esitetty avoin ja suljettu nestekierto. (Ahonen et al. 2011, 4.)



Kuva 6. Väliaineen suljettu ja avoin kierto pumppaustehtävissä. (Ahonen et al. 2011, 4.)

## 2.2 On/Off-säätöinen pumppaus avoimessa piirissä

Yksinkertaisimpana pumppaustehtävänä voidaan pitää on/off-säädöllä toteutettuja pumppaustehtäviä. Tällaisessa pumppaustehtävässä on usein avoin nestekierto. Tarkoituksena on esimerkiksi täyttää tai tyhjentää säiliö määräajoin. Säiliön pinta pidetään tiettyjen minimi ja maksimi rajojen välillä. Tällaisissa tilanteissa ei välttämättä energiankulutuksen kannalta ole järkevää

käyttää jatkuvaa pumppausta. Usein säiliöiden välillä on myös korkeusero, ja pumppaus tapahtuu alemmasta säiliöstä ylempään. Mitä suurempi on säiliöiden välinen korkeusero, sitä suurempi on staattinen nostokorkeus ja sen vaikutus pumpun toimintapisteeseen (kuva 4). (Ahonen et al. 2011, 5.)

### **2.3 Jatkuva pumppaus avoimessa piirissä**

Jatkuvaa pumppausta käytetään muun muassa vedenjakelujärjestelmien paineenkorotusasemilla, nestesiirroissa putkilinjoissa sekä, kuten edellä, nestesäiliön pinnan kontrolloinnissa. Jatkuvatoiminen pumppaus vaatii täsmällisempää ohjausta kuin on/off-säätöinen pumppaus. Jatkuvaa pumppausta käytetään nestesäiliön pinnan kontrolloinnissa, mikäli nestettä käytetään jatkuvasti prosessin käyttöön ja säiliön pinta halutaan pitää koko ajan tietyllä tasolla. Vaikutus ominaiskäyrään vaihtelee riippuen onko määräävänä tekijänä virtausmäärä, paine vai nestepinnan taso. Esimerkiksi tapauksessa, jossa paineenkorotusaseman tehtävänä on nostaa vesi ylävesisäiliöön, vaaditaan pumppuasemalta riittävästi staattista nostokorkeutta. Vaikutus ominaiskäyrään on tällöin sama kuin edellä luvussa 2.2. (Ahonen et al. 2011, 5.)

### **2.4 Painecontrolloitu pumppaus avoimessa piirissä**

Painecontrolloitua jatkuvaa pumppausta käytetään esimerkiksi vedenjakelussa kotitalouksille, toimistoille ja tehtaille. Vesi pumpataan säiliöstä kuluttajalle tietyllä paineella kulutuksesta riippumatta. Vesilaitos vastaa kuluttajalle siitä, että pumppujen ja ylävesisäiliöiden synnyttämä paine on riittävä nostamaan vesi jokaiselle kuluttajalle riittävällä käyttöpaineella korkeuseroista ja kulutuksesta huolimatta (Karttunen 2003, 45). Tällaiset pumppaustehtävät ovat tyypillisiä juuri keskipakopumpuille. Tätä pumppaustapausta voitaisiin pitää myös edellisen luvun 2.3 yhtenä erikoistapauksena. Tässäkin pumppaustehtävässä systeemin ominaiskäyrän hallitseva arvo on staattinen nostokorkeus (kuva 4). (Ahonen et al. 2011, 6.)

## **2.5 Virtaukseen tai prosessiparametriin perustuva kontrolloitu pumppaus suljetussa piirissä**

Tässä pumppaustehtävässä määräävä tekijä on piirin virtausmäärä, lämmönvaihtimen lämpötila tai joku muu prosessin parametri. Pumppaus voi olla jatkuvaa tai on/off-periaatteella toimivaa toistuvaa pumppausta. Koska määräävä tekijä liittyy suljetun piirin pumppaustehtävissä virtausmäärään, toimintapisteeseen vaikuttaa dynaaminen nostokorkeus (kuva 4). Tästä syystä juoksupyörän nopeussäätö on varteen otettava vaihtoehto tällaisissa pumppaustehtävissä. Dynaaminen nostokorkeus sisältää häviöt johtuen siirtolinjasta, venttiileistä jne. (Ahonen et al. 2011, 6.)

## **2.6 Pumppaustehtävien energiatehokkuuden arviointi**

Kun tiedetään pumppaustehtävä, on helpompaa tutkia pumpun ja prosessin energiatehokkuutta. Pumppujen toiminta tulisi optimoida prosessin tarpeisiin siten, että pumppu ei rajoita prosessia ja pumpun energiankulutus olisi mahdollisimman pieni. Tämän takia pumppujen optimoiminen kuhunkin prosessiin on suunniteltava yksilöllisesti. Yksikään prosessi ei ole täysin samanlainen, vaikka pumppaustehtävä olisikin sama. Pumppausyksikön suunnittelussa tulee huomioida monia seikkoja: pumpun ja virtauskanavien täytyy olla mitoitettu oikein, pumpun sijoitus vaikuttaa pumpun suorituskykyyn ja pumppua tulee ohjata prosessin ja energiankulutuksen kannalta järkevästi. Kaikki edellä mainitut seikat huomioiden on todennäköistä, että teollisuuden ja yhdyskunnan pumppaustehtävistä on löydettävissä energiansäästöpotentiaalia. (Ahonen et al. 2011.)

## **3 MERKITTÄVIMMÄT PUMPPAUSTEHTÄVÄT**

Seuraavissa luvuissa tarkastellaan merkittävimpiä pumppaustehtäviä teollisuuden ja yhdyskunnan parissa. Energia-auditointeja ajatellen merkittävimmät energiansäästömahdollisuudet löytyvät useimmiten suuren kokoluokan pumppaustehtävistä, joissa energiaa kuluu paljon. Pienten pumppujen yhteenlaskettu energiankulutus voi olla myös hyvin suuri, ja niihin kannattaa kes-



kittyä suurten pumppaamoiden jälkeen, mikäli halutaan päästä mahdollisimman energiatehokkaaseen pumppaukseen koko prosessissa.

### 3.1 Yhdyskunnan pumppaustehtäviä

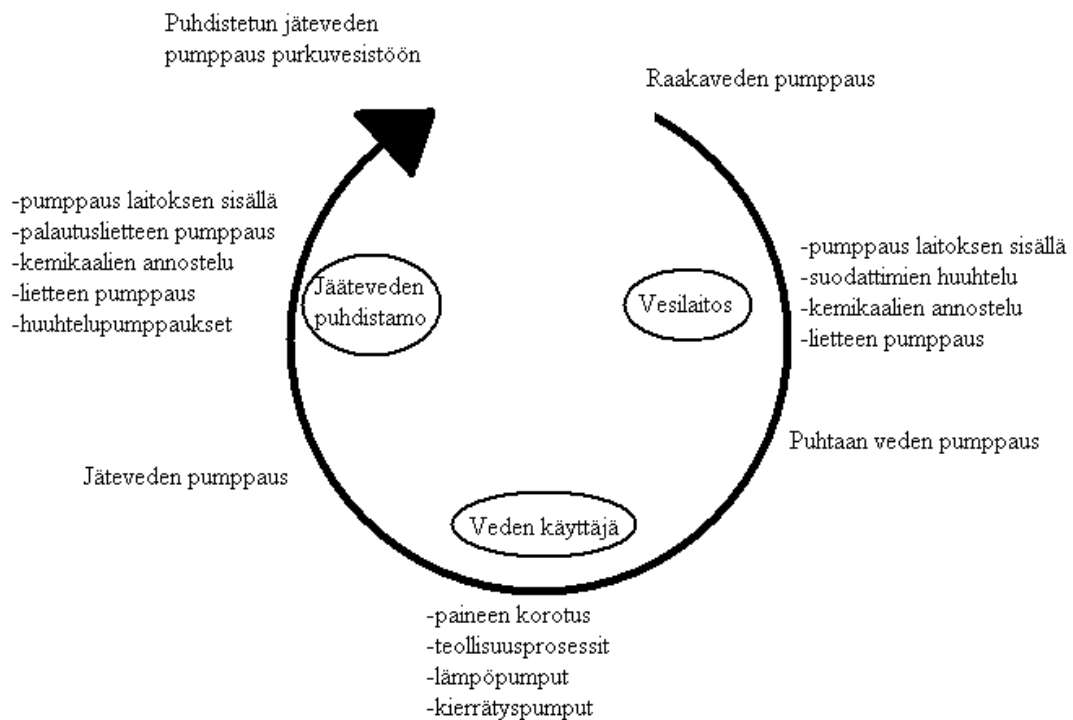
Ilman talousveden pumppausta kotitalouksille, palvelu- ja toimistorakennuksille sekä teollisuudelle, olisi elämä hyvin erilaista mitä se tänä päivänä on. Ihmisten mukavuustaso alenisi huomattavasti ilman päivittäistä suihkua, vaivatonta käsienpesua, astianpesukonetta, pihojen kastelua jne. Jätevesien, etenkin mustien vesien, pumppaaminen maanalaisissa putkistoissa vedenpuhdistamolle mahdollistaa myös nykyisen hyvän hygieniatason. Vaikka myös palontorjunta on merkittävä toiminta ja siihen liittyy paljon veden pumppausta, merkittävintä siinä ei kuitenkaan ole energiatehokkuus vaan pikemminkin pumppauksen vaivattomuus, nopeus ja tehokkuus. (Karttunen 2003, 15.)

Yhdyskunnan vesihuollosta löytyy lukuisia pumppaustehtäviä. Vedenjakelun merkittävimpiä ja suurimpia pumppaustehtäviä ovat raakaveden hankinta sekä puhdistetun veden pumppaaminen kuluttajille. Raakavesi pumpataan vesilaitokselle järvestä tai pohjavesialueelta raakavesialtaaseen puhdistusta varten. Vesilaitoksen sisällä pumppausta voidaan tarvita vesimassojen siirroissa, suodattimien huuhtelussa ja kemikaalien pumppauksissa. Kun vesi on puhdistettu, pumpataan vesi usein puhtasvesialtaasta jakeluverkostoon. Riittävän nostokorkeuden ja käyttöpaineen takaamiseksi jakeluverkosto sisältää usein paineenkorotusasemia ja ylävesisäiliöitä. Veden kuluttajat, etenkin teollisuus, voi tarvita vielä omaa pumppausta tehtaiden sisällä: paineen korotus, kierrätyspumppaukset jne. (Karttunen 2004, 248-249.)

Käytetty talousvesi sekä viemäriverkostoon johdetut hulevedet, niin teollisuuden, julkisen sektorin kuin kotitalouksienkin piiristä, täytyy pumpata jätevedenpuhdistamolle. Jätevesi pumpataan riittävällä paineella siirtolinjassa puhdistamolle. Riittävä paine tarkoittaa, että pumppujen synnyttämä paine riittää voittamaan korkeuserot ja virtausvastukset. Jätevedenpuhdistamolla vesimassoja siirretään paljon altaasta toiseen, esimerkiksi esiselkeyttimet, tasausallas, ilmastusallas, jälkiselkeyttimet. Lisäksi pumppauksia tarvitaan lietteen käsittelyssä ja kemikaalien annostelussa. Lopuksi puhdistettu vesi pumpataan tai lasketaan viemärin kautta purkuvesistöön. Korkeuseroja pyritään käyttämään mahdollisimman paljon hyväksi, jotta massojen siirtämisessä vältyttäisiin turhilta pumppauksilta. Jätevesi voidaan esimerkiksi pumpata puhdistamolle.

mon tuloviemärissä tarpeeksi korkealle, jotta vesien siirroissa voidaan käyttää prosessin myöhemmissä vaiheissa hyväksi korkeuseroja; vesi virtaa näin ollen altaasta toiseen kanaaleissa tai viemäreissä ilman pumppausta. Vedenpuhdistamon suurimpia pumppaamoita ovat juuri laitoksen alkupäässä sijaitsevat tulevan jäteveden pumppaamot. (Karttunen 2004, 248-249.)

Kaikki suuret pumppaustehtävät vesihuollossa ovat avoimen piirin pumppauksia, joissa säätöperuste on usein paine tai nestepinnan taso altaassa tai kanaalissa. Kuvassa 7 on esitetty vesihuollon vedenkierto ja pumppaustehtävät.



**Kuva 7. Vesi- ja viemärlaitoksen pumppaukset. (Karttunen 2004, 248.)**

### 3.2 Teollisuuden pumppaustehtäviä

Suurin vedenkuluttaja Suomessa on teollisuus. Teollisuuden toimialoista eniten vettä tarvitsevat voimalaitokset, massa- ja paperiteollisuus, metallien valmistus -toimialat sekä kemianteollisuus. Tämä on yksi syy miksi kyseiset teollisuuslaitokset sijaitsevat veden välittömässä läheisyydessä. Prosesseihin käytetty vesi on peräisin järvestä, joesta, merestä tai tekoaltaasta. Raa-

kaveden lisäksi teollisuuslaitokset tarvitsevat talousvettä yhdyskunnan vesilaitokselta, mutta suhteessa sen käyttö on huomattavasti pienempää. (Karttunen 2003, 36-37.)

Mikäli yhdyskunnan jätevedenpuhdistamon kapasiteetti riittää puhdistamaan suuria vesimääriä käsittelevien teollisuuslaitosten jätevedet, voidaan ne pumpata yhdyskunnan jätevesiverkostoon. Vaihtoehtoisesti teollisuuslaitoksella on oltava oma jätevedenpuhdistamo. Tällaisten vedenpuhdistamoiden toimintaperiaate on kuitenkin sama kuin yhdyskunnan jätevedenpuhdistamoilla ja sisältää näin ollen samoja pumppaustehtäviä.

Teollisuuden käyttämän prosessiveden hankinta ja käyttö noudattaa usein seuraavanlaista periaatetta. Suuret vedenkäyttäjät pumppaavat raakaveden suoraan vesistöstä omaan raakavesialtaaseen. Tämä toteutetaan lähes aina rinnan kytketyillä keskipakopumpuilla. Raakavesialtaan jälkeen vesi suodatetaan. Suodatuksen jälkeen raakavesi jakaantuu putkilinjojen ja altaiden kautta eri prosesseihin. Tehtaiden sisällä voi olla lisää suuria pumppaustehtäviä, mutta raakaveden hankintaprosessi on kuitenkin kaiken veden hankinnan perusta ja suurin pumppaustehtävä.

Metallien valmistuksessa suuria vesimääriä tarvitaan mm. sulan metallin jäädyttämiseen. Kemianteollisuudessa vettä tarvitaan kemikaaliliuosten valmistamiseen ja jäädyttämiseen. Kuten edellä mainittiin, voimalaitokset ovat yksi suurimmista vedenkuluttajista. Esimerkiksi lauhdevoimalaitokset tarvitsevat yleensä rinnan kytkettyjä keskipakopumppuja lauhdutinveden pumppaamiseen luonnonvesistöstä. Suurin osa teollisuuden kuluttamasta vedestä kuluu jäädytysprosesseissa. Suurimmat pumppaustehtävät teollisuudessa ovat avoimen piirin pumppauksia, aivan kuten yhdyskunnankin puolella. (Karttunen 2003, 37.)

#### **4 KARTOITETUT PUMPPAAMOT**

Tähän kandidaatintyöhön on valittu pumppaamoiesimerkeiksi kaksi teollisuuden sekä kaksi yhdyskunnan pumppaustehtävää. Teollisuuden piiristä tarkastelun kohteena ovat UPM Kaukaan paperitehtaan makroveden pumppaus sekä Stora Enso Kaukopään tehtaan biologisen jäteveden pumppaus. Yhdyskunnan pumppaustehtäväksi on valittu Lappeenrannan Energian tekopohjaveden pumppaus Huhtiniemessä sekä HSY:n neljä talousveden paineenkorotusasemaa. Nämä esimerkkitaipaukset edustavat luvussa 2 käsiteltyjä pumppaustehtäviä. Tarkastelemme

saatavien tietojen puitteissa muun muassa pumppaamoiden toimintakuvauksia, pumppujen ominaisuuksia sekä virtausmääriä.

#### **4.1 UPM-Kymmene Oyj**

UPM on metsäteollisuusyhtiö, joka on noteerattu Helsingin pörssissä. UPM:n on jakanut liiketoimintonsa seuraavasti:

- paperi,
- energia,
- biopolttoaineet,
- sellu,
- metsät ja puunhankinta,
- UPM Timber,
- tarramateriaalit,
- vaneri,
- puumuovikomposiitti ja
- RFID.

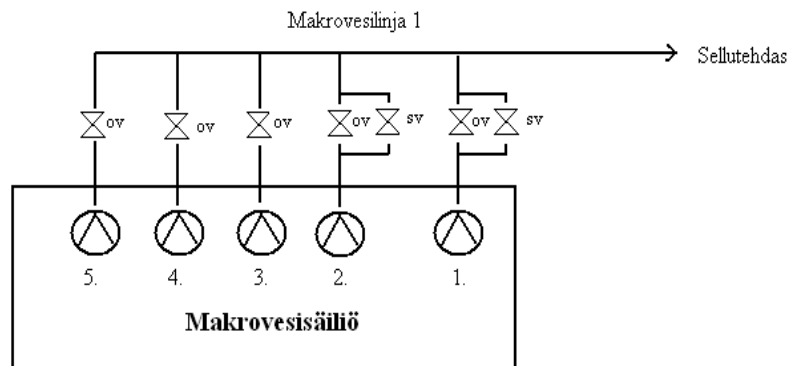
Kuituliiketoiminnat ovat UPM:n ydintoimintaa. UPM:llä on tällä hetkellä 23 paperitehdasta ja sen liiketoiminnot ulottuvat ympäri maailmaa. Paperitehtaat sijaitsevat Euroopassa, Aasiassa ja Yhdysvalloissa. (Liiketoiminnot 2011.)

Lappeenrannassa sijaitsee UPM:n Kaukaan tehdasalue. Lappeenrannassa UPM tuottaa sellua, aikakauslehtipaperia, energiaa, sahatavaraa sekä kehittää biopolttoaineita. Voimalaitos tuottaa höyryä ja sähköä tehtaan tarpeisiin sekä kaukolämpöä kaupungin tarpeisiin. Tehdasalueella sijaitsee biojalostamokehityskeskus, jossa kehitystyötä tehdään yhdessä Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa. Vuonna 2014 Kaukaan tehdasalueelle pitäisi valmistua raakamäntyöljyn perustuva biodieselin jalostamo, joka olisi ensimmäinen laatuaan maailmassa. (Yle 2012; Kaukaan Sellutehdas 2011; Uutiset 2008.)

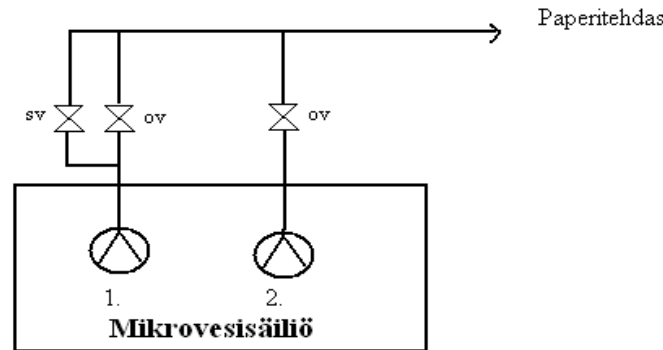
#### 4.1.1 Kaukaan makro- ja mikroveden pumppaus

Kaukaalla raakavesi jaetaan makro- ja mikrovedeen. Raakavesi pumpataan järvestä raakavesisäiliöön, josta ylikaatona vesi jatkaa makro- ja mikrovesisuotimiin. Makrovesisuotimia on käytettävissä kaksi ja mikrovesisuotimia yksi. Suotimien kautta vesi johdetaan makro- ja mikrovesisäiliöihin. Suurin osa raakavedestä käytetään makrovesipiirin puolella - sellutehtaalla. Makroveden pumppauspiiri on esitetty kuvassa 8. Makroveden pumppaukseen on käytettävissä kuusi rinnan kytkettyä keskipakopumppua, joista viisi pumpppaa vettä samaan linjaan - makrovesilinja 1. Pumput ovat uppopumppuja ja sijaitsevat makrovesialtaassa. Mikrovesialtaasta vettä pumpataan paperinvalmistusprosessiin kahden keskipakopumpun avulla. Mikroveden pumppauspiiri on esitetty kuvassa 9. (Maunus-Tiihonen 2011a.)

Makroveden pumppaus on energiansäästötarkastelun kannalta otollisempi kohde, sillä pumpattava vesimäärä on suurempi, ja kuuden pumpun ohjaaminen energiatehokkaasti on haastavampaa kuin kahden. Makrovesipumppujen todellinen tuotto järjestelmässä vaihtelee arvion mukaan pumpusta riippuen noin 0,4-1,1 m<sup>3</sup>/s välillä. Arvio on saatu pumppukäyrien avulla kun oletuksena on, että verkoston paine on mittausten mukainen eli noin 4 baaria. Mikrovesipumppujen valmistajan ilmoittama nimellistuotto on 0,4 m<sup>3</sup>/s. Koska pumppujen nimellistuottoarvot eivät usein täsmää järjestelmän todellisten tuottoarvojen kanssa, tulee mikrovesipumppujen tuottoarvoihin suhtautua varauksella. (Maunus-Tiihonen 2011a,b,c.)



Kuva 8. Makroveden pumppaus. (Maunus-Tiihonen 2011a.)



**Kuva 9. Mikroveden pumppaus. (Maunus-Tiihonen 2011a.)**

#### 4.1.2 Makroveden pumppauksen toimintakuvaus

Makro- ja mikroveden pumppauksia ohjataan tietokoneiden välityksellä Metson automaatiojärjestelmän avulla. Makroveden pumppauksessa määräävä tekijä on järjestelmän paine, jota valvotaan paineantureiden avulla. Kolme paineanturia (2755.P001, 2755.P002, 2755.P003) lähettävät signaalin säätimelle (2755.P004), joka ohjaa pumppujen ohjausventtiilejä arvojen 0-100 prosentin välillä. Ohjausventtiilejä säätämällä painesäädin ohjaa pumppuja päälle ja pois. Pumput pysähtyvät automaattisesti ollessaan aina kun ohjausventtiilin asetusarvo on alle 1 prosentin 35 sekunnin ajan ja käynnistyvät asetusarvon ollessa yli 5 prosenttia 20 sekunnin ajan. Aina pumpun pysähtyessä myös ohjausventtiili sulkeutuu kokonaan. Pumppujen käynnistyttyä on, että ohjausventtiili on kiinni. Pumpun käynnistyttyä ohjausventtiili säätyy asetusarvoonsa. Pumppuja säättävät ohjausventtiilit (ov) näkyvät kuvassa 8. (Maunus-Tiihonen 2011a.)

Haluttu paine makrovesilinjassa on noin 4 baaria. Mikäli makrovesilinjan paine on liian alhainen, tulee järjestelmään hälytys. Paineen ollessa liian korkea painesäädin sulkee käynnissä olevien makrovesipumppujen 1-5 ohjausventtiilejä ennalta määrättyssä järjestyksessä. Kahden minuutin kuluttua ohjausventtiilin sulkeutumisesta paine pysäyttää kyseisen pumpun. Näin paine saadaan laskemaan makrovesilinjassa. Makrovesilinjan paineen lisäksi pumppuja ohjataan mikrovesisäiliön pinnan mukaan. Jos mikrovesisäiliön pinta tippuu alle 30 prosentin, niin automaattisesti asetetut pumput pysähtyvät 20 sekunnin viiveellä, mikäli painesäätimen lähtö kyseisen pumpun ohjausventtiilille on yli 5 prosenttia. Pumppujen käyttövarmuuden takaamiseksi pumput pysähtyvät automaattisesti myös voiteluveden virtauksen ollessa alle 0,33 l/s yhtäjaksoisesti 10 sekunnin ajan. Voiteluveden tarkoitus on voidella pumpun tiivisteitä. Tässä pump-

pausjärjestelmässä, kuten myös mikroveden pumppauksessa, voiteluvesi tulee talousvesilinjasta. Makrovesipumppuja ei voida myöskään käynnistää voiteluveden virtauksen ollessa alle 0,33 l/s. (Maunus-Tiihonen 2011a; Wirzenius 1978, 208.)

#### 4.1.3 Makro- ja mikrovesipumppujen ominaisuuksia

Kaikki makro- ja mikrovesipumput ovat Ahlströmin valmistamia keskipakopumppuja, joiden voimanlähteenä on vaihtovirtamoottori. Pumput on valmistettu noin 60-luvun paikkeilla. Taulukossa 1 on esitetty valmistajan ilmoittamia pumppujen nimellisarvoja: moottorin teho, moottorin käyttämä jännite ja nimellisvirta sekä juoksupyörän pyörimisnopeus ja pumpun tuotto. Makrovesipiirissä staattinen nostokorkeus on noin 40 metriä. (Maunus-Tiihonen 2011b,c.)

**Taulukko 1. Makro- ja mikrovesipumppujen ominaisarvoja.** (Maunus-Tiihonen 2011b,c.)

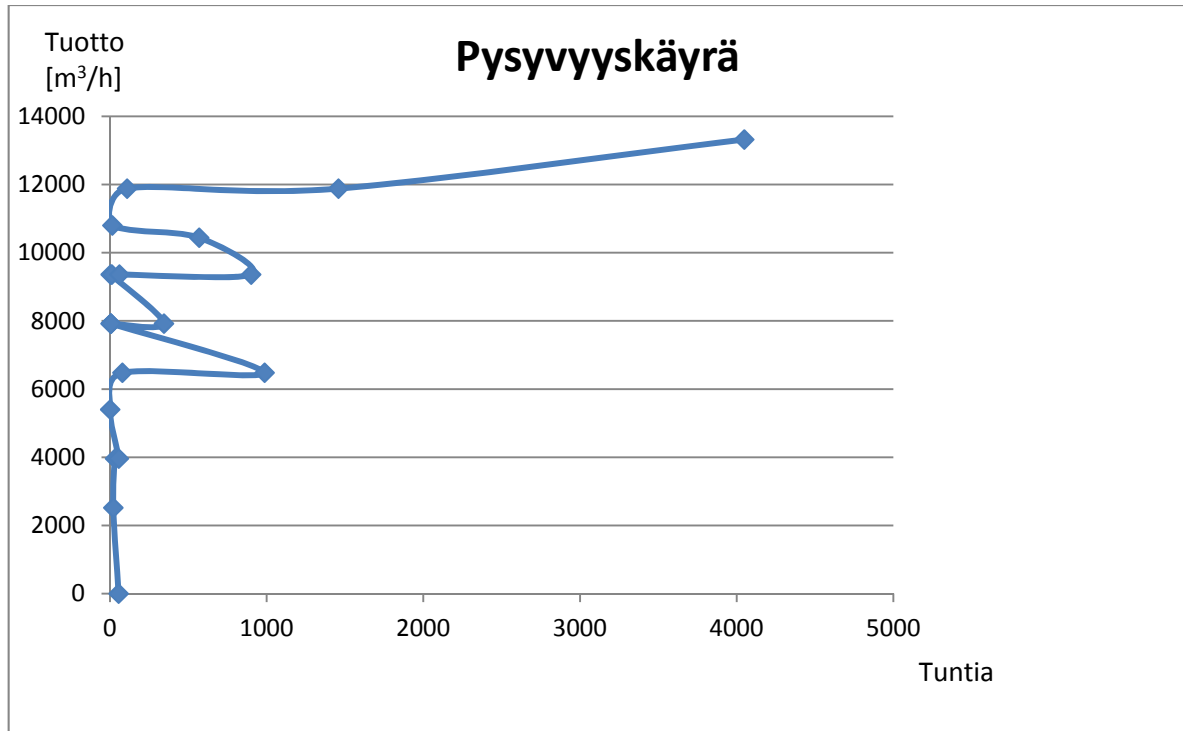
Pumppu	Teho [kW]	Jännite [V]	Virta [A]	Nopeus [1/min]	Tuotto [m <sup>3</sup> /s]	Tuotto järjestelmässä* [m <sup>3</sup> /s]
Makrovesipumppu 1	355	500	495	1000	0,7	0,4
Makrovesipumppu 2	350	500	485	1000	0,7	0,4
Makrovesipumppu 3	480	500	660	1000	1,0	0,7
Makrovesipumppu 4	700	500	980	740	1,3	1,1
Makrovesipumppu 5	700	500	980	740	1,3	1,1
Mikrovesipumppu 1	185			1490	0,4	
Mikrovesipumppu 2	185			1490	0,4	

\*Arvioitu todellinen tuotto järjestelmässä

#### 4.1.4 Makroveden pumppauksen pysyvyyskäyrä

Makrovesipumppujen mittaustietoa oli tässä työssä saatavilla vuoden mittaiselta jaksolta. Mittaukset oli suoritettu tasatunnein. Mittaustiedoista ilmeni makrovesilinjan paine, kaikkien viiden pumpun ottama virta prosentteina nimellisarvosta, pumppujen ohjausventtiilien asento sekä makrovesilinjojen virtausmäärät. Virtausmittaustiedot eivät selvityksen mukaan ole kovin luotettavia, eikä tiedoissa näkynyt kaikki pumpattu makrovesi. Todellinen pumppausmäärä voi olla jopa 3-4 m<sup>3</sup>/s. Oletetaan, että järjestelmän paine on mittausten mukainen eli noin 4-4,2 baaria. Tästä saadaan pumppujen ominaiskäyrien avulla pumppujen todellisiksi tuotoiksi tau-

lukossa 1 esitetyt arvot. Tällöin pumppujen maksimituotoksi saadaan  $3,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Saatua tuottoarviota tukee rinnankäyttökuvaaja kyseisistä pumpuista (Arto Koso 2012). Kuvassa 10 on esitetty mittaustietojen ja oletusten perusteella makrovesipumppujen tuoton pysyvyys vuoden mittaiselta ajanjaksolta. (Maunus-Tiihonen 2011b.)



**Kuva 10. Makrovesipumppujen tuoton pysyvyys. (Maunus-Tiihonen 2011b.)**

Kuvaajasta 10 huomataan, että suurimman osan ajasta makroveden tarve on lähellä pumppujen maksimituottoa. Liitteeseen 1 on koottu tiedot joiden perusteella pysyvyyskäyrä on tehty. Liitteestä ilmenee myös kuinka monta pumppua ja mitkä pumput ovat milloinkin käytössä. Noin puolet vuodesta kaikki pumput olivat käytössä, ja reilusti yli puolet vuodesta pumppuja oli käytössä viisi tai neljä. Keskiarvo pumppujen tuotolle on  $11\,172 \text{ m}^3/\text{h}$  ja yhteensä vuoden aikana pumpatun makroveden määrä on arvioiden mukaan noin 98 miljoonaa  $\text{m}^3$ . (Maunus-Tiihonen 2011b.)

Oletuksena pysyvyyskäyrää laatiessa oli, että moottorin ollessa käynnissä ohjausventtiili on täysin auki ja pumpun tuotto on maksimissaan. Todellisuudessa pumppujen tuottoarvoja kui-



tenkin jonkin verran säädetään ohjausventtiilien avulla. Järjestelmän paine vaihteli mittausten mukaan 0-4,5 baarin välillä. Arvoja 0-3,8 sekä 4,3-4,5 baaria oli kuitenkin verrattain vähän, ja verkoston paineen keskiarvo olikin 4 baaria. 4 baaria on toimintakuvauksessakin mainittu makrovesilinjan tavoitepaine. Kuten makrovesijärjestelmän toimintakuvauksessa oli esitetty pumppujen automatiikasta, mittausdatasta ilmeni myös kuinka pumput käynnistyvät ja sammuvat paineen vaihteluiden vaikutuksesta. Pumppujen käynnistymiseen ja sammumiseen vaikuttaa se, ovatko pumppujen ja painemittauksen ohjaus automaatti- vai manuaalitulassa. Valittu asetus vaikuttaa pumppausjärjestelmän toimivuuteen ja haluttujen arvojen saavuttamiseen. Pumppujen käynnistys- ja sammumisjärjestykseen vaikuttaa ohjaustilan lisäksi käynnistysnumero, joka jokaiselle pumpulle on ennalta määrätty. (Maunus-Tiihonen 2011a,b.)

## **4.2 Stora Enso**

Stora Enso on kansainvälinen metsäteollisuusyhtiö, joka on listattu Helsingin ja Tukholman pörssissä. Stora Enso työllistää noin 30 000 ihmistä yli 35 maassa. Yhtiön valmistamia raaka-aineita ja tuotteita ovat sellu, paperi- ja kartonkituotteet sekä puusta valmistetut rakennustuotteet. Paperituotteita ovat muun muassa hieno-, sanomalehti- sekä pakkauspaperituotteet. Stora Enso on yksi maailman johtavimmista kartonkipakkausten tuottajista. Kartonkipakkauksia käytetään muun muassa elintarviketeollisuudessa sekä kosmetiikka ja tupakkatuotteiden pakkaamiseen. Suomessa Stora Ensolla on tällä hetkellä kymmenen tehdasta. (About us 2012; Products 2012.)

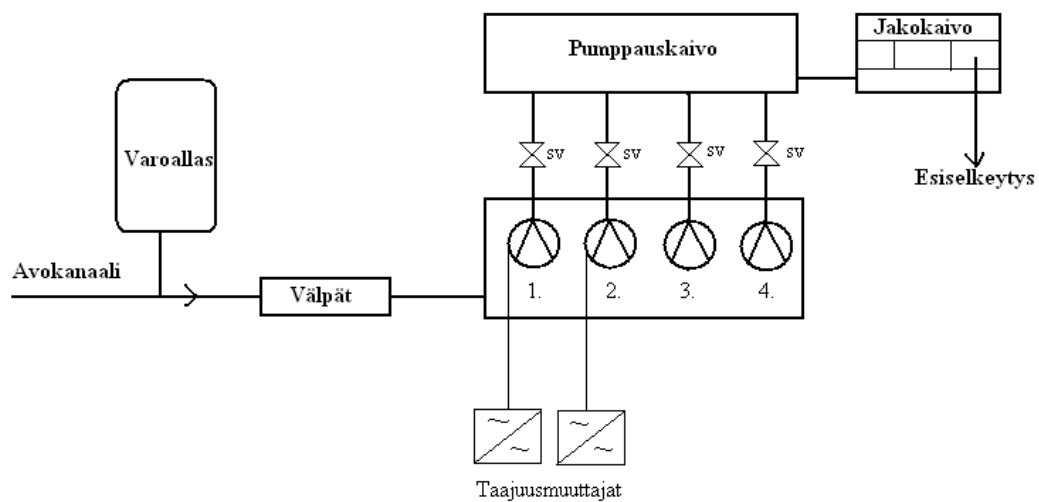
Imatralla sijaitsee Stora Enson Kaukopään sekä Tainionkosken yksiköt. Imatran tehtailla valmistetaan paperia sekä kartonkia. Imatralla valmistettuja tuotteita käytetään muun muassa juomien, makeisten ja tupakkatuotteiden pakkaamiseen sekä niistä valmistetaan lahjapakkauksia, juomakuppeja ja kortteja. Tuotteet menevät pääsääntöisesti vientiin Eurooppaan sekä Kaakkois-Aasiaan. (Mills 2012.)

### **4.2.1 Kaukopään biologisen jäteveden pumppaus**

Kaukopään jätevedenpuhdistamolle tulee niin kemiallisesti kuin biologisesti puhdistettavia jätevesiä. Biologiset jätevedet koostuvat sellutehtaan ja CTMP-laitoksen jätevesistä sekä kaa-

topaikan suotovesistä. Kemiallisesti puhdistettavat jätevedet koostuvat paperi- ja kartonkikoneiden jätevesistä. (Asikainen 2012a.)

Tarkastelun kohteena on biologisesti käsiteltävän jäteveden tulopumppaamo. Biologiset jätevedet tulevat jätevedenpuhdistamolle avokanaalia pitkin. Ensimmäinen jäteveden puhdistusprosessi on välppäys, joka poistaa jäteveden mukana olevat suurimmat partikkelit. Välppäyksen jälkeen vesi pumpataan tarkastelun kohteena olevilla pumpuilla pumppauskaivon ja jakokaivon kautta esiselkeytimeen. Kuvassa 11 on esitetty tarkastelun kohteena oleva pumppauspiiri. (Asikainen 2012a.)



Kuva 11. Biologisesti puhdistettavan jäteveden pumppaus. (Asikainen 2012a.)

#### 4.2.2 Jäteveden pumppauksen toimintakuvaus

Kaukopään jätevedenkäsittelyä ohjataan Metson automaatiojärjestelmällä. Kuvassa 11 esitetty pumppaamo käsittää neljä keskipakopumppu, joista kaksi on varustettu taajuusmuuttajalla ja kaksi on suoraikäyttöistä. Tässä pumppaustehtävässä määräävä tekijä on pumppauskaivon pintankorkeus. Pumppauskaivon pintasäätimet (VPU LC 201.1 ja VPU LC 201.2) ohjaavat pumppujen 1 ja 2 taajuusmuuttajia. Pumput saavat ohjausviestinsä siis eri säätimiltä vaikka mittausarvo - pumppauskaivon pinta - on sama. Pumpuista 1 ja 2 ainakin toisen on oltava automaattiasennossa. Kiinteätuottoisista pumpuista 3 ja 4 vain toinen voi olla automaattiasennos-

sa, lukitus estää yhtäaikaisen automaattiohjauksen. Kiinteätuottoisten pumppujen perässä on sulkuventtiilit, joiden on oltava kiinni pumppuja käynnistettäessä. (Asikainen 2012a.)

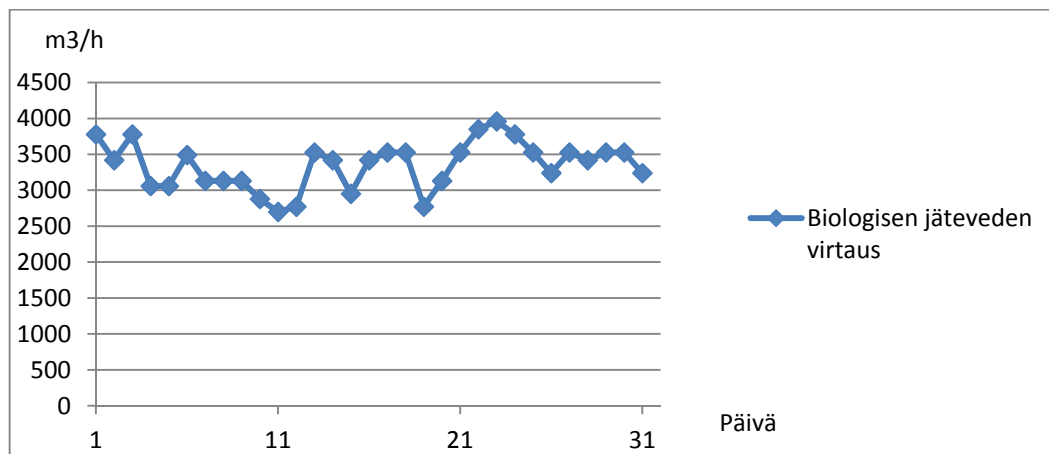
Esimerkin avulla voidaan selvittää säätimien ja pumppujen toiminta. Oletetaan, että pumput 1, 2 ja 3 ovat automaattiasennossa sekä pumpun 1 pintasäädin automaattilla ja pumpun 2 pintasäädin manuaalilla. Tässä tapauksessa pumpun 1 kierrokset säätävät siten, että haluttu pumppauskaivon pinnan asetusarvo saavutettaisiin. Jos pumpun 1 ulostuloviesti nousee 100 prosenttiin, eli pumppu ottaa täydet kierrokset, käynnistyy pumppu 2. Pumpun 2 pintasäädin oli tässä tapauksessa manuaalilla, joten pumpun kierrokset säätävät sille manuaalisesti syötettyyn arvoon. Pumpun 2 käynnistyttyä pumpun 1 kierrokset laskevat, jotta haluttu pinnan asetusarvo säilyy. Mikäli pumppu 1 ottaa edelleen täydet kierrokset, käynnistyy seuraavaksi pumppu 3, joka pyörii täydellä teholla. Pumpussa 3 ei siis ole säätömahdollisuutta. Pumpun 3 käynnistyttyä säätävä pumppu 1 pudottaa kierroksiaan. Jos pinta lähtee laskuun ja pumpun 1 kierrokset menevät minimiin, sammuu pumppu 3. Myös pumppu 2 sammuu, mikäli pumppauskaivon pinta laskee alle asetusarvon. Pumput eivät lähde saman tien käyntiin mikäli pinnan mittaus poikkeaa asetusarvosta. Mittausarvon pitää poiketa asetusarvosta 15 prosenttia ja pysyä siellä 5 minuuttia ennen kuin pumput käynnistyvät, mikäli pumput ovat automaattiasennossa. (Asikainen 2012a.)

Rajoituksia pumppaukselle asettaa myös käytettävissä olevien esiselkeyttimien määrä. Jos biologista jätevettä ohjataan jakokaivosta vain yhteen selkeyttimeen, voidaan käyttää korkeintaan kahta pumppua. Kaukopäässä biologista jätevettä ohjataan normaalisti yhteen esiselkeyttimeen ja kemiallista kahteen. Jotta jakokaivo pystyy käsittelemään sinne tulevan jätevesimassan, on jakokaivoon asennettu pintavahti, joka tarvittaessa pysäyttää pumppauksen. Maksimi pumppausmäärä on arviolta  $5\,400\text{ m}^3/\text{h}$ . (Asikainen 2012a.)

#### **4.2.3 Pumppujen ominaisuuksia**

Edellä mainitut neljä biologisen jäteveden pumppua ovat kaikki samankokoisia, ja niiden voimalähteenä on vaihtovirtamoottori. Pumppujen teho on 315 kW ja tuotto noin  $3\,600\text{ m}^3/\text{h}$ . Pumppauspiirin staattinen nostokorkeus järjestelmässä on arviolta 12 metriä. Kuvassa 12 on esitetty pumpattu jätevesimäärä kuukauden ajalta. Arvopisteet ovat päivittäisiä hetkellisiä arvoja, jotka on luettu liitteen 2 mittausdatasta. Liitteessä on mittausdata pumpuille tulevasta ja lähtevästä jätevesimäärästä. Kuvan 12 perusteella pumppujen tuoton keskiarvoksi saadaan noin

3 347 m<sup>3</sup>/h. Tällöin käytössä on normaalisti kaksi pumppua, pumput 1 ja 2. Jäteveden määrässä ei tapahdu vuoden aikana merkittäviä muutoksia, sillä sellutehtaan toiminta on jatkuvaa ympäri vuoden, poikkeuksia lukuun ottamatta. Muutoksia pumppaukseen aiheuttaa tilanteet, joissa jätevedettä ohjataan varoaltaaseen tai avokanaalin pintaa halutaan laskea. Mikäli jätevedettä halutaan ohjata varoaltaaseen avokanaalin kautta, on pumppausta pienennettävä, jotta avokanaalin pinta nousee. Jätevesi valuu varoaltaaseen ylikaatoperiaatteella. Varoaltaaseen pumppausta käytetään esimerkiksi satunnaispäästötilanteissa, joissa puhdistamolle saapuu paljon massaa. Varoaltaan käyttö helpottaa jätevedenkäsittelyprosessia, kun radikaalimmat jätevedenlaadun muutokset saadaan eliminoidua. Kun varoallasta halutaan tyhjentää avokanaaliin, tulee pumppausta tarvittaessa lisätä, jotta avokanaalin pinta ei nouse liikaa. Varoallas sijaitsee avokanaalin vieressä (kuva 11). (Asikainen 2012a,b.)



Kuva 12. Biologisen jäteveden pumppujen tuotto. (Asikainen 2012b.)

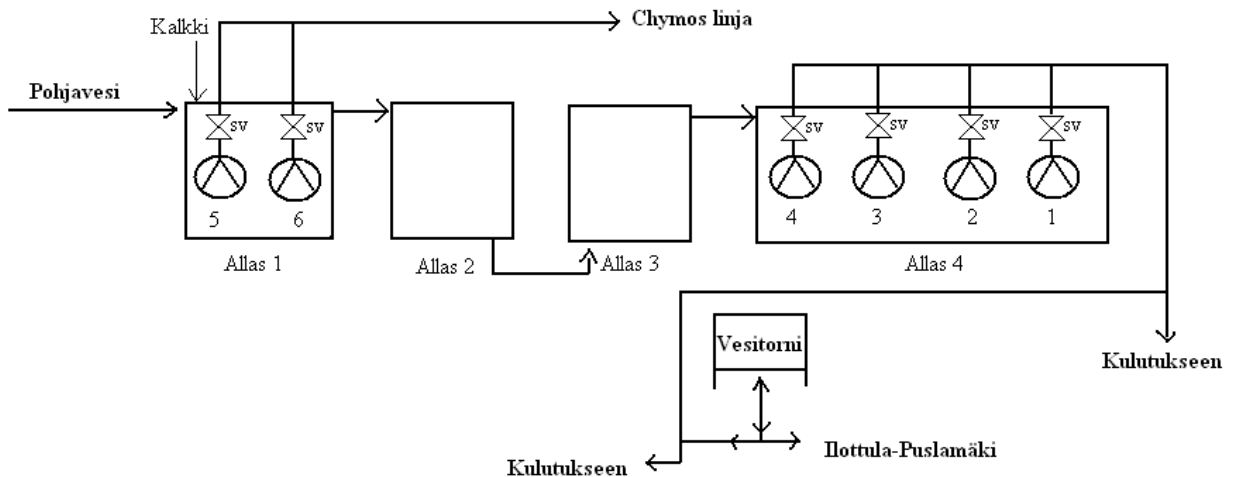
### 4.3 Lappeenrannan energia

Lappeenrannan vesihuollosta vastaa nykyään Lappeenrannan Energia. Lappeenrannan Energia on konsernin emoyhtiö, joka omistaa kokonaan tytäryhtiönsä Lappeenrannan Energiaverkot Oy:n, Lappeenrannan Verkkorakennus Oy:n sekä Lappeenrannan Lämpövoima Oy:n. (Lappeenrannan Energia –konserni 2012.)

Lappeenrannassa on kahdeksan vedenottamo: Huhtiniemi, Myllypuro, Ilottula-Puslamäki, Korvenkylä, Peräsuoniitty, Honkala, Nuijamaa ja Ylämaa. Yhteensä nämä vedenottamot pumpaavat noin 15 730 m<sup>3</sup> vuorokaudessa, josta noin 8 000 m<sup>3</sup> on tekopohjavettä ja loput 7 730 m<sup>3</sup> on pohjavettä. (Vesi 2012; Vesterlund 2012.)

#### 4.3.1 Huhtiniemen tekopohjaveden pumppaamo

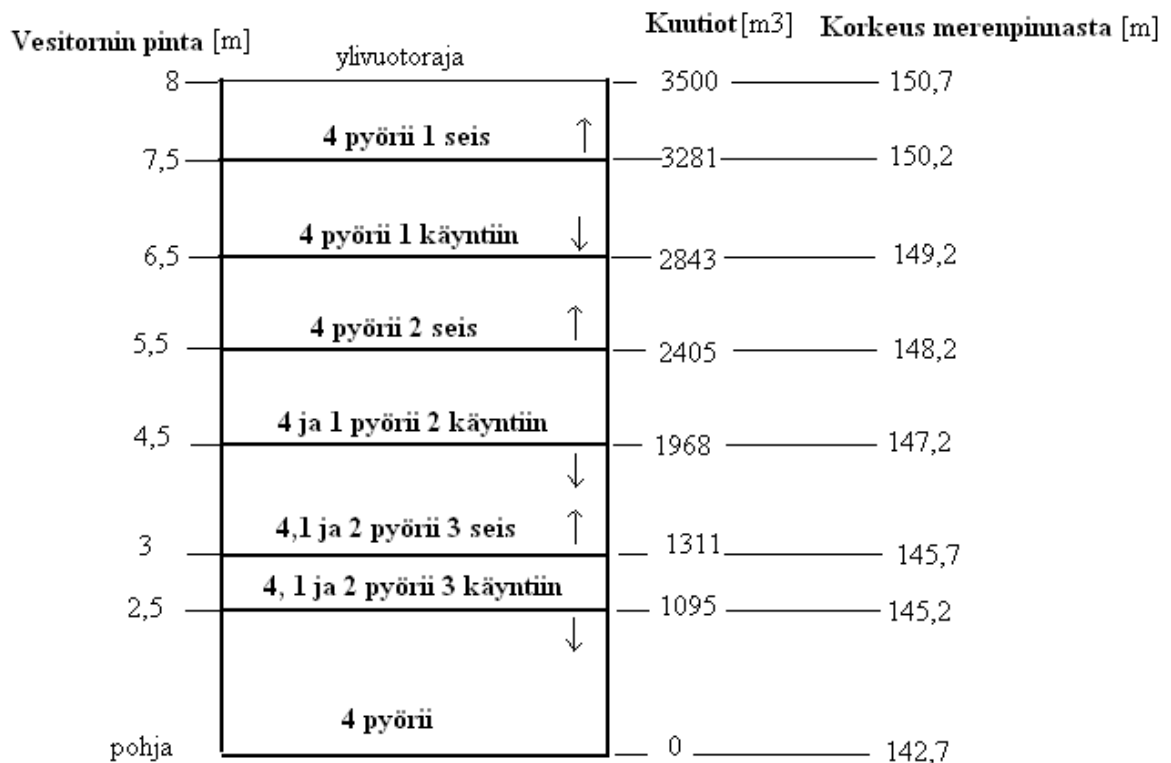
Huhtiniemen vedenottamo on Lappeenrannan Energian kahdeksasta vedenottamosta suurin pumpatun vesimäärän mukaan (Vesi 2012). Tämän takia on energiansäästötarkastelun kannalta järkevää lähteä liikkeelle juuri Huhtiniemen vedenottamosta. Raakavesi pumpataan tekopohjaveden imeytysaltaaseen, josta se edelleen pumpataan Huhtiniemen pumppaamon sisältäisiin: allas 1, 2, 3 ja 4. Näistä altaista vesi pumpataan kohti kuluttajia kuuden pumpun avulla: pumput 1, 2, 3, 4, 5 ja 6. Osa talousvedestä pumpataan ylävesisäiliön kautta kuluttajille riittävän verkostopaineen takaamiseksi. Kuvassa 13 on esitetty tekopohjaveden pumppauspiiri. Kuvasta havaitaan myös kalkkimaidon syöttö altaaseen 1. (Vesterlund 2012.)



Kuva 13. Huhtiniemen tekopohjaveden pumppaus. (Vesterlund 2012.)

### 4.3.2 Tekopohjaveden pumppauksen toimintakuvaus

Kuvan 13 pumppauspiiriä ohjataan tietokoneella ABB:n automaatio-ohjelman avulla. Tässä pumppausjärjestelmässä määräävä tekijä on ylävesisäiliön pinnankorkeus. Ylävesisäiliöön pumppaus tapahtuu pumpuilla 1-4. Pumppuja 1-4 ohjataan yleensä automaattilla, mikäli ne ovat käynnissä. Tosin kaikkia pumppuja ei tarvita yhtäaikaisesti, joten osa pumpuista saattaa olla manuaalilla ja sammutettuina. Automaattiasennossa ollessaan pumput sammuvat ja käynnistyvät sen mukaan, mikä on ylävesisäiliön pinnan korkeus. Kuva 14 havainnollistaa, miten pumppujen 1-4 automaattiohjaus toimii. (Vesterlund 2012.)



Kuva 14. Pumppujen 1-4 automaattiajo vesitornin pinnan mukaan. (Vesterlund 2012.)

Kuvassa 14 näkyvät nuolet kertovat, onko ylävesisäiliön pinta vajoamassa vai nousemassa, mikä puolestaan vaikuttaa automaattilla olevien pumppujen käyntitilaan kuvan mukaisesti. Kuva on kuitenkin vain havainnollistava, sillä ohje on vanha eivätkä pumppunumerot pidä enää paikkansa. Nykyään ylävesisäiliön tilavuus pidetään kahden pumpun avulla noin välillä 147,2-

149,2 metriä merenpinnan yläpuolella, mikä vastaa ylävesisäiliön pinnan korkeutta 4,5-6,5 metriä. Useimmiten nämä kaksi tornin pintaa ylläpitävää pumppua ovat pumpput 2 ja 4. Kuvasta 14 ilmenee myös ylävesisäiliön tilavuus ja korkeus merenpinnasta. Korkeus merenpinnasta vaikuttaa ylävesisäiliön luomaan paineeseen verkostossa. (Vesterlund 2012.)

Pumppuja 5 ja 6 voidaan ajaa automaatti- tai manuaaliohjauksella. Automaatilla ollessaan pumpput käynnistyvät ja sammuvat ylävesisäiliön pinnankorkeuden mukaan. Pumppuja ohjaava optimointiohjelma ei kuitenkaan käytä pumppuja 5 ja 6 niiden ollessa automaattiasennossa, ja siksi pumppuja ohjataan aina manuaalisesti. Yöaikaan, kun vedenkulutus on vähäisempää pumpput 5 ja 6 eivät ole normaalisti käynnissä. Mikäli vedenjakelupiirissä esiintyy vuotoja tai kulutus on, esimerkiksi Kaukaan paperitehtaan vedenkäytön takia poikkeuksellisen suurta, jäte-tään pumpput 5 ja 6 myös yöksi päälle. Pumppuja ajetaan kokemuksen perusteella myös öisin manuaaliasennolla. Näin ylävesisäiliön pinta pysyy ylhäällä suuresta kulutuksesta huolimatta. (Vesterlund 2012.)

Normaalisti päiväsaikaan ajetaan pumpuilla 2, 4, 5 ja 6 ja yöaikaan pumpuilla 2 ja 4. Liitteessä 3 on esitetty pumppujen 1-6 tuottama virtaus sekä paine vuoden mittaiselta jaksolta. Alemmat mittausarvot kuvaavat virtausmäärää ja ylempät verkoston painetta. Suurempia poikkeavuuksia vedenkulutuksessa aiheuttavat pyhät ja loma-ajat. Juhannuksena ja jouluna veden kulutuksessa huomataan lyhyet notkahdukset. Vedenkulutus on keskiarvoa suurempaa keväällä huhtikuussa, alkukesästä kesälomien alkaessa sekä pidemmän aikaa syksyllä koulujen alkaessa. Tulee kuitenkin huomata, että kulutuksissa esiintyy myös kuntakohtaisia vaihteluita, jotka voivat johtua esimerkiksi teollisuuden vedenkulutuksen muutoksista, vuodoista vedenjakelujärjestelmässä tai muusta poikkeustilanteesta. Liitteen 3 kuvaajasta katsottuna pumppujen tuoton keskiarvo on noin  $390 \text{ m}^3/\text{h}$  ja verkoston paineen keskiarvo ennen ylävesisäiliötä noin 6,40 baaria, joka vastaa 65 metrin nostokorkeutta. (Vesterlund 2012.)

Pumpput 2 ja 4 ovat yleensä jatkuvassa käytössä johtuen pumppujen tehoarvoista sekä pumppujen 1 ja 3 huonommasta kunnosta. Pumpun 1 pesä on aikaisemmin ollut halki ja pumppu on pinnoitettu uudestaan. Pumpussa 3 puolestaan on suuria tärinäongelmia. Pumppua 3 ei tällä hetkellä käytetä lainkaan, mikäli se ei ole välttämättömyys vedenjakelun toimivuuden kannalta. Pumppua 1 käytetään korvaamaan tai tukemaan pumppuja 2 tai 4 kulutuksen kasvaessa, tasattaessa käyttötunteja tai muissa poikkeustilanteissa. Lähinnä pumppu 1 korvaa pumppua 4, jon-

ka teho on noin puolet pienempi kuin pumpun 1. Tällä tavoin saadaan kulutuksen kasvaessa lisättyä tuottoa ilman, että kaikkien kolmen pumpun tarvitsisi olla yhtäaikaaisesti käynnissä. Joissakin tilanteissa kaikki kolme pumpua kuitenkin joudutaan pitämään yhtäaikaisesti käynnissä. (Vesterlund 2012.)

#### 4.3.3 Pumppujen ominaisuuksia

Pumput 1 ja 2 ovat Ahlströmin ja pumput 3 ja 4 Serlachiuksen 50-60-luvulla valmistamia keskipakopumppuja. Pumput 5 ja 6 ovat uusittuja Grundfosin keskipakouppopumppuja (kuva 15). Taulukossa 2 on esitetty valmistajan ilmoittamia pumppujen nimellisarvoja. (Vesterlund 2012.)



Kuva 15. Huhtiniemen Grundfosin uppopumput.

Taulukko 2. Huhtiniemen pumppujen ominaisarvoja. (Vesterlund 2012.)

Pumppu	Teho [kW]	Tuotto [m <sup>3</sup> /h]	Nostokorkeus [m]
1	115	270	80
2	110	270	80



3	110	270	90
4	37	72	95
5	22	77	74
6	22	77	74

Vuodessa ylävesisäiliöön pumpataan noin 625 000 m<sup>3</sup>, jolloin päiväkeskiarvoksi saadaan noin 1 712 m<sup>3</sup>. Suoraan vedenjakeluverkkoon pumpataan vuodessa noin 3,6 miljoonaa m<sup>3</sup>. Yhteensä pumpuilla 1-6 voidaan siis olettaa pumpattavan noin 4, 224 miljoonaa m<sup>3</sup> vuodessa. (Vesterlund 2012.)

## 4.4 HSY

HSY eli Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä toteuttaa Helsingin seudulla jäte- ja vesihuollon sekä tarjoaa seututietopalveluja, kuten esimerkiksi ilmanlaatutietoja. HSY:n Internet-sivujen mukaan nämä palvelut tuotetaan kustannustehokkaasti ja ympäristöystävällisesti. (Tietoa HSY:stä 2011.)

HSY:n vesihuolto sisältää jäteveden sekä puhtaan talousveden käsittelyjärjestelmät. HSY:lle tuleva puhdistettava juomavesi tulee Päijänne-tunnelia pitkin vedenpuhdistuslaitoksille Helsinkiin: Pitkäkoskelle ja Vanhaankaupunkiin. Murto-osa käytetystä juomavedestä tulee pohjavesialueilta. Pääkaupunkiseudun vesijohto- ja viemäriverkoston pituus on noin 7 600 kilometriä. Suurin osa vesijohtoverkosta on päävesijohtoja, joista haarautuvat pienemmät jakeluverkot. Vedenjakelujärjestelmän toimivuutta seurataan tietokoneiden avulla: tärkeimmät venttiiliristikot, ylävesisäiliöt sekä paineenkorotusasemat ovat kauko-ohjauksen piirissä. (Vesihuolto 2011.)

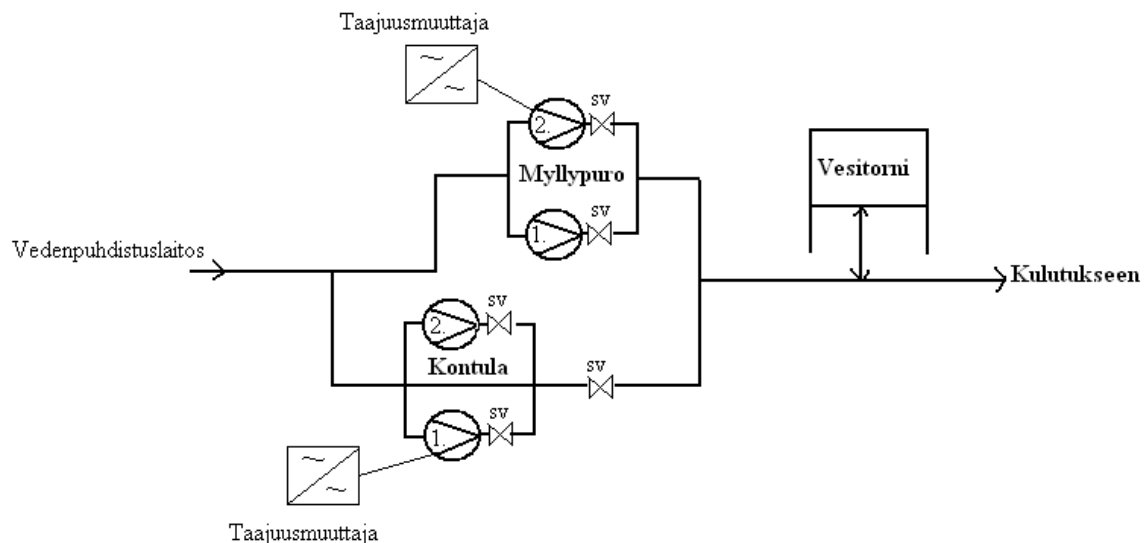
### 4.4.1 Myllypuron, Kontulan, Mäkelänkadun ja Itä-Pasilan paineenkorotusasemat

Myllypuron, Kontulan, Mäkelänkadun ja Itä-Pasilan paineenkorotusasemat ovat osa HSY:n talousveden jakeluverkostoa. Myllypuron ja Kontulan sekä Mäkelänkadun ja Itä-Pasilan paineenkorotusasemat ovat samassa piirissä ja ne korvaavat tarvittaessa toisensa. Kahdesta ensimmäisestä paineenkorotusasemasta on normaalisti vain Myllypuro käytössä ja Kontulan asemaa käytetään vain tarvittaessa. Mäkelänkadun ja Itä-Pasilan asemien ajoja vuorotellaan,

jotta pumpuille tulisi yhtä paljon käyttötunteja. Kaikkia paineenkorotusasemia ohjataan normaalisti kaukokäytöllä tietokoneen välityksellä, mutta myös paikallisajo on mahdollista. (Järvinen 2011.)

#### 4.4.2 Kontulan ja Myllypuron paineenkorotusasemat

Kontula korvaa tarvittaessa Myllypuron paineenkorotusaseman, mutta niitä on mahdollista ajaa myös rinnan. Myllypuron ja Kontulan paineenkorotusasemat nostavat talousveden Myllypuron ylempään painepiiriin. Kulutuksesta riippuen vesi pumpataan Myllypuron tai Kontulan paineenkorotusaseman kautta suoraan Vanhankaupungin vedenpuhdistuslaitokselta joko ylävesisäiliöön tai suoraan kuluttajille. Kuvassa 16 on esitetty Kontulan ja Myllypuron paineenkorotusasemien pumppauspiiri. (Järvinen 2011.)



Kuva 16. Kontulan ja Myllypuron paineenkorotusasemien pumppauspiiri. (Järvinen 2011.)

Kontulassa on kaksi pumppua rinnan. Pumppujen ohjausasennoksi voidaan valita joko auto, käsin tai myllypuro. Automaattitilassa pumppujen sulkuventtiili avautuu ja sulkeutuu pumpun käyntitilan mukaan automaattisesti. Käsin-asennossa pumppuja ohjataan paikallisajokytkimillä. Pumppujen ollessa myllypuro-asennossa niiden ohjaus tapahtuu automaattisesti ylävesisäiliön pinnankorkeuden mukaan. Pumppu 1 on varustettu taajuusmuuttajalla. Pumpun 1 ohjaus voidaan toteuttaa säätämällä joko taajuus- tai paineohjetta. Ohjaustapa on itse valittavissa. Taa-

juussäädössä pumppu pyörii asetetulla taajuudella ja paineohjauksessa pumppu pitää paineen asetusarvoa yllä muuttaen pumpun pyörimisnopeutta. Pumppu 2 toimii suorakäytöllä ja sitä käytetään vain, jos pumpun 1 paineentuotto ei riitä vastaamaan kulutusta. Normaalitylanteissa käytössä on vain pumppu 1. (Järvinen 2011.)

Pumppujen painepuolen sulkuventtiilien lisäksi Kontulan paineenkorotusasemalla on kolmas sähkökäyttöinen venttiili. Tämä venttiili erottaa ylä- ja alapainepiirit toisistaan ja sen avulla yläpainepiiristä pystytään juoksuttamaan vettä tarvittaessa alapainepiiriin ja toisin päin. Venttiiliä käytetään vain poikkeustilanteissa. Pumppujen 1 ja 2 käyttö on estetty, mikäli kyseinen venttiili ei ole täysin kiinni. Kaikkia kolmea venttiiliä ohjataan auki/kiinni-komennoilla. Komennon vaikutuksesta sähkötoiminen venttiili avautuu tai sulkeutuu ennalta asetetun ajan verran. (Järvinen 2011.)

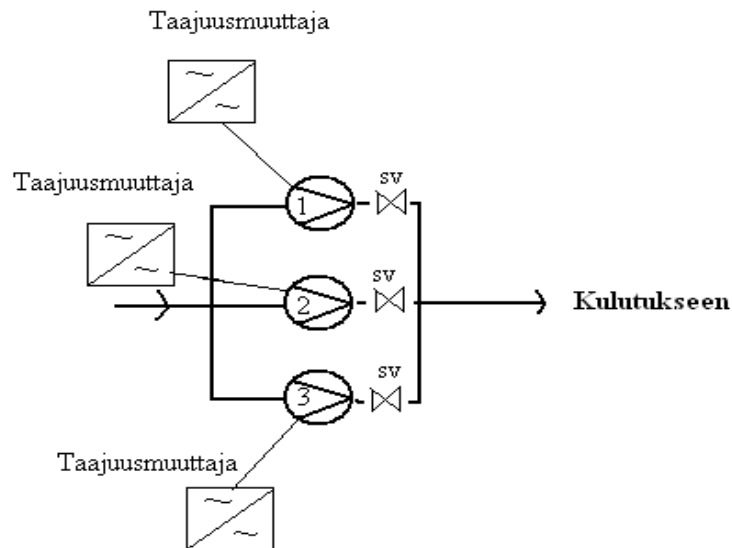
Vaikka Myllypuro ja Kontula ovat samassa piirissä, eroavat niiden ohjaukset toisistaan, sillä Kontulan paineenkorotusasema pumppaa kauempana tornista kuin Myllypuron asema, minkä vuoksi veden kulku ja paine ovat käytössä erilaiset. Myllypurossa on kaksi Ahlströmin valmistamaa pumppua rinnan, joista pumppua 2 ohjataan taajuusmuuttajan avulla. Pienempi pumppu 1 on suorakäyttöinen. Myllypuron pumppuja ohjataan ylävesisäiliön pinnan korkeuden mukaan joko automaattisesti tai manuaalisesti. Myös Myllypurossa on käytössä vain suurempi taajuusmuuttajalla varustettu pumppu. Pienempää pumppua käytetään vain poikkeustapauksissa. Taulukossa 3 on esitetty Kontulan ja Myllypuron pumppujen valmistajan ilmoittamia nimellisarvoja. (Järvinen 2011.)

**Taulukko 3. Kontulan ja Myllypuron pumppujen ominaisarvoja.** (Järvinen 2011.)

	Teho [kW]	Jännite [V]	Virta [A]	Tuotto [m <sup>3</sup> /h]	Nostokorkeus [m]
<b>KONTULA</b>					
Pumppu 1	132			720	38
Pumppu 2	30			288	20
<b>MYLLYPURO</b>					
Pumppu 1	30	400	58	331	19
Pumppu 2	66	400	124	781	19

#### 4.4.3 Mäkelänkadun ja Itä-Pasilan paineenkorotusasemat

Mäkelänkadun ja Itä-Pasilan pumput sekä niiden ajotavat ovat identtisiä. Näiden paineenkorotusasemien käyttöä vuorotellaan, jotta pumppujen käyttötunnit olisivat tasaisia. Molemmilla paineenkorotusasemilla on kolme Grundfosin keskipakopumppua rinnan, joita säädetään taajuusmuuttajien avulla. Kaikkia pumppuja ohjataan automaattilla ja pumppuja on käytössä paineohjeen ylläpitämiseksi tarvittava määrä. Taajuusmuuttaja säättää pumpun pyörimisnopeutta, jotta paine pysyy tasaisena. Keskimäärin pumppuja on käynnissä kaksi yhtäaikaisesti, vain yöllä yhden pumpun tuottama paine riittää vastaamaan kulutusta. Myös viimeinen pumppu sammuisi yöllä, jos paine verkostossa olisi riittävä. Tällaisia tilanteita kuitenkin harvemmin on. Kuvassa 17 on esitetty näiden paineenkorotusasemien pumppauspiiriä havainnollistava kuva. Pumppujen valmistajan ilmoittamat nimellisarvot ovat seuraavat: tuotto  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , nostokorkeus  $32 \text{ m}$ , teho  $15 \text{ kW}$ , moottorin käyttämä jännite  $400 \text{ V}$  ja virta  $35 \text{ A}$ . Alueen vedenkulutus on noin  $18\text{-}108 \text{ m}^3/\text{h}$ . (Järvinen 2011.)



Kuva 17. Mäkelänkadun ja Itä-Pasilan paineenkorotusasemien pumppauspiirit. (Järvinen 2011.)

## 5 TULOKSET JA NIIDEN ANALYSOINTI

Tarkastelun kohteena oli yhteensä kahdeksan pumppaamo: UPM Kaukaan makro- ja mikroveden pumppaus, Stora Enso Kaukopään jäteveden pumppaus, Lappeenrannan Energian teko-pohjaveden pumppaus sekä neljä HSY:n paineenkorotusasemaa. Kaukaan mikrovesipumppuihin ei kuitenkaan syvällisemmin paneuduttu, sillä makrovesipuolella energiansäästömahdollisuudet ovat merkittävämmät. Pumppaamoihin liittyvää tietoa oli saatavilla vaihtelevasti. Joistakin pumppaamoista tärkeää tietoa jäi saamatta, mikä vaikuttaa energiansäästötarkastelun tuloksiin. Osalle yhtiöistä ja yhdyskuntapalvelujen tuottajista energiansäästöasiat olivat ajankohtaisempia kuin toisille, mikä näkyi myös heiltä saadun tiedon määrässä ja laadussa. Toinen tiedonsaantiin oleellisesti vaikuttava tekijä oli edellä mainittujen toimijoiden resurssien puute. Yhteyshenkilöt hoitivat tiedonkeruun muiden töidensä ohella, eivätkä he välttämättä pystyneet paneutumaan siihen toivotulla tavalla. Lisäksi tulee huomioida, että paperilla oleva tieto esimerkiksi pumppujen ajomalleista, ei välttämättä aina täsmää käytännön toimien kanssa.

Kaikki yhtiöt ja yhdyskuntapalvelun tuottajat, joiden pumppaamoja tämä työ koski, olivat kiinnostuneita energiatehokkuusasioista. Osa näistä toimijoista oli jo huomionnut energia-asiat taajuusmuuttajakäyttöjen sekä energiatehokkuusohjelmiensa myötä. Lappeenrannan kaupunki on mukana Motivan energiansäästöohjelmassa, ja sitä myöten energiatehokkuusasioista on keskusteltu myös Lappeenrannan Energian ja Huhtiniemen vedenottamon henkilöstön kanssa. HSY on solminut TEM:in energiatehokkuussopimuksen, ja HSY onkin aloittanut suunnitelmat pumppu- ja moottorikannan uusimisesta. HSY:n vesilaitosten korkeapainepumppausta ollaan uusimassa, joka käytännössä tarkoittaa pumppujen ja moottoreiden uusimista ja taajuusmuuttajaohjauksen käyttöönottoa. Lisäksi ainakin Myllypuron paineenkorotusasemalle on jo mitoitettu uusi pumppu.

Suurimmat kartoitetut pumput olivat teollisuuden piirissä ja pienimpiä olivat paineenkorotusasemien pumput sekä Huhtiniemen uoppumput. Energiatehokkuustarkastelussa painopiste kannattaa keskittää yksittäisiä pumppaamoja ajatellen ensisijaisesti teollisuuden piiriin. Teollisuus onkin Suomessa suurin veden ja energian käyttäjä. Myös yhdyskuntapalveluiden puolelta on toki löydettävissä energiansäästöpotentiaalia. Mikäli huomioidaan esimerkiksi koko kaupungin vedenjakeluverkosto, on energiansäästöpotentiaali kokonaisuudessaan merkittävä. Energiatehokkuuteen yhdyskuntapalveluiden puolella kannattaa kiinnittää huomiota erityisesti

pumppujen uusimisen yhteydessä. Tässä tarkastelussa jäteveden pumppaamo oli teollisuusyhtiön pumppaamo, mutta saatuja havaintoja voidaan soveltaa joissakin määrin myös kunnallisiin jätevedenpuhdistamoihin.

Kaikki kartoitetut pumppaamot toimivat vuorokauden ympäri, minkä vuoksi pumppujen energiatehokkaalla käytöllä voidaan päästä huomattaviin kustannussäästöihin. Liitteen 4 taulukossa on esitetty kunkin pumppaamon pumppaustehtävä, pumppauspiirin ohjausperuste, pumppauspiirin nostokorkeus sekä keskimääräinen tilavuusvirta. Pumppujen osalta taulukosta ilmenee pumpun valmistaja, malli, ohjaustapa, teho, tuotto sekä nostokorkeus. Tiedot on taulukoita siinä määrin kuin tietoa oli saatavilla. Kaikki taulukoidut pumput ovat keskipakopumppuja, joista UPM:n pumput sekä Lappeenrannan Energian pumput 5 ja 6 ovat uppopumppuja.

Tarkasteluun saatiin pumppaustehtäväesimerkeiksi avoimen piirin pumppauksia, joita ohjataan säiliön pinnankorkeuden tai verkoston paineen mukaan. Osa pumpuista toimii suoraikäytöllä ja osaa ohjataan taajuusmuuttajien avulla. Joidenkin pumppaamoiden pumput ovat keskenään hyvinkin erikokoisia. Erikokoisten pumppujen avulla pystytään vastaamaan pumppaustarpeen vaihteluihin ilman, että tarvitsee pyörittää kahta isoa pumppua yhtä aikaa. Esimerkiksi Huhtiniemessä käytetään vuorokauden ympäri yleensä pumppuja 2 (110 kW) ja 4 (37 kW) sen sijaan, että käytettäisiin pumppuja 1 (115 kW) ja 2 (110 kW). Tällä tavoin vältetään turhalta energiankulutukselta. Pumppaamoiden valvonta ja ohjaus toteutetaan kaikissa tapauksissa kaukokäyttöisesti automaatio-ohjelman avulla. Useimmiten pumput ovat automaattiohjauksella, jolloin niiden toimintaa ohjaa järjestelmän määräävä tekijä: paine tai pinnankorkeus.

Korkeuserot asettivat pumpuille omat vaatimuksensa, mutta toisaalta korkeuseroista saadaan myös hyötyä. Kaukaalla raakavesi pumpataan ylös raakavesisäiliöön, jolloin vesi valuu suodatimien kautta makro- ja mikrovesialtaisiin ylikaatoperiaatteella. Tällöin vältetään turhalta pumppaukselta. Toisaalta makrovesialtaan ja sellutehtaan korkeimman käyttökohteen korkeusero on noin 40 metriä, joka asettaa makrovesipumpuille melko suuren staattisen nostokorkeusvaatimuksen. Stora Enson jätevedenpuhdistamolla tulopumppaamo pumppaa veden noin 12 metriä ylemmäs, jonka jälkeen vesi kulkee pääosin kanaaleja pitkin painovoiman vaikutuksesta prosessin vaiheesta toiseen. Tällä tavoin melko pienen staattisen nostokorkeuden avulla on välttytty monelta ylimääräiseltä pumppaustehtävältä. Tähän vaikuttaa puhdistamon hyvä suunnittelu ja altaiden sijainti. Vaikka Huhtiniemen vedenottamo pumppaa vettä ylävesisäiliöön ja

pumpuilta vaaditaan suurta nostokorkeusarvoa, vältetään tällä tavoin vedenjakeluverkoston muissa vaiheissa ylimääräiseltä pumppaukselta. Myös Myllypuron ja Kontulan pumppaamot pumppaavat veden ylävesisäiliöön, mutta näissä tapauksissa pumpuilta vaadittu staattinen nostokorkeus jää kuitenkin verrattain pieneksi, koska kyseessä ovat paineenkorotusasemat. Ilman Myllypuron ja Kontulan paineenkorotusasemiakin tulopaine riittäisi täyttämään ylävesisäiliön noin puoleen väliin asti.

Energiatehokkuuden kannalta olisi suotuisaa ensin pyrkiä minimoimaan käynnissä olevien pumppujen lukumäärä ja sen jälkeen pyörittää tarvittavaa määrää pumppuja mahdollisimman energiatehokkaasti. Pumppujen tuottoarvoja säädettyä yleensä energiatehokkain tapa on muuttaa pumppujen pyörimisnopeutta taajuusmuuttajien avulla. Nykyisin suorakäytöllä olevat pumput olisi siis järkevä varustaa taajuusmuuttajilla, ainakin osa niistä. Tilanteen mukaan pumppuja tulisi ohjata joko manuaalisesti tai automaattisesti. Manuaaliohjauksella pystytään toimimaan mahdollisimman lähellä pumppaussysteemin parhaan hyötysuhteen aluetta huomioiden prosessin tarpeet. Myös automaattiohjauksella päästään energiatehokkuudessa yhtä hyvin tuloksiin, jos ohjaus on sovitettu palvelemaan mahdollisimman hyvin prosessia ja pumppujen ominaisuuksia. Tulee kuitenkin huomioida, että parhaan hyötysuhteen alue on aina prosessikohtainen eikä sitä nähdä suoraan valmistajan ilmoittamasta mitoituspisteestä.

Mikäli pumppaamossa on hyvin vanhoja pumppuja, pumppujen uusiminen voi olla järkevin lähestymistapa energiatehokkuutta ajatellen. Vanhat pumput ja moottorit eivät ole energiatehokkaita ja tuhlaavat näin ollen turhaa energiaa. Uusien pumppujen hankinnassa tulee huomioida tarkasti pumppujen oikea mitoitus. Pumpun tulisi palvella mahdollisimman hyvin prosessia ja toimia samanaikaisesti mahdollisimman energiatehokkaasti. Tämä tarkoittaa oikeastaan sitä, että pumppu tulisi mitoittaa niin, että systeemin toimintapiste olisi mahdollisimman lähellä pumpun valmistajan ilmoittamaa toimintapistettä (kuva 4). Virtausmäärän pysyvyyskäyrän avulla nähdään helposti kuinka paljon mitäkin virtausmäärää esiintyy pumppausjärjestelmässä. Myös tiedot normaalisti, yleisimmin, esiintyvistä virtausmäärästä sekä virtausmäärän vaihteluvälistä ovat riittäviä, mikäli virtauksissa ei esiinny merkittäviä vaihteluita. Näiden tietojen perusteella uudet pumput tulisi valita niin, että ne toimivat parhaan hyötysuhteen alueella mahdollisimman usein. Virtaustietoja tarvitaan pumppujen mitoituksen ja suunnittelun lisäksi myös pumppujen energiatehokkaan ohjauksen suunnitteluun. Pumppaamoiden tarkempien energian-

säästöpotentiaalien ja niistä saatujen taloudellisten hyötyjen tutkiminen vaatisi pumppujen ominaiskäyrät sekä lisää tietoa pumppujen energiankulutuksesta.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Energiansäästöasioista ollaan nykyään yhä kiinnostuneempia energiantuotannon ympäristövaikutusten sekä nousevien energiakustannusten takia. Tutkittujen pumppaamoiden energiatehokkuuden parantamisen myötä yritykset ja yhdyskuntapalvelun tuottajat pystyisivät ainakin säästämään pumppauskustannuksissa. Energiatehokkuusasioilla on myös suuri imagollinen vaikutus yrityksiin. Yritykset haluavat näyttää vastuullisilta toimijoilta, jotka huolehtivat ympäristöasioista. Energiantuotannon ympäristövaikutuksiin pystytään vaikuttamaan todellisuudessa vasta siinä vaiheessa kun energiaa säästetään laajemmassa mittakaavassa, esimerkiksi Suomen laajuisesti. Juuri teollisuus onkin avain asemassa vähennettäessä energiankulutusta ja sitä kautta muun muassa energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöjä.

Vaikka pumppauskustannuksissa pystyttäisiin yhdyskuntapuolella säästämään talousveden tai jäteveden pumppauksessa, ei sillä todennäköisesti pystytä vaikuttamaan kuluttajien vesimaksuihin alentavasti. Energiatehokkuusratkaisujen avulla pystytään kuitenkin vastaamaan nouseviin energiakustannuksiin ja tällä tavoin hillitsemään vesimaksujen nostopaineita. Vesihuollon piirissä suurin pääoma on sitoutunut vesijohtoverkoston. Sitoutuneen pääoman lisäksi tarvitaan jatkuvasti lisää rahaa laitteiden ja putkilinjojen uusimiseen. Verkoston kunnostus on välttämätöntä vesihuollon toimivuuden takaamiseksi. Eniten vesimaksuihin pystyy kuluttaja itse vaikuttamaan kuluttamalla vähemmän vettä sekä päästämällä jäteveden mukana mahdollisimman vähän vesistöihin kuulumattomia aineita. Tämä koskee niin yksityisiä talouksia kuin teollisuuslaitoksia. Energiatehokkuusparannuksilla saavutetut säästöt auttavat vesihuollon ylläpitäjän taloudellista tilannetta kuitenkin siinä määrin, että sen maksukyky voi pidemmällä aikavälillä parantua ja velkaantumisaste pienentyä. Energiatehokkuusparannuksissa tulee aina huomioida investointikustannukset, vuotuiset säästöt sekä investoinnin takaisinmaksuaika.

Energiatehokkuuden parantamista ajatellen jatkotutkimuksille parhaita kohteita kartoitetuista pumppaamoista ovat Huhtiniemen tekopohjaveden pumppaus sekä Kaukaan makroveden pumppaus. Huhtiniemessä pumppujen energiatarkastelusta oltiin hyvin kiinnostuneita. Lisäksi



siellä olevat pumpput ovat suorakäyttöisiä ja sen verran vanhoja, että lähiaikoina niiden uusiminen voi tulla ajankohtaiseksi. Kaukaan makrovedenpumppauksessa on suuri potentiaali säästää energiaa sen suuren pumppauskapasiteetin ja suuren tehontarpeen takia. Myös mikroveden pumppaus voisi olla hyvä tarkastelun kohde: molemmat pumpuista ovat kohtalaisen suuria (185 kW) ja ne toimivat suorakäytöllä. Kaukaan makrovesipumppauksen energiatehokkuustarkastelu ja suunnittelu on jo aloitettu Lappeenrannan teknillisen yliopiston henkilökunnan toimesta. Stora Enson jäteveden tulopumppaamossa energiatehokkuusasiat ovat jo melko hyvällä mallilla: käytössä on kaksi taajuusmuuttajaohjattua ja kaksi suorakäyttöistä pumppua. Yleisesti ottaen suurten jätevedenpuhdistamoiden pumpput ovat suuria energiankuluttajia. Kunnallisen jätevedenpuhdistuksen puolella suurimmat pumpput tosin voivat olla ruuvipumppuja keskipakopumppujen sijaan. Mikäli jätevedenpuhdistus toteutetaan biologisin menetelmin ja käytössä on suuret kompressorit ilmastusallasta varten, kuten Stora Enson tapauksessa, laitoksen suurimmat energiakustannukset aiheutuvat kompressorien käytöstä. Tällöin järkevintä on pyrkiä optimoimaan ensin ilmastuksen määrä ja tehokkuus, ja sen jälkeen tarkastella pumppujen energiatehokkuutta. Myös HSY:ltä löytyy varmasti paljon pumppaamoita, joista energiansäästöpotentiaalia olisi löydettävissä. HSY on kuitenkin jo mitä ilmeisimmin aloittanut energiatehokkuustarkastelut useiden pumppaamoiden osalta. HSY:n voidaankin olettaa hoitavan energiatehokkuusasiansa hyvin, mikäli uskomme heidän Internet-sivujaan. Siellä HSY kertoo tuottavan palvelunsa kustannustehokkaasti ja ympäristöystävällisesti.

Pumppausjärjestelmien energiatarkastelussa tulee huomioida useita eri tekijöitä. Pumpput ja koko pumppausverkosto tulee olla suunniteltu mahdollisimman optimaalisesti. Liian suuret varomarginaalit mitoituksessa aiheuttavat jatkossa ylimääräisiä pumppauskustannuksia. Ikään-tyneet pumpput ja moottorit kuluttavat turhaa energiaa, jolloin uuden pumpun ja moottorin hankinta voi olla järkevin vaihtoehto energiatehokkuusratkaisuja tehtäessä. Uusia pumppuja mitoitettaessa tulee tarkoin selvittää muun muassa verkoston häviöt, tarvittava nostokorkeus ja tarvittava virtausmäärä. Pumppujen energiatehokkuusasioissa tulee huomioida myös huoltojen merkitys. Hyvin huollettujen pumppujen käyttövarmuus on parempi ja ne aiheuttavat vähemmän häviöitä. Tämä seikka on melko pieni energiatehokkuutta ajatellen, mutta tärkeä etenkin jatkuvissa pumppaustehtävissä, joissa pumppujen toimintahäiriöt haittaavat prosessin muita vaiheita.

Kaikki kartoitetut pumppaustehtävät olivat avoimen piirin pumppauksia, joissa pumppuina käytettiin keskipakopumppuja. Tämä tukee luvun kolme mainintaa, jossa kerrottiin yhdyskunnan ja teollisuuden suurten pumppaustehtävien olevan avoimen piirin pumppauksia. Lisäksi luvussa yksi mainittiin keskipakopumppujen olevan yleisin nesteiden siirtoon käytetty pumpputyyppi. Pumppaustehtävistä saatiin teorian tueksi hyviä esimerkkejä: jatkuva pumppaus ja painekontrolloitu pumppaus. Kuten teoria osuudessakin mainittiin, kartoitetut pumppaustehtävät eivät olleet yksiselitteisesti juuri tietyn kategorian pumppauksia vaan sisälsivät eri pumppaustehtävien piirteitä. Vaikka tämä työ keskittyi suuriin pumppaamoihin ja tukee ajatusta, että suurissa pumppaamoissa on suuri energiansäästöpotentiaali, myös pienten pumppujen yhteenlaskettu energiansäästöpotentiaali on huomattava. Tämä tulee myös huomioida kun isot teollisuuslaitokset kiinnittävät huomiota energiatehokkuusasioihin.

## **6.1 Pumppaamoiden energiatehokkuusparannusskenaarioita**

Tässä luvussa on pohdittu kartoitettujen pumppaamoiden energiatehokkuusparannusmahdollisuuksia. Skenaariot on tehty saatujen tulosten perusteella. Tulee huomioida, että skenaarioissa käytetyt pumppujen tuottoarvot ovat, UPM:n makrovesipumppausta lukuun ottamatta, valmistajan ilmoittamia nimellisarvoja, eikä järjestelmän todellisia tuottoja. Todellisten energiasäästöjen tutkimiseksi tarvittaisiin lisää tietoa pumppujen energiankulutuksesta ja todellisista tuotoista.

### **6.1.1 UPM**

Kaukaan makroveden pumppauksessa suurimman osan ajasta on käytössä viisi tai kuusi pumppua. Energiansäästömahdollisuuksia ajatellen eräs vaihtoehto voisi olla pumppujen tuoton kasvattaminen suurempien juoksupyörien avulla. Suuremman tuoton avulla pyrittäisiin siihen, että käynnissä tarvitsisi olla kerralla vähemmän pumppuja. Tämä vaihtoehto on kuitenkin jo aikaisemmin Sulzerin toimesta tutkittu eikä suunnitelmaa toteutettu.

Makrovesipumppujen ohjausventtiilien kuristussäädön vaikutuksesta pumppauksessa hukataan turhaa energiaa. Taajuusmuuttajien avulla pumppujen kierroslukua voitaisiin säätää niin, että pumput toimisivat parhaan hyötysuhteen alueella. Näin saataisiin eliminoitua energiahukka,

joka aiheutuu pumppujen pyörimisestä täysillä sekä kuristussäädöstä. Makroveden kulutuksen mukaan osa pumpuista voisi olla manuaaliohjauksella, ja ne säädettäisiin toimimaan parhaan hyötysuhteen alueella. Loput pumpuista olisi automaattiohjauksella ja jäisivät näin säätäviksi. Automaatilla olevat pumput tasaavat kulutuksen vaihteluiden muutoksia. Ainakin suuren vedenkulutuksen aikana pumput 4 ja 5 voisi olla järkevää pitää manuaaliohjauksella, sillä näiden pumppujen tehot ja tuottoarvot ovat suurimmat. Tällä tavoin pyrittäisiin minimoimaan hukkaenergian määrää ja pitämään mahdollisimman vähän pumppuja yhtäaikaaisesti käynnissä. Koska makroveden pumppauksessa käytetään yhtäaikaisesti montaa suuritehoista pumppua, ovat energiansäästömahdollisuudet huomattavat. Arvion mukaan makroveden pumppauksessa olisi saavutettavissa kymmenien tuhansien eurojen säästöt vuodessa taajuusmuuttajien käyttöönoton ja ohjauksen energiatehokkaan suunnittelun myötä. Mikäli kaikkia viittä pumppua ei haluta investointikustannusten takia varustaa taajuusmuuttajilla, olisi järkevintä ottaa taajuusmuuttaja ohjaus käyttöön suurimmissa pumpuissa 4 ja 5.

Koska pumput on valmistettu noin 60-luvun paikkeilla, voi olla järkevintä lähestyä energiatehokkuutta uusien pumppujen mitoituksen kautta. Samalla pumput, tai osa niistä, varustettaisiin taajuusmuuttajilla. Pumppujen uusimisessa kannattaa edetä niin, että viimeisenä uusitaan ne pumput, jotka osoittautuvat jatkotutkimusten myötä energiatehokkaimmiksi.

### **6.1.2 Stora Enso**

Biologisen jäteveden pumpuista kaksi on jo varustettu taajuusmuuttajalla. Pumppaustarpeen kattamiseksi käytössä tarvitaan 1-2 pumppua. Mikäli jätevedenpumppaustarve on sen verran alhainen ( $< 3\,600\text{ m}^3/\text{h}$ ), että yhden pumpun tuotto riittää sen kattamaan, ajettaisiin vain yhdellä pumpulla. Tällöin pumput 1 ja 2 olisivat automaattiajolla. Toinen pumpuista vastaisi pumppaustarpeesta ja toinen pumppaustarpeen muutoksista. Mikäli pumppaustarve on suurempi ( $3\,600\text{--}5\,400\text{ m}^3/\text{h}$ ), niin säädettäisiin toinen pumpuista manuaalisesti toimimaan parhaan hyötysuhteen alueella, jolloin toinen pumpuista jäisi säätäväksi automaattiohjauksella. Maksimi pumppausmäärä on noin  $5\,400\text{ m}^3/\text{h}$ , sillä jakokaivo ei pysty käsittelemään suurempaa määrää kerralla. Pumput 3 ja 4 ovat varalla, ja niitä käytetään vain erikoistilanteissa.

Mikäli todellinen maksimi pumppaus on luokkaa  $5\,400\text{ m}^3$  ja pumppujen tuottoarvot pitävät paikkansa, voisi olla mahdollista pienentää pumpun 1 tai 2 juoksupyörän halkaisijaa. Juoksupyörää pienentämällä pumpun paineen tuotto alenisi ja pumppu kuluttaisi vähemmän energiaa. Tämän skenaarion tutkiminen vaatii kuitenkin tietoa pumppujen todellisista tuotoista ja nostokorkeusarvoista.

### 6.1.3 Lappeenrannan Energia

Huhtiniemessä on kuusi pumppua, joilla puhdistettua tekopohjavettä voidaan pumpata kuluttajille. Pumput 5 ja 6 ovat sen verran pieniä (22kW), että suurta energiansäästöä ei todennäköisesti saavutettaisi taajuusmuuttajakäytön avulla. Pumput on uusittu, ja voidaan olettaa, että uusimisen yhteydessä pumput on mitoitettu oikein palvellakseen mahdollisimman hyvin vedenjakeluprosessia. Lisäksi pumppuja ei käytetä normaalisti yö aikaan laisinkaan.

Pumput 1-4 on valmistettu 50-60 luvulla. Vanhat pumput ja moottorit eivät ole energiatehokkaita ja kuluttavat turhaa energiaa. Aivan aluksi tulisikin selvittää pumppujen 1-4 kunto sekä arvioida, kuinka monta vuotta pumput pystyvät vielä takaamaan vedenjakeluverkoston toimivuuden. Pumppu kolme on jo tällä hetkellä pois käytöstä sen aiheuttaman tärinän takia ja pumppu 1 on pinnoitettu uudestaan sen pesän ollessa halki. Tämänkin takia pumppauskaluston uusiminen voisi olla ajankohtaista lähivuosina. Mikäli pumput uusitaan kokonaan, tulee erityistä huomiota kiinnittää pumppujen ja moottoreiden mitoitukseen. Uusimisen yhteydessä pumput olisi järkevää varustaa taajuusmuuttajilla.

Pumppujen 1-4 avulla hoidetaan tällä hetkellä suurimmalta osin veden pumppaus verkostoon. Kaikki pumput ovat suorakäyttöisiä, minkä takia energiatehokkuusnäkökulmasta katsoen taajuusmuuttajat olisivat varteenotettava vaihtoehto toteuttaa pumppujen ohjaus. Kolme pumppua voisi olla taajuusmuuttajaohjattuja, jolloin neljäs pumppu toimisi varapumppuna suorakäytöllä. Varapumppuna voisi toimia, jokin isoimmista pumpuista 1-3, joka riittäisi takaamaan esimerkiksi rikki menneen pumpun tuoton. Keskimääräisen kulutuksen vallitessa ( $\sim 390\text{ m}^3/\text{h}$ ) ajettaisiin yhdellä suuremmalla pumpulla (pumput 1-3), joka säädettäisiin manuaalisesti toimimaan parhaalla hyötysuhdealueella, sekä pienemmällä pumpulla 4, jonka ohjaus toteutettaisiin automaattisesti ja se jäisi näin ollen säätäväksi. Myös pienempi pumppu olisi taajuusmuuttajaohjattu. Suuremman kulutuksen aikana ( $\sim 490\text{ m}^3/\text{h}$ , liite 3) käytössä olisi kaksi isoa pumppua, joista

toinen olisi säätävä ja toinen pyörisi parhaalla hyötysuhdealueella. Mikäli investointi kustannuksissa halutaan säästää, voisi vain kaksi pumppua olla taajuusmuuttajaohjattua. Taajuusmuuttajaohjattuja pumppuja voisivat olla esimerkiksi pumput 2 ja 4, jotka hoitavat vedenjakelun suurimmilta osin tällä hetkellä.

#### **6.1.4 HSY**

HSY:n paineenkorotusasemia oli tarkasteltavana neljä. Toisaalta näistä neljästä vain kaksi on normaalista käytössä yhtäaikaisesti. Myllypuron ja Kontulan paineenkorotusasemilla on molemmilla kaksi pumppua, joista vain toista tarvitaan. Käytössä olevat suuremmat pumput ovat taajuusmuuttajaohjattuja. Normaalitilanteessa käytetään aina Myllypuron paineenkorotusasemaa ja Kontulan asemaa käytetään vain tarvittaessa. Myllypurossa käytössä oleva pumppu on verrattain pieni ja sitä jo ohjataan taajuusmuuttajalla, joten suuria energiansäästöratkaisuja ei ole tässä pumppaustehtävässä nähtävissä. Lisäksi Myllypuroon on jo mitoitettu uusi pumppu. Energiatohokkuuden kannalta voisi lähinnä ajatella pumpun ajamista mahdollisuuksien mukaan manuaaliohjauksella ja parhaan hyötysuhteen alueella.

Itä-Pasilan ja Mäkelänkadun paineenkorotusasemien käyttöä vuorotellaan pumppujen käyttötuntien tasaamiseksi. Molemmilla asemilla on kolme samankokoista pumppua, jotka on varustettu taajuusmuuttajilla. Pumppuja ajetaan automaattilla. Normaalisti kolmesta pumpusta kaksi on käytössä päiväsaikaan ja öisin yksi. Päiväsaikaan yksi pumppu voisi olla manuaaliohjauksella ja toimia parhaan hyötysuhteen alueella. Kaksi muuta pumppua voisivat toimia säätävinä automaattiohjauksella. Mikäli kulutus on jostakin syystä erityisen suurta, voisi kaksi pumppua olla manuaaliohjauksella, jolloin yksi pumppu jäisi automaattiohjaukselle. Yö aikaan kun tarvitaan vain yksi pumppu, voisivat kaikki pumput olla automaattiohjauksella. Toisaalta, jos kokemuksen perusteella voidaan ajaa yhtä pumppua manuaaliohjauksella mahdollisimman lähellä parhaan hyötysuhteen aluetta, voisi se olla energiatohokkaampi ratkaisu.

Pasilan paineenkorotusasemille voitaisiin myös ajatella mitoitettavan uudet pumput. Tämän skenaarion toteuttaminen tulisi kysymykseen lähinnä pumppujen uusimistarpeen ilmetessä, sillä pumput ovat pieniä eikä suuria säästöjä saataisi aikaan ja takaisinmaksuaika olisi pitkä. Pumppaus voitaisiin kolmen pumpun sijaan toteuttaa kahdella pumpulla. Yleisimmin esiintyvän kulutuksen mukaan, yksi hieman isompi pumppu mitoitettaisiin niin, että se pystyisi ta-

kaamaan riittävän paineen ja pyörimään tuolloin parhaan hyötysuhteen alueella. Toinen pumppuista voisi olla pienempi ja vastaisi kulutuksen muutoksista. Vaikka pumppuihin tulisi toimintahäiriöitä, olisi toinen paineenkorotusasema aina toimintavalmiudessa. Tällaiset skenaariot vaatisivat kuitenkin enemmän tietoa kulutuksesta ja sen vaihteluista.

## **7 YHTEENVETO**

Tämä kandidaatintyö on osa Lappeenrannan teknillisen yliopiston energiatehokkuustutkimusprojektia. Tämän työn tarkoituksena oli kartoittaa yhdyskunnan ja teollisuuden piiristä pumppaustehtäväesimerkkejä, joissa pumppuina käytetään suuria rinnankytkettyjä keskipakopumppuja. Lisäksi pohdittiin voisiko kartoitetuista pumppaamoista löytyä energiansäästöpotentiaalia jatkotutkimuksia ajatellen.

Pumppaustehtäväesimerkeiksi tähän työhön valittiin teollisuuden parista UPM Kaukaan makroveden pumppaus ja Stora Enso Kaukopään jäteveden pumppaus sekä yhdyskunnan vesihuollon puolelta Lappeenrannan Energian Huhtiniemen tekopohjaveden pumppaus ja HSY:n neljä talousvesiverkoston paineenkorotusasemaa. Suurimmat kartoitetuista pumppaamoista olivat teollisuuden pumppaamot. Energiansäästöpotentiaalia ajatellen suurimmat säästöt voitaisiin saavuttaa makrovedenpumppausjärjestelmässä sen suuren pumppauskapasiteetin ja energiankulutuksen takia. Toinen mielenkiintoinen kohde oli Huhtiniemen vedenottamo. Siellä pumppauskalusto on vanhaa ja pumppuja ohjataan suoraikäytöllä, kuten UPM:n makrovesipumppujakin. Stora Enson jätevesipumppuja ja HSY:n paineenkorotusasemien pumppuja ohjataan jo taajuusmuuttajien avulla, joten näissä kohteissa energiansäästöpotentiaalia ajatellen kannattaisi keskittyä pumppujen ohjauksen ja mitoituksen optimoimiseen.

Energiansäästöratkaisujen avulla teollisuuslaitosten ja yhdyskuntapalvelun tuottajien on mahdollista säästää pumppauskustannuksissa. Lisäksi energiatehokkuusratkaisujen myötä voidaan savuttaa imagollisia etuja. Laajemman mittakaavan energiansäästöjen avulla pystytään myös myötävaikuttamaan energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöjen vähenemiseen.

## LÄHTEET

About us. [Stora Enson www-sivuilla]. [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/about-us/Pages/welcome-to-stora-enso.aspx>

Ahonen, Tero; Kortelainen, Juha; Ahola, Jero; Hammo, Simo & Soukka, Risto. 2011. Generic Unit Process Functions Set for Pumping Systems. Lappeenranta: Lappeenranta University of Technology. Konferenssi.

Aranto Niina. 2010. Pumppauskohteiden energia-auditoinnit. [verkkodokumentti]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, [viitattu 20.11.2011]. Pumppuseminaari 2010. Saatavissa:

[http://www.lut.fi/fi/pumpingday/program/Documents/01\\_Aranto\\_Niina.pdf](http://www.lut.fi/fi/pumpingday/program/Documents/01_Aranto_Niina.pdf)

Asikainen, Jouko. 2012a. Päivämestari jätevedenpuhdistus. Stora Enso. Imatra. Sähköpostin välityksellä toteutettu haastattelu. 6.2.2012.

Asikainen, Jouko. 2012b. Päivämestari jätevedenpuhdistus. Stora Enso. Imatra. Sähköpostin välityksellä toteutettu haastattelu. 14.2.2012. Virtaustiedot.

Hovstadius, Gunnar; Tutterow, Vestal & Bolles, Steve. 2005. Getting it Right, Applying a Systems Approach to Variable Speed Pumping. International Conference on Energy Efficiency in Motors Driven systems (EEMODS). [verkkodokumentti]. Heidelberg, Germany, September 2005.[viitattu22.5.2012].Saatavana:

[http://www.pumpsystemsmatter.org/uploadedFiles/PumpSystemsMatter/Education\\_and\\_Tools/Free\\_Downloads/Systems%20Approach%20to%20Variable%20Speed%20Pumping.pdf](http://www.pumpsystemsmatter.org/uploadedFiles/PumpSystemsMatter/Education_and_Tools/Free_Downloads/Systems%20Approach%20to%20Variable%20Speed%20Pumping.pdf)

Engineers Edge. 2011. Multi-Stage Centrifugal Pump. [yrityksen www-sivut]. [viitattu 20.11.2011]. Saatavissa: [http://www.engineersedge.com/pumps/multi\\_stage\\_pump.htm](http://www.engineersedge.com/pumps/multi_stage_pump.htm)

Järvinen, Antti. 2011. Vedenpuhdistus. HSY. Sähköpostin välityksellä toteutettu haastattelu. 1.12.2011.

Karassik, Igor J & McGuire, Terry. 1998.Centrifugal Pumps. Second Edition. United States of America: Chapman & Hall. 989 s. ISBN 0-412-06391-3.

Karttunen Erkki. 2003. RIL 124-1 Vesihuolto I. Tuhkanen Tuula. Helsinki: Suomen Rakennsinsinöörien Liitto RIL r.y. 314s. ISBN 951-758-431-8.

Karttunen Erkki. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II. Kiuru Heikki, Tuhkanen Tuula. Helsinki: Suomen Rakennsinsinöörien Liitto RIL r.y. 314s. ISBN 951-758-438-5.

Kaukaan Sellutehdas. [UPM:n www-sivuilla]. [viitattu 19.5.2012]. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/UPM/Liiketoiminnot/Sellu/Suomi/Kaukas/Pages/default.aspx>

Koso, Arto. 2012. Sulzer. Sähköpostin välityksellä toteutettu haastattelu. Pumppujen rinnan-käyttökuvaaja. 22.3.2012.

Lappeenrannan Energia –konserni. [Lappeenrannan Energia Oy:n www-sivuilla]. [viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: <http://www.lappeenrannanenergia.fi/index.php?valikko=3>

Larjola Jaakko & Punnonen Pekka. 2008. Pumput, puhaltimet ja kompressorit. [verkko-oppimisympäristö]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [viitattu 20.11.2011]. Luentorunko.

Liiketoiminnot. [UPM:n www-sivuilla]. [viitattu 12.3.2012]. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/UPM/Liiketoiminnot/Pages/default.aspx>

Maunus-Tiihonen, Minna. 2011a. Puun käsittelyn, vesilaitoksen ja jätevesilaitoksen työnjohtaja. UPM. Lappeenranta. Palaveri. 17.11.2011. Toimintakuvaukset ja prosessikuva.

Maunus-Tiihonen, Minna. 2011b. Puun käsittelyn, vesilaitoksen ja jätevesilaitoksen työnjohtaja. UPM. Lappeenranta. Sähköpostin välityksellä suoritettu haastattelu. 20.12.2011. Makro-pumppudata.

Maunus-Tiihonen, Minna. 2011c. Puun käsittelyn, vesilaitoksen ja jätevesilaitoksen työnjohtaja. UPM. Lappeenranta. Sähköpostin välityksellä suoritettu haastattelu. 21.12.2011. Mikro-pumppudata.

Mills. [Stora Enson www-sivuilla]. [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/about-us/mills/finland/imatra-mills/Pages/welcome-to-imatra-mills.aspx>



Products. [Stora Enson www-sivuilla]. [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/products/Pages/expertise-in-paper-packaging-and-wood-products.aspx>

Ryti Henrik. 1976. Koneoppi. 3. muuttumaton painos. Espoo: Otakustantamo. 410 s. Osa 1 Staattiset koneet. ISBN 951-671-141-3 nid.

SFS 4874. 1982. Pumput. Nesteiden siirtoon käytettyjen pumppujen ryhmittely ja toimintaperiaatteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. 10s.

Tietoa HSY:stä. [HSY:n www-sivuilla]. Päivitetty 22.9.2011. [viitattu 18.3.2012]. Saatavissa: <http://www.hsy.fi/tietoahsy/Sivut/default.aspx>

Titanium Tantalum Products Limited. 2011. Corrosion free centrifugal pumps. [yrityksen www-sivut]. [viitattu 13.12.2011]. Saatavissa: <http://www.titanindia.com/pumps.html>

Uutiset. [UPM:n www-sivuilla]. [viitattu 12.3.2012]. Saatavissa: <http://www.upm.com/FI/MEDIA/Uutiset/Pages/UPM-perustaa-biojalostamokehityskeskukseen-Lappeenrantaan-001-to-10-helmi-2011-20-01.aspx>

Vesi. [Lappeenrannan Energia Oy:n www-sivuilla]. [viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: <http://www.lappeenrannanenergia.fi/index.php?valikko=1&sivu=vesi&alasiivu=vedenottamot>

Vesihuolto. [HSY:n www-sivuilla]. Päivitetty 15.12.2011. [viitattu 18.3.2012]. Saatavissa: <http://www.hsy.fi/vesi/vesihuoltoverkostot/Sivut/default.aspx>

Vesterlund, Tommy. 2012. Tuotantomestari: Lappeenrannan Lämpövoima Oy. Lappeenrannan Energia Oy. Lappeenranta. Palaveri. 20.3.2012.

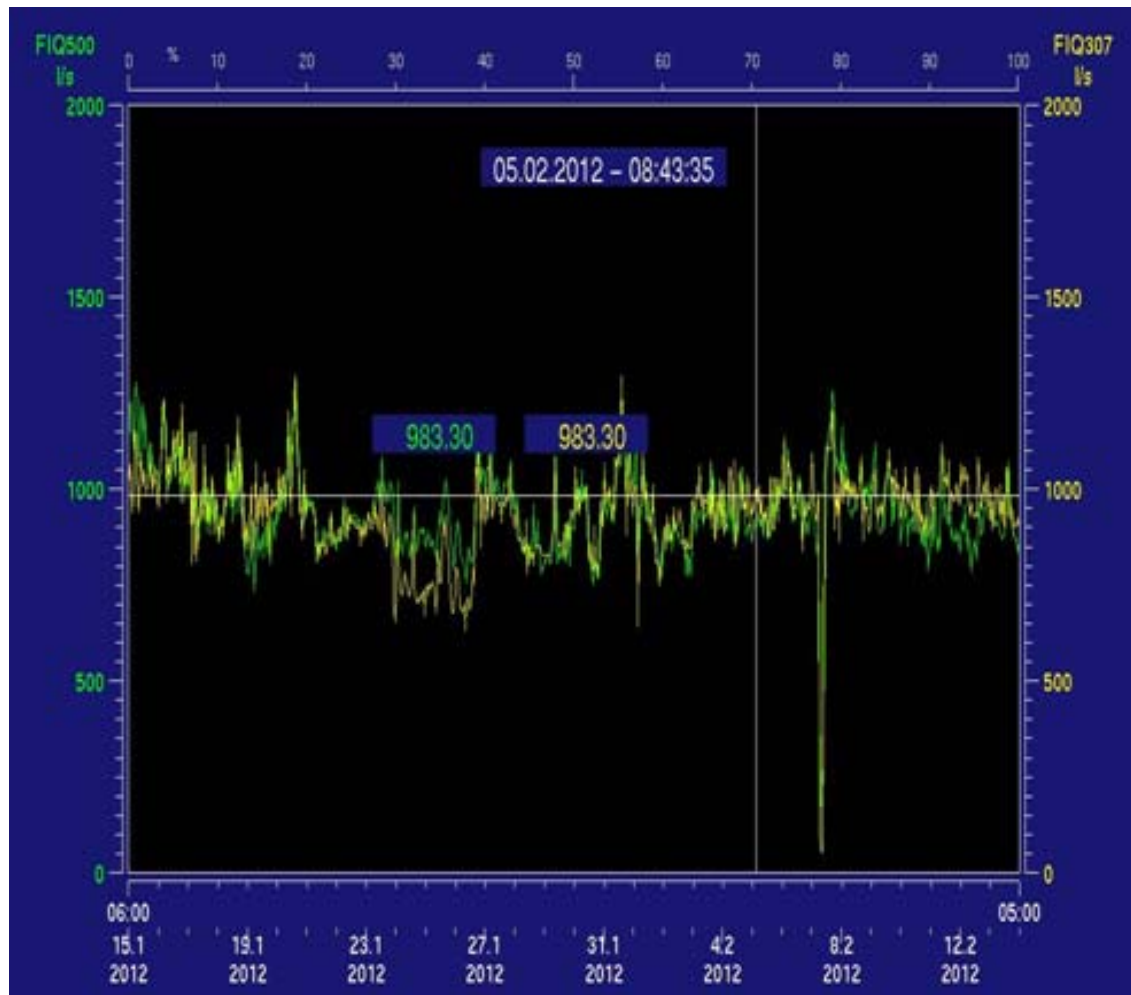
Volk, Michael. 2005. Pump Characteristics and Applications. Second Edition. United States of America: CRC Press Taylor & Francis Group. 533 s. ISBN 0-82472-755-X.

Wirzenius Allan. 1978. Keskipakopumput. 3. uusittu painos. Tampere: Kustannusyhtymä. 323 s.

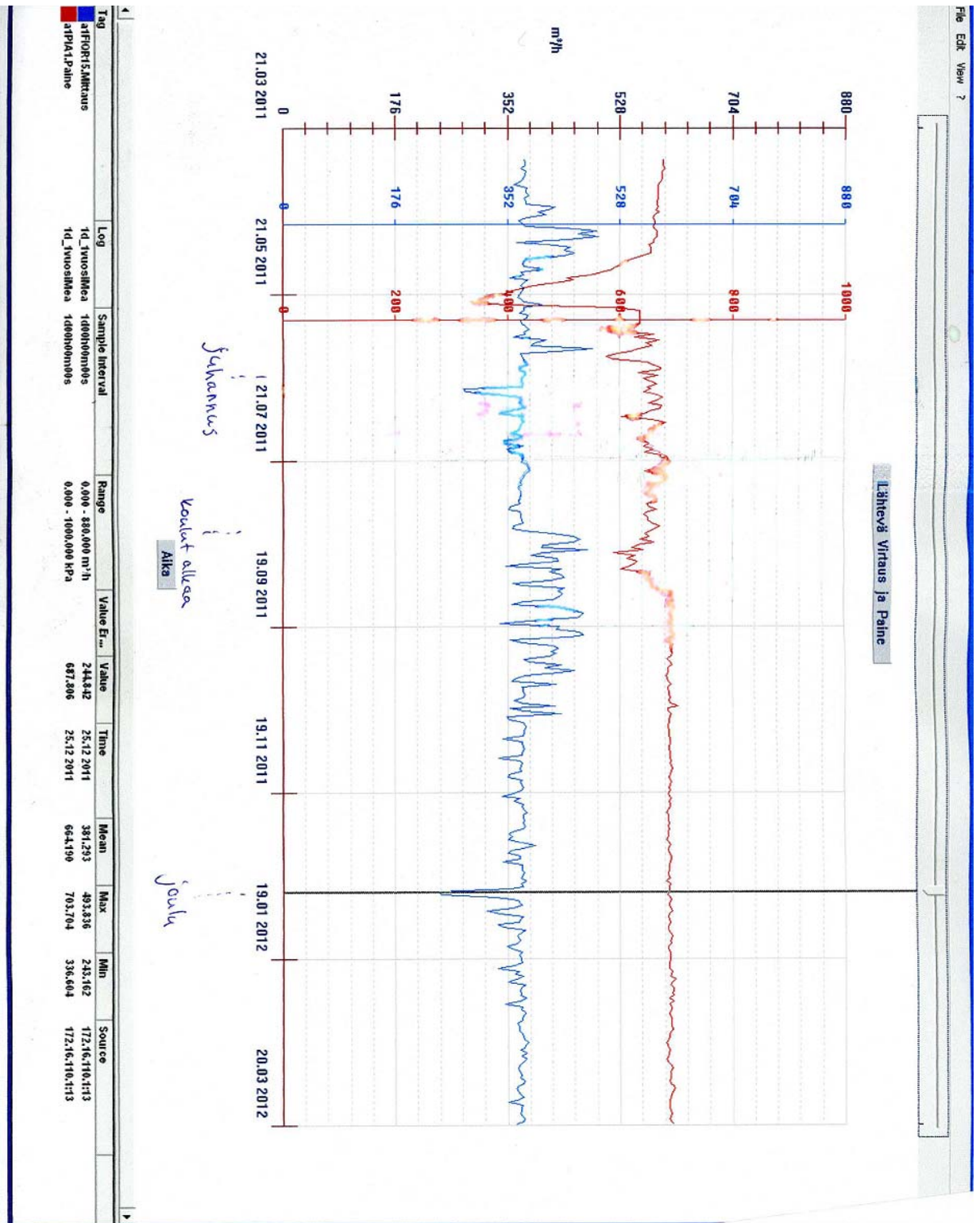
Yle. Maailman ensimmäinen puupohjaisen biodieselin jalostamo Lappeenrantaan. [Ylen www-sivuilla]. Päivitetty 1.2.2012. [viitattu 12.3.2012]. Saatavissa: <http://yle.fi/alueet/etelakarja->

[la/2012/02/maailman\\_ensimmainen\\_puupohjaisen\\_biodieselin\\_jalostamo\\_lappeenrantaan\\_3222843.html](#)

Käynnissä olevat pum- put	Tuntia [h]	Tuotto pum- put[m3/h]	Pumppuja käytössä	Tilavuus [m3]
ei yhtään	55	0	0	0
3	21	2520	1	52920
4	32	3960	1	126720
1,3	56	3960	2	221760
1,2,3	1	5400	3	5400
3,4	79	6480	2	511920
3,5	987	6480	2	6395760
1, 3, 4	5	7920	3	39600
1,3,5	5	7920	3	39600
2,3,4	6	7920	3	47520
4,5	344	7920	2	2724480
1,2,3,5	4	9360	4	37440
1,4,5	12	9360	3	112320
2,4,5	60	9360	3	561600
1, 2, 3, 4	901	9360	4	8433360
3,4,5	569	10440	3	5940360
1,2,4,5	15	10800	4	162000
2,3,4,5	109	11880	4	1294920
1,3,4,5	1458	11880	4	17321040
kaikki	4048	13320	5	53919360
	YHT. 8767	11172 ka.		YHT. 97948080



(Asikainen 2012b.)



(Vesterlund 2012.)

Toimija	Pump- pausteh- tävä	Määräävä tekijä	Nosto- korkeus [m]	Tilavuus- virta [m3/h]	P u m p p u	Valmistaja	Malli	Ohjaus	Teho [kW]	Tuotto [m3/h]	Nosto- korkeus [m]
UPM	Makrovesi	Paine pumppaus- piirissä	40	0-13320 ka 11172	1	Ahlström		Suorakäyttö	355	1440	
					2	Ahlström		Suorakäyttö	350	1440	
					3	Ahlström		Suorakäyttö	480	2520	
					4	Ahlström		Suorakäyttö	700	3960	
					5	Ahlström		Suorakäyttö	700	3960	
	Mikrovesi	Paine pumppaus- piirissä			1	Ahlström		Suorakäyttö	185	1440	
					2	Ahlström		Suorakäyttö	185	1440	
Stora Enso	Jätevesi	Kaivon pinnan korkeus	12	2160- 4680 ka 3347	1			Taajuus- muuttaja	315	3600	
					2			Taajuus- muuttaja	315	3600	
					3			Suorakäyttö	315	3600	
					4			Suorakäyttö	315	3600	
Lappeen- peen- rannan Energia	Tekopoh- ja-vesi	Ylävesisäiliön pin- nan korkeus	65	246-493 ka 390	1	Ahlström		Suorakäyttö	115	270	80
					2	Ahlström		Suorakäyttö	110	270	80
					3	Serlachius		Suorakäyttö	110	270	90
					4	Serlachius		Suorakäyttö	37	72	95

					5	Grundfos	SP77-6	Suorakäyttö	22	77	74
					6	Grundfos	SP77-6	Suorakäyttö	22	77	74
HSY Myllypuro	Talousvesi	Ylävesisäiliön pinnan korkeus			1	Ahlström	APP51-250	Suorakäyttö	30	331	19
					2	Ahlström	APP51-250	Taajuusmuuttaja	66	781	19
HSY Kontula	Talousvesi	Ylävesisäiliön pinnan korkeus			1			Taajuusmuuttaja	132	720	38
					2			Suorakäyttö	30	288	20
HSY Itä-Pasila	Talousvesi	Paine pumppauspiirissä		18-108	1	Grundfos	LP-100-160 42 F 300	Taajuusmuuttaja	15	100	32
					2	Grundfos	LP-100-160 42 F 300	Taajuusmuuttaja	15	100	32
					3	Grundfos	LP-100-160 42 F 300	Taajuusmuuttaja	15	100	32
HSY Mäkelänkatu	Talousvesi	Paine pumppauspiirissä		18-108	1	Grundfos	LP-100-160 42 F 300	Taajuusmuuttaja	15	100	32
					2	Grundfos	LP-100-160 42 F 300	Taajuusmuuttaja	15	100	32
					3	Grundfos	LP-100-160 42 F 300	Taajuusmuuttaja	15	100	32