

Jaakko Manninen

KAUKOLÄMPÖPUMPPAAMOIDEN KÄYTÖN JA  
KUNNOSSAPIDON OPTIMOINTI

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
2018

# KAUKOLÄMPÖPUMPPAAMOIDEN KÄYTÖN JA KUNNOSSAPIDON OPTIMOINTI

Manninen, Jaakko  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Syyskuu 2018  
Sivumäärä: 43  
Liitteitä:7

Asiasanat: kunnossapito, kaukolämpö, kunnonvalvonta

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämpöpumppaamojen kunnossapitoon ja miettiä mahdollisuuksia sen optimointiin eli parantamiseen.

Kaukolämpöpumppaamoille tehtiin laitteiston tietojen keräyskäyntejä, joita hyödynnettiin pumppaamoiden huolto-ohjeen päivittämiseen sekä kunnossapidon toiminnan ohjausjärjestelmän päivittämiseen. Kunnossapidon kehittämisen yhteydessä kahteen kaukolämpöpumppaamoon asennettiin koekäyttöön online-kunnonvalvontajärjestelmä.

Opinnäytetyössä käsiteltiin kaukolämpöä, kaukolämpöverkkoa ja kaukolämpöpumppaamojen toimintaan yleisesti. Työssä perehdyttiin myös kunnossapidon määrittelmään ja siihen minkälaista on kunnossapito Tampereen Sähkölaitoksella.

Tärkeänä osana työtä oli kaukolämpöpumppaamoiden käytön ja kunnossapidon ongelmakohtien ja niiden mahdollisten ratkaisujen kartoittaminen sekä online-kunnonvalvontajärjestelmän käyttöönotto. Työhön sisältyy myös online-kunnonvalvontajärjestelmällä tehtävä värähtelymittaus ja sen perusteiden käsittely.

Optimointi kappaleessa käsitellään työn aikana kunnossapitoon tehtyjä parannuksia ja ehdotetaan kehitysideoita jäljelle jääneisiin ongelmakohtiin.

# OPTIMIZING DISTRICT HEATING PUMP STATIONS USAGE AND MAINTENANCE

Manninen, Jaakko

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical Engineering

September 2018

Number of pages: 43

Appendices: 7

Keywords: maintenance, district heating, condition monitoring

---

The purpose of this Bachelor's thesis was to take a look into the maintenance of district heating pump stations of Tampereen Sähkölaitos and to think about possibilities to optimize or improve the maintenance of these stations.

Visits to the district heating pump stations were made to collect information about the facilities. The collected information was utilized in updating the pump station's maintenance guidelines and also in updating the maintenance control system's information. In the meanwhile two online condition monitoring systems were installed to two different pump stations for piloting the system.

In this thesis district heating, district heating network and the functioning of district heating pump stations were discussed in general. In addition, maintenance as a concept was defined and the maintenance especially in Tampereen Sähkölaitos was discussed.

The most relevant part of this thesis was to find the problems in the usage and maintenance of the district heating pump stations, to find the possible solutions to these problems and to enable and introduce the online condition monitoring system. The vibration measurement done with the online condition measurement system and its basics was also discussed.

The final chapter discusses about the improvements and optimization made to the maintenance during this thesis and also suggests some development ideas to the remaining problems.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TAMPEREEN SÄHKÖLAITOS OY .....	6
2.1	Tampereen Sähkölaitos .....	6
2.1.1	Historia .....	7
2.1.2	Yrityskonserni .....	8
2.1.3	Talous ja henkilöstö.....	8
2.1.4	Voimalaitokset.....	9
2.1.5	Lämpölaitokset .....	10
2.2	Toimeksiannon tausta ja tavoitteet.....	10
3	KAUKOLÄMPÖ TAMPEREELLA.....	11
3.1	Kaukolämpö.....	11
3.2	Kaukolämpöpumppaamot.....	12
3.2.1	Kaukolämpöpumput .....	13
3.2.2	Kaukolämpöpumpun imukyky .....	14
3.2.3	Kaukolämpöpumpun säätötavat .....	16
3.3	Kaukolämpöverkko Tampereella.....	17
3.4	Tampereen kaukolämpöpumppaamot.....	18
4	KUNNOSSAPITO .....	19
4.1	Kunnossapidon määritelmä.....	19
4.2	Kunnossapitoyksikkö Tampereen Sähkölaitoksella .....	21
4.3	Kunnossapito Tampereen Sähkölaitoksella .....	22
4.4	Kaukolämpöpumppaamoiden kunnossapito ja sen ongelmakohdat .....	23
4.5	Kaukolämpöpumppujen käytön ongelmat .....	27
4.6	Voiteluhuolto .....	28
5	VÄRÄHTELYMITTAUKSET .....	29
5.1	Värähtelymittauksen teoria .....	31
5.2	Mittasuureet .....	32
5.3	Herätetaajuudet .....	33
5.4	Värähtelymittauksen parametrit.....	34
5.5	Pietsosähköiset kiihtyvyyssanturi.....	34
5.6	Etäkunnonvalvonta pumppaamoihin .....	35
5.7	Etäkunnonvalvontajärjestelmän käyttöönotto.....	35
5.8	Etäkunnonvalvonnan tietojen analysointi .....	37
6	OPTIMOINTI.....	40

6.1	Pumppaamoiden kunnossapito.....	40
6.2	Toiminnanohjausjärjestelmä.....	41
6.3	Huolto-ohje ja rasvauskansio.....	41
6.4	Käyttö.....	42
6.5	Kunnonvalvonta.....	42
7	POHDINTA.....	42
	LÄHTEET.....	44
	LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

Kunnossapidon avulla pyritään varmistamaan sähkölaitoksen tuotantolaitosten pysyminen tuotannossa ja käyttökuntoisina. Kunnossapidon ollessa korkeatasoista varmistetaan Sähkölaitoksen liiketoiminnan toteutuminen välttämällä ylimääräiset laitteiston rikkoutumisesta johtuvat tuotantokatkokset.

Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämpöverkossa on useita välipumppaamoja, joiden avulla pidetään kaukolämpöverkon painetta yllä ja varmistetaan että asiakkaalle jää riittävä paine-ero säätöä varten. Kaukolämpöpumppaamon vikaantumisen saattaa aiheuttaa tilanteen, jossa asiakkaan tarvitsema lämpöenergia joudutaan tuottamaan toisella tuotantolaitoksella kalliimmalla polttoaineella ja ajamaan kaukolämpöverkkoa ylisuurella lämpö- tai paine-erolla.

Opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä kaukolämpöpumppamoiden kunnossapitoon sekä sen ongelmakohtiin ja tarjota niihin mahdollisia ratkaisuja. Opinnäytetyössä pyritään selvittämään sitä, miten kaukolämpöpumppamoiden kunnossapitoa voidaan kehittää paremmaksi eli optimoida kunnossapidettävyyden, kunnossapitojärjestelmän sekä käytön kannalta. Työn tilaajana on energia-alan yhtiö Tampereen Sähkölaitos Oy, jonka tuotetarjontaan kuuluu kaukolämpö, sähkö, maakaasu ja kaukokylmä.

## 2 TAMPEREEN SÄHKÖLAITOS OY

### 2.1 Tampereen Sähkölaitos

Tampereen Sähkölaitos Oy on energia-alan yhtiö, joka toimittaa Pirkanmaan alueella kaukolämpöä, sähköä, maakaasua ja kaukokylmää.

### 2.1.1 Historia

Tampereen kaupungin sähkölaitoksen toiminta alkoi vuonna 1888 ratkaisuna Tampereen pimeiden katujen valaistusongelmaan. Perustettaessa Tampereen kaupungin sähkölaitos oli ensimmäinen kunnallinen sähkölaitos Suomessa. Ensimmäinen Tammerkosken vesivoimalla tuotettu sähkövalo syttyi 1891. (Anttila 1993, 22-48).

Tampereen kaupungin sähkölaitos oli omavarainen sähköntuotannossa vuoteen 1938 asti, jolloin sähköverkko yhdistettiin Imatran Voiman verkkoon eli ns. kantaverkkoon. Tampereen kaupungin sähkölaitos aloitti kaukolämmön tuottamisen Ratinaan rakennetusta lämpölaitoksesta vuonna 1964. 60-luvun loppuun mennessä kaukolämpöverkkoa oli rakennettu noin 50 kilometriä ja sillä oli asiakkaina noin 290 kiinteistöä.

Naistenlahti 1 -voimalaitos valmistui vuonna 1971. Polttoaineena käytettiin tuolloin raskasta polttoöljyä. Valmistuessaan voimalaitoksen sähköteho oli 62 MW ja kaukolämpöteho 113MW. Naistenlahti 2 käyttöön otettiin vuonna 1977 polttoaineenaan kotimainen jyrshinturve. Naistenlahti 2 -laitoksen valmistuessa sen sähköteho oli 66MW ja kaukolämpöteho 117MW.

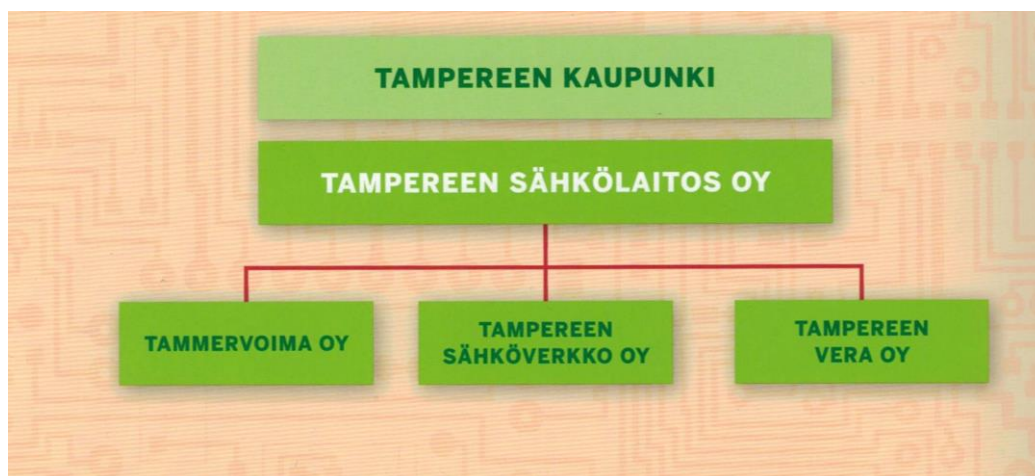
Korkean öljyn hinnan takia Naistenlahti 1 muutettiin jyrshinturvekäyttöiseksi vuonna 1983. Lielahden rakennettiin 1988 kombivoimalaitos, joka käyttää polttoaineenaan maakaasua. Lielahden kombivoimalaitoksen sähköteho oli sen valmistuessa 132 MW ja kaukolämpöteho 152MW. (Toiva 2017, 43-100).

Tampereen kaupungin sähkölaitoksen nimi muutettiin vuonna 1998 Tampereen Sähkölaitokseksi. Syynä nimen vaihtoon oli markkinoinnin helpottaminen. (Toiva 2017, 126). Vuosina 1998-2000 Naistenlahti 2 -laitoksen kattila uudistetaan leijukerroskattilaksi tavoitteena alentaa turvekattilan käyttö- ja kunnossapitokustannuksia, sekä mahdollistaa puupolttoaineen käyttö kahteenkymmeneen prosenttiin asti kaikesta polttoainemäärästä. Naistenlahti 1 modernisoitiin maakaasua käyttäväksi kombivoimalaitokseksi. (Toiva 2017, 149-151). 2003 EU:n sisämarkkinadirektiivin takia aloitettiin Tampereen Sähkölaitoksen yhtiöittäminen ja sen kaikki toiminnot oli yhtiöitetty vuonna 2009. (Toiva 2017, 155-162)

Pirkanmaan Jätehuolto Oy sekä Tampereen Sähkölaitos perustivat vuonna 2011 Tammervoima -yhtiön, joka rakennutti Tarastenjärvelle jätteenpolttolaitoksen. Jätteenpolttolaitos saatiin tuotantoon loppuvuodesta 2015. (Toiva 2017, 190-191). Vuonna 2017 Tampereen Sähkölaitos käyttöönotti Kaupinojalle rakennetun kaukojäähdytyslaitoksen. Valmistuessaan laitos oli Euroopan suurin järvijäähdytysperiaatteella toimiva kaukojäähdytyslaitos. (Vuosisraportti 2016).

### 2.1.2 Yrityskonserni

Tampereen Sähkölaitos Oy on Tampereen kaupungin omistaman konsernin emoyhtiö (Kuva 1). Tytäryhtiönä Tampereen Sähkölaitoksella on sähköverkon rakentamiseen erikoistunut Vera Oy, sähkön siirrosta vastaava Tampereen Sähköverkko Oy sekä Tarastenjärven hyötyvoimalan toiminnasta vastaava Tammervoima Oy.



Kuva 1. Tampereen Sähkölaitos konsernirakenne (Toiva 2017, 232).

### 2.1.3 Talous ja henkilöstö

Vuonna 2016 Tampereen Sähkölaitos teki historiansa parhaan liike tuloksen: 43,1 miljoonaa euroa. (Liite 1). Edellisvuoden tulokseen verrattuna kasvua liike tuloksessa oli 22,4 miljoonaa euroa.



Liikevaihto oli 273,2 miljoonaa euroa, sen kasvu edellisvuoteen nähden oli 3,3 miljoonaa euroa. Sähkölaitoksen kannattavuus on lähtenyt nousuun pyrkimällä eroon maakaasupainotteisesta tuotantorakenteesta sekä investoimalla hajautettuun lämmön erillistuotantoon. Sähkön alhainen markkinahinta on pitänyt liikevaihdon kasvun melko pienenä.

Tampereen Sähkölaitoksen investoinnit vuodelta 2016 olivat 37,7 miljoonaa euroa. Investointien määrä on laskenut merkittävästi edellisvuosiin verrattuna, sillä kaikki tärkeimmät kaukolämmön erillistuotantoon ja uusiutuviin polttoaineisiin käytetyt investoinnit on saatu toteutettua aiempina vuosina.

Tampereen Sähkölaitoksella oli vuonna 2016 kaukolämmön asiakkaita 5557 ja sähkönsiirron asiakkaita 146 500. Henkilöstöä Tampereen Sähkölaitos -konsernilla on 381 henkilöä, joista 233 työskentelee Tampereen Sähkölaitos Oy:ssä. Konsernin työntekijöistä 202 on toimihenkilöinä, 46 ylempinä toimihenkilöinä, 122 työntekijöinä ja 11 johtajina. (Vuosiraportti 2016).

#### 2.1.4 Voimalaitokset

Tampereen Sähkölaitoksen käytössä on useita tuotantolaitoksia (Liite 2). Naistenlahti 1 sekä Lielahden voimalaitos ovat kombivoimalaitoksia, joiden polttoaineena käytetään maakaasua. Naistenlahti 1 sähköteho on 129 megawattia ja lämpöteho 144 megawattia. Naistenlahti 1 on valittu Fingrid Oyj:n tehoreservilaitokseksi tehoreservikaudella 1.7.2017 – 30.06.2020 (Energiaviraston www-sivut 2018). Lielahden voimalaitoksen sähköteho on 147 megawattia ja lämpöteho 160 megawattia. Naistenlahti 2 voimalaitoksen leijukerroskattilassa polttoaineena voidaan käyttää turvetta, puuta, kaasua ja öljyä. Naistenlahti 2:n sähköteho on 60 megawattia ja lämpöteho 120 megawattia. Tammervoima jätteenpolttolaitoksen sähköteho on 12 megawattia ja lämpöteho 40 megawattia. Vesivoimalaitoksia Tampereen Sähkölaitoksella on käytössä 3 kappaletta; Tammerkoskessa sijaitsevat keskiputouksen (8 MW), Tampellan (2,6 MW) ja Finlaysonin voimalaitokset (3,6 MW).

### 2.1.5 Lämpölaitokset

Tampereen Sähkölaitoksella on käytössään monta kiinteää lämpökeskusta ympäri Tamperetta. Perinteisten öljy- ja kaasukäyttöisten kaukolämmöntuotantolaitosten rinnalle on Tampereen Sähkölaitos ottanut viimevuosina käyttöönsä uusiutuvilla polttoaineilla toimivia laitoksia (Liite 3). Sarankulmassa sijaitseva pellettilaitos valmistui 2013. Pellettilaitoksen lämpöteho on 37 megawattia. Hervantaan valmistui 2015 haiketta polttoaineenaan käyttävä lämpölaitos, jonka lämpöteho on 57 megawattia.

### 2.2 Toimeksiannon tausta ja tavoitteet

Olen työskennellyt Tampereen Sähkölaitoksen palveluksessa kolmena kesänä koneasentajan tehtävissä. Työni on sisältänyt monenlaisia kunnossapidon tehtäviä niin suodatintenvaihdosta kaasuturbiinien revisioihin ja kaikkea mahdollista siltä väliltä. Kyselyni mahdollisuuksista tehdä kunnossapitoon liittyvää opinnäytetyötä Sähkölaitokselle minulle ehdotettiin perehtymistä kaukolämpöpumppaamoiden kunnossapitoon sekä sen optimointiin eli parantamiseen. Perehdyin aiheeseen haastatteleamalla Sähkölaitoksen kunnossapitohenkilökuntaa kyselemällä heidän mielteitään kaukolämpöpumppaamojen kunnossapidosta. Haastatteluilla sain käsityksen kaukolämpöpumppaamoiden kunnossapitoon liittyvistä puutteista ja ongelmakohtista.

Kaukolämpöpumppaamoiden käytössä ja kunnossapidossa on ilmennyt muutamia ongelmallisia kohtia. Pumppaamoiden kunnossapito on perustunut jaksottaisen kunnossapidon osalta voiteluhuoltoihin sekä suodatintenvaihtoihin. Pumppujen osalta on pitäydtytty häiriökorjausmenetelmässä, eikä varsinaista ennakkohuoltosuunnitelmaa ole olemassa esimerkiksi akselitiivisteiden peittämissä varalta. Pumppaamoiden huollosta on tehty ohjeistus, jonka tiedot eivät ole enää ajan tasalla, sillä pumppaamoissa on tapahtunut muutoksia. Lisäksi Sähkölaitoksen käyttämässä Solax-kunnossapidon toiminnanohjausjärjestelmässä laitekorttien tiedot kaukolämpöpumppaamojen osalta ovat puutteellisia.

Kunnossapidettävyyden kannalta on ollut epäselvyyksiä, mikä olisi paras tapa käytölle ajaa sellaisia kaukolämpöpumppaamoja, jotka ovat kahdennettuja eli niissä on kaksi pumppua. Tällaisien pumppaamojen pumppuja voidaan ajaa vain yhtä kerrallaan ja toinen on ns. varapumppu.

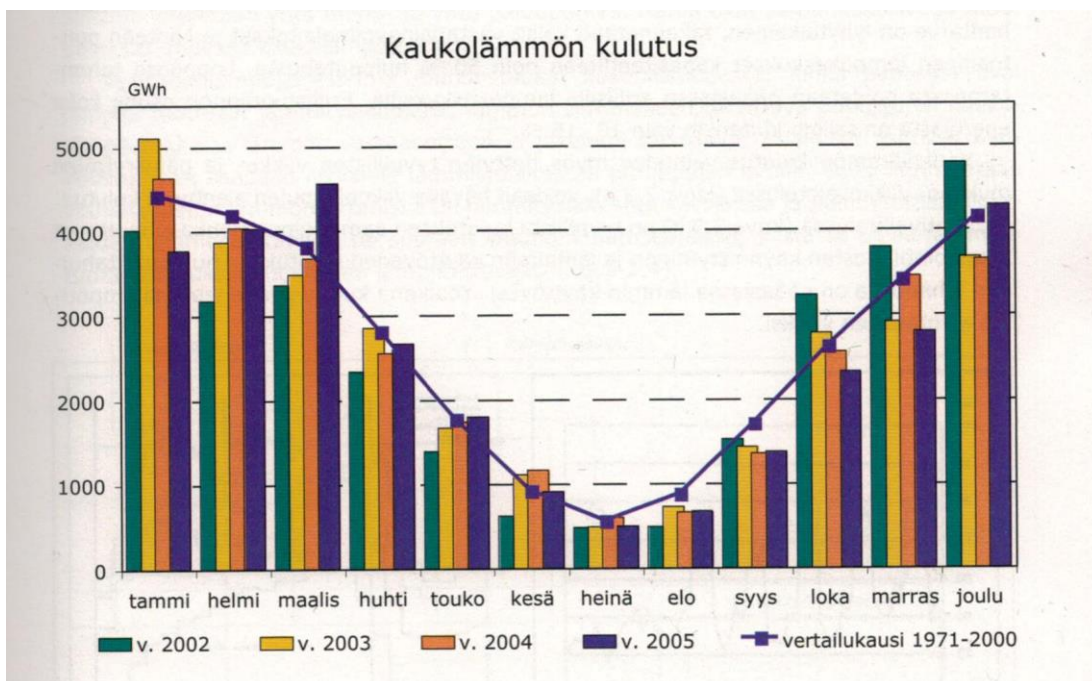
Aloittaessani opinnäytetyötä minulle tarjoutui mahdollisuus osallistua palaveriin, jossa käsiteltiin Schaefflerin etäkunnonvalvontalaitteiden käyttömahdollisuuksia Tampereen Sähkölaitoksella. Palaverin perusteella aloimme suunnittelemaan etävalvontalaitteen käyttömahdollisuuksia pumppaamoissa. Päädyimme sopimukseen, jossa Tampereen Sähkölaitos saa koekäyttöönään kahteen kaukolämpöpumppaamoon etäkunnonvalvontalaitteet.

### 3 KAUKOLÄMPÖ TAMPEREELLA

#### 3.1 Kaukolämpö

Kaukolämpö on voimalaitoksissa ja lämpökeskuksissa tuotettua lämpöä, joka toimitetaan asiakkaalle kaukolämpöverkkoa pitkin. Kaukolämmön siirtoaineena on useimmissa tapauksissa vesi. Kaukolämpöä hyödynnetään rakennusten ja käyttöveden lämmitykseen. (Koskelainen, L., Saarela, R. & Sipilä, K. 2006, 25).

Vesikaukolämmityksessä kaukolämpöjohdon muodostavat samankokoiset meno- ja paluuputket. Verkossa kiertävästä vedestä on poistettu mekaaniset epäpuhtaudet sekä haitalliset kaasut kuten happi, joka aiheuttaa korroosiota. Menoveden lämpötilaa säädetään tuotantolaitoksen päässä ulkolämpötilan mukaan asiakkaiden tarpeita vastaavaksi. Asiakkaiden lämmöntarpeen vuosittainen vaihtelu on voimakasta riippuen ulkoilman lämpötilamuutoksista. Kuva 2 havainnollistaa kaukolämpöenergian kulutusta Suomessa ja sen vaihtelua vuosittain eri vuodenaikoina.



Kuva 2. Kaukolämmön kulutusvaihtelu Suomessa (Koskelainen ym. 2006, 41).

Lämpöhäviöiden syntyminen pyritään välttämään käyttämällä maltillista lämpötilaa. Veden höyrystyminen jakeluverkossa estetään käyttämällä riittävän korkeaa keskipainetta. Tuotantolaitoksilla olevilla pumpuilla ja tarvittaessa paineenkorotuspumpuilla varmistetaan, että myös verkon kaukaisimmissa osissa olevilla asiakaslaitteilla on käytössä riittävä paine-ero säätöä varten.

Yleensä asiakkailta on lämmönsiirtimet, joiden avulla kaukolämpöveden lämpöenergia siirretään lämmönvaihtimien kautta esimerkiksi rakennusten sisäisiin käyttöpiireihin. Veden luovutettua lämpöenergian asiakkaan tarpeisiin se palaa paluuputkea pitkin lämpölaitokselle lämmitettäväksi uudelleen. (Koskelainen ym. 2006, 41-44).

### 3.2 Kaukolämpöpumppaamot

Kaukolämpöverkoissa paine-eroa säädetään asiakkaalle luvatussa minimiarvossa tai vähän sen yläpuolella. Kaukolämpöverkon paine-eroa säädellään epäedullisimman asiakkaan mukaisesti. Pienissä kaukolämpöverkoissa riittävä paine-ero saadaan aikaan

lämmöntuotantolaitosten yhteyteen rakennetuilla pumppaamoilla. Epäedullisimman asiakkaan paine-eron pudotessa alle luvatus arvon rakennetaan kaukolämpöverkkoon välipumppaamoja. Välipumppaamoja tarvitaan kaukolämpöverkoissa, joiden etäisyydet ovat pitkiä ja vesivirrat suuria, myös kaukana verkossa sijaitsevat yksittäiset asiakkaat tai maastossa esiintyvät epätasaisuudet saattavat edellyttää välipumppaamon rakentamista. Välipumppaamo saatetaan rakentaa myös tilanteessa, jossa jossakin lämpöverkon alueella paine-ero ylittää asiakkaan sallimat raja-arvot tai verkon rakennepaine ylittyy.

Kaukolämpöpumppaamoissa yleensä pumppuina käytetään keskipakopumppuja. Pumppujen ominaisuudet selviävät parhaiten niiden ominaiskäyrien avulla, joista tärkeimpiin kuuluu käyrä, joka esittää pumpun nostokorkeuden ja tuoton välistä yhteyttä. Kiertovesimäärän nopea vaihtelu vuorokausitasolla, sekä pumpun tarkoituksenmukaisuus ja taloudellisuus vaikuttavat pumpun kytkentätavan valintaan pumppaamoissa. Kaukolämpöpumppaamoista vastaa laitoksen käyttöhenkilökunta, jolloin kiinnostuksen kohteena on laitteiston varma toiminta sekä käyttäjäystävällisyys. (Koskelainen ym. 2006, 175).

### 3.2.1 Kaukolämpöpumput

Kaukolämmön kiertovesipumput tulee mitoittaa siten, että ne hoitavat tuotantolaitoksen, kaukolämpöverkon ja mittauskeskuksen painehäviöt sekä asiakkaan kaukolämpölaitteita ja säätöventtiilejä varten minimi paine-eron, jonka pitää olla vähintään 0,6 bar (60 kPa). Ylärajan pumppujen mitoitukseen asettaa kaukolämpöverkon suunnittelupaine ja alarajan kaukolämpöverkon putkien ja pumpun imupuolen alipainevara.

Virtausnopeuksien kasvaessa kaukolämpöverkossa eteen tulee nopeasti tasapainotilanne, jossa virtausnopeus muuttuu vakioksi. Tasapainotilanne syntyy, kun kitkavoimien aiheuttama painehäviö ja tietyn putkiosuuden käytettävissä oleva paine-ero ovat

yhtä suuria. Kaukolämpöpumpun aikaansaamaan paineen noston tulee riittää vastamaan putkien karheuden, putkikäyrien ja kuriskohtien, kuten venttiilien, mittalaitteiden ja mutasihtien aiheuttama painehäviö. Pumpun paineen noston tulee voittaa myös kattiloiden, lämmönsiirtimien ynnä muiden laitteiden aiheuttama painehäviö.

Pumppaustyön tarve kasvaa affiniteettisääntöjen mukaan nostokorkeuden ja vesivirran kasvaessa. Hyötysuhteen parannuksella voidaan vastaavasti pienentää pumppaustehon tarvetta. Suurin osa pumpun pyörittämiseen tarvittavasta sähköenergiasta muuttuu verkossa vettä lämmittäväksi kitkaenergiaksi.

(Koskelainen ym. 2006, 172).

Tarvittava kaukolämpöpumpun pumppausteho saadaan laskettua kaavalla 1.

$$P = \frac{V\Delta_P}{\eta_p} = \frac{V\rho gH}{\eta_p} = \frac{\mathcal{M}gH}{\eta_p}$$

$\Delta_P$  = paine-ero [Pa]

$V$  = tilavuusvirta [ $\text{m}^3 / \text{s}$ ]

$\eta_p$  = pumpun hyötysuhde

$g$  = putoamiskiihtyvyyys [ $9,81 \text{ m} / \text{s}^2$ ]

$\rho$  = pumpattavan fluidin tiheys [ $\text{kg} / \text{m}^3$ ]

$\mathcal{M}$  = massavirta [ $\text{kg} / \text{s}$ ]

Kaava 1.

Kaukolämpöpumppujen hyötysuhde riippuu pumpputyypistä, pyörimisnopeudesta, pumpun mekaanisesta rakenteesta ja nestemäärästä. (Koskelainen ym. 2006, 170).

### 3.2.2 Kaukolämpöpumpun imukyky

Kaukolämpöpumpun imukyky ilmoitetaan yleisesti käyttämällä käsitettä: NPSH (net positive suction head). Sen yksikkönä käytetään metriä (nestepinnan korkeus).

NPSH kertoo, kuinka suuri paineen tulisi olla pumpun imuaukossa nesteen höyrystymispaineen lisäksi, jotta imuolosuhteiden kannalta kaukolämpöpumppu toimisi moitteettomasti. Pumppujen NPSH -käyrät löytyvät valmistajien esitteistä. Suurin sallittu imukorkeus voidaan laskea kaavasta 2.

$$H_i \leq \frac{(p_0 - p_h)}{\rho g} - NPSH - H_V$$

$p_0$  = imusäiliössä nestepintaan kohdistuva paine [Pa]

$p_h$  = veden höyrystymispaine [Pa]

$H_i$  = imukorkeus [m]

$H_V$  = imujohdon vastus painekorkeutena (m nestepatsasta)

$\rho$  = pumpattavan fluidin tiheys [ $\text{kg} / \text{m}^3$ ]

$g$  = putoamiskiihtyvyys [ $9,81 \text{ m} / \text{s}^2$ ]

$H_V$  = virtaushäviöt [m].

Kaava 2.

Imukorkeuden  $H_i$  muodostuessa negatiiviseksi, tulee imusäiliössä nestepinnan korkeuden olla vähintään  $H_i$ :n osoittaman matkan verran pumpun keskiviivan yläpuolella. Kiertopumppujen imupainetta voidaan hallita muuttamalla staattisen paineen tasoa.

Yleinen häiriö kaukolämpöpumpuissa on kavitaatioilmiö, joka aiheutuu silloin kun imupuolen vastukset pääsevät nousemaan liian suuriksi aiheuttaen nesteen höyrystymisen. Kavitaatio aiheuttaa pumpun paineen laskun ja häiritsevää ääntä. Kavitaatio aiheuttaa pumpun voimakasta kulumista. Kavitaatio saadaan poistettua kuristamalla painepuolella olevia venttiilejä. Kavitaation estämiseksi kiertovesipumpun imupuolella on oltava painetta käytettävissä ainakin 0.5 - 0.8 bar.

(Koskelainen ym. 2006, 170-171).

### 3.2.3 Kaukolämpöpumpun säätötavat

Affiniteettisäännöiksi kutsutaan yhtälöitä, jotka voidaan johtaa pumppaustekniikan perusteista. Kaavat 3, 4 ja 5 kertovat, miten keskipakopumpun kierrosluvun säätö vaikuttaa nostokorkeuteen, tilavuusvesivirtaan ja tehontarpeeseen.

Tilavuus- ja massavirran riippuvuus pyörimisnopeudesta

$$\frac{\dot{v}_1}{\dot{v}_2} = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Kaava 3.

Nostokorkeuden ja paine-eron riippuvuus pyörimisnopeudesta

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{\dot{v}_1}{\dot{v}_2}\right)^2 = \left(\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2}\right)^2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

Kaava 4.

Tehon riippuvuus pyörimisnopeudesta

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\Delta P_1 \dot{v}_1}{\Delta P_2 \dot{v}_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Kaava 5.

(Koskelainen ym. 2006, 171).

Kaukolämpöpumpun paine-eroa ja tuottoa pystytään säätämään muuttamalla pyörimisnopeutta, kuristusventtiilillä, johtosiipien säädöllä, ohivirtauksella painepuolelta imupuolelle sekä muuttamalla juoksupyörää. Juoksupyörään tehdyt muutokset ovat rinnastettavissa miltei koko pumpun vaihtoon. Tällaiset juoksupyörän muutokset ovat pysyviä. Johtosiipisäätö on pumpeissa harvinainen ja siitä saatava säätövara on pieni.

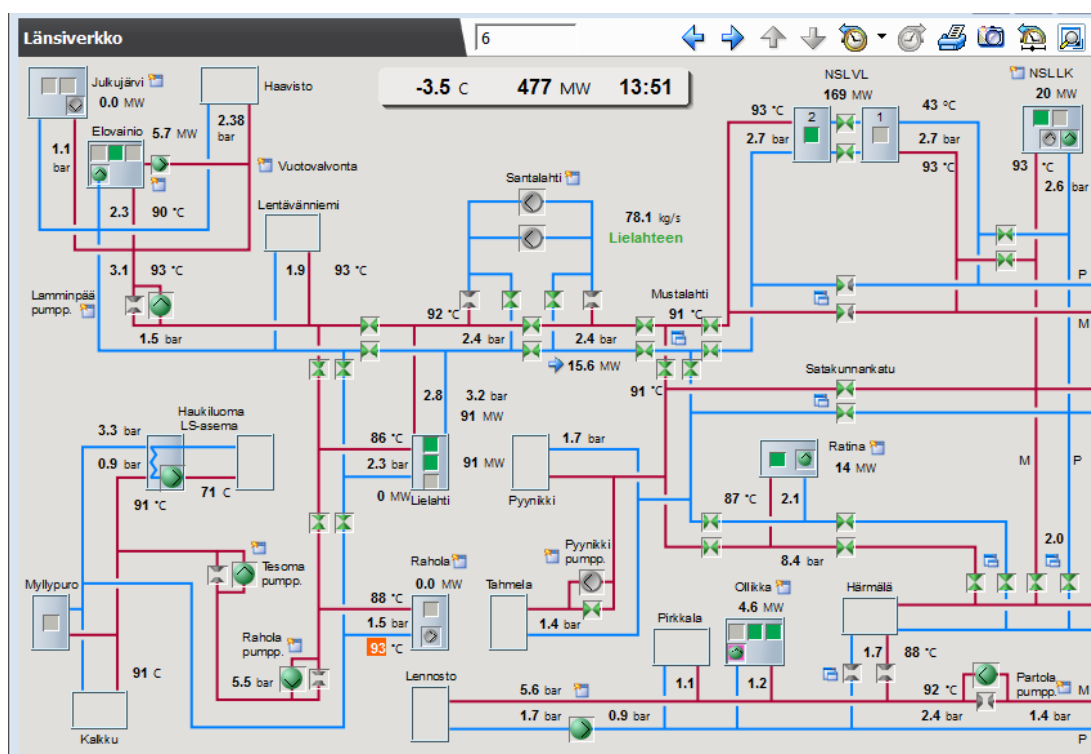


Ohivirtauksen järjestäminen painepuolelta imupuolelle on todella epätaloudellinen tapa säätää pumpppua. Yleisimmiksi säädöiksi on näin ollen kaukolämpöpumpuissa vaikiintuneet kuristussäätö ja pyörimisnopeuden säätö.

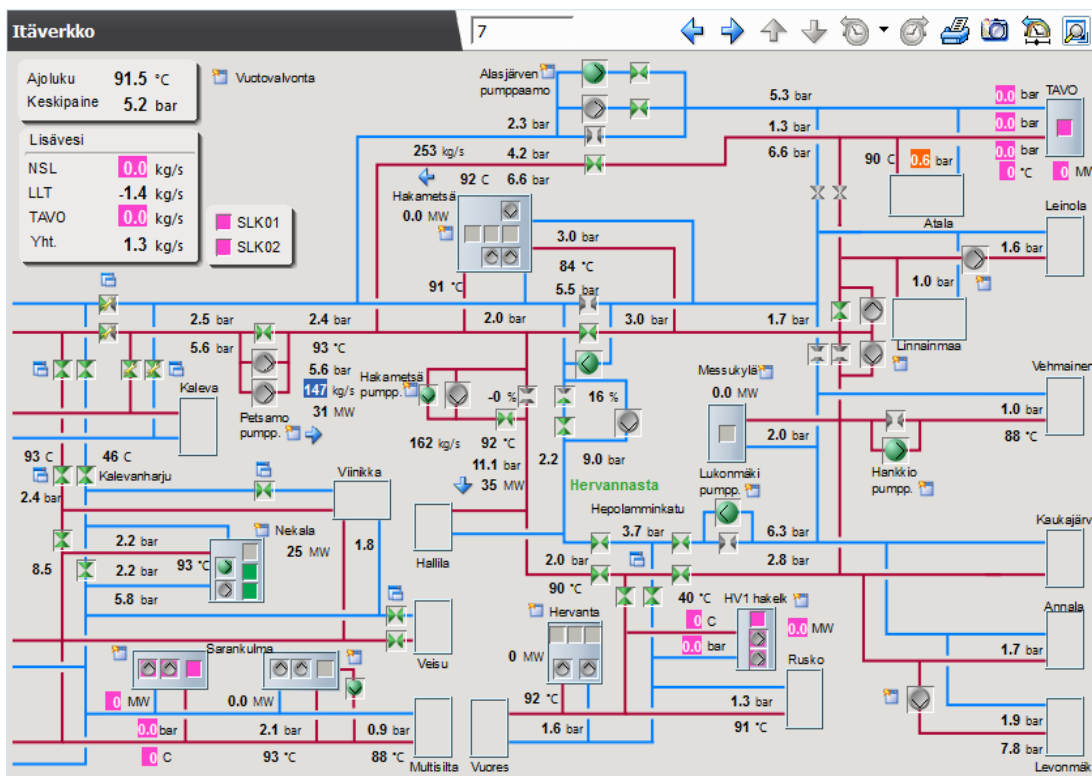
Pumppujen pyörimisnopeutta säädettäessä ei säädetä verkossa kiertävän veden määrää, vaan pienennetään pumpppaukseen menevää sähköenergiaa valitsemalla pumpun nostokorkeus silloista tarvetta vastaavaksi. Kaukolämpöverkon menolämpötilaa säädetään lämmöntuotantolaitoksesta käsin, mutta virtausta säätävät verkon asiakkaat. (Koskelainen ym. 2006, 172).

### 3.3 Kaukolämpöverkko Tampereella

Tampereen kaukolämpöverkon pituus on noin 600 kilometriä. (Liite 4). Kaukolämpöverkolla on noin 5500 asiakasta Tampereen, Ylöjärven ja Pirkkalan alueella. (Tampereen Sähkölaitoksen www-sivut 2017). Verkko on jaettu Tampereen Sähkölaitoksen käyttämässä Metso DNA -ohjauskäyttöliittymässä Länsiverkkoon (kuva 3) ja Itäverkkoon (kuva 4).



Kuva 3. Kaukolämmön länsiverkon prosessikaavio (Metso DNA).



Kuva 4. Kaukolämmön itäverkon prosessikaavio (Metso DNA).

### 3.4 Tampereen kaukolämpöpumppaamot

Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämpöverkko sisältää useita välipumppaamoja, joiden avulla pidetään verkon painetta yllä ja varmistetaan asiakkaalle riittävä paine-ero säätöä varten. Alasjärven pumppaamon häiriötön toiminta on erityisen tärkeä Tammerwoiman hyötyvoimalan kannalta, sillä ilman sen pumppaustehoa ei voimalaitosta voida pitää tuotannossa. Partolassa sijaitseva pumppaamo on erityisen kriittinen, sillä sen pumppaustehon varassa on iso osa Pirkkalan kaukolämpöverkkoa eikä sitä ole kahdennettu toisella pumpulla. Yhdellä pumpulla varustetun pumppaamon vikaantuessa, asiakkaalle toimitettava lämpöenergia saatetaan joutua tuottamaan toisella laitoksella esimerkiksi kalliimmalla polttoaineella tai ylisuurella lämpö- tai paine-erolla.

Kriittisyyden vuoksi Alasjärven ja Partolan pumppaamot valittiin etäkunnonvalvonnan koekäyttökohteiksi, jotta niiden häiriötön toiminta voitaisiin varmistaa. Osa kau-

kolämpöpumppaamoista on jäänyt vähemälle käyttöasteelle verkon rakenteen muututtua, uusien kaukolämpölaitosten kyetessä toimittamaan lämpöenergia-alueelle paremmin. Kaukolämpöpumppaamoja käytetään etänä Lielahden voimalaitoksen yhteydessä olevasta kaukolämpövalvomosta. Välipumppaamoiden laitteisto koostuu tavallisesti keskipakopumpusta, ilmastoinnista, moottoriventtiileistä, mutasihdistä ja verkonmittauksista.

## 4 KUNNOSSAPITO

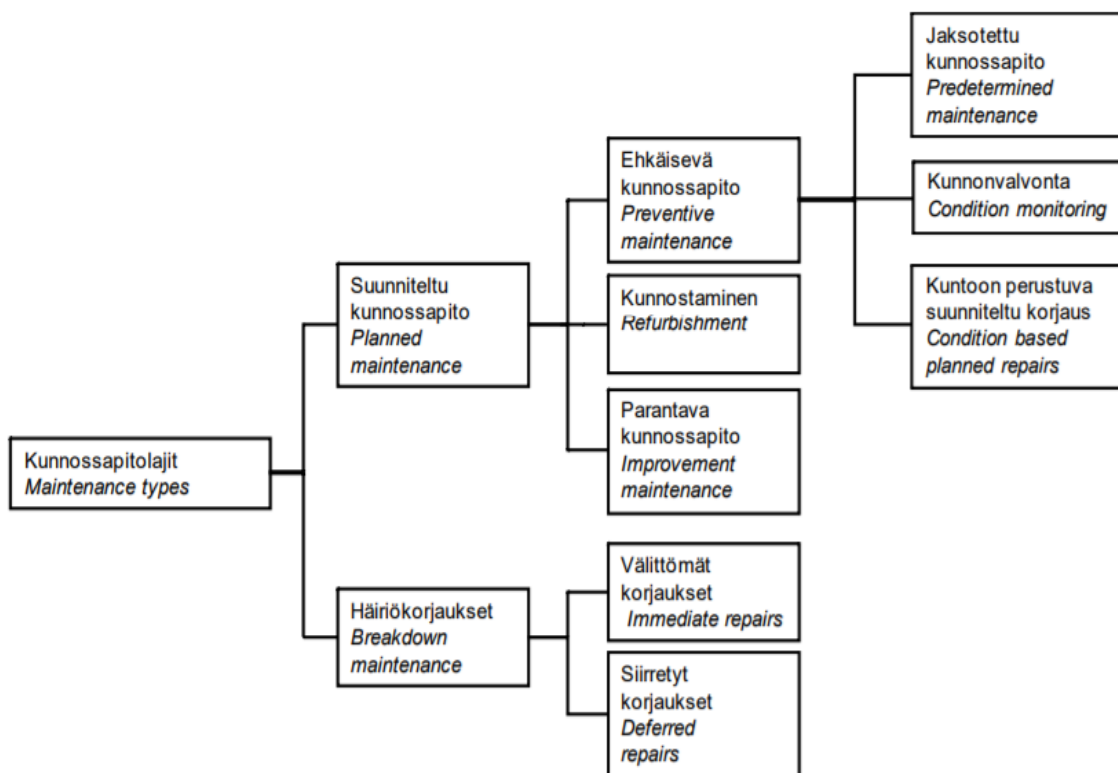
### 4.1 Kunnossapidon määritelmä

Kunnossapito on määritelty lukuisissa standardeissa ja teoksissa. Kunnossapidon määritelmät ovat pääosin samankaltaisia ja niihin sisältyy samat perusolettamukset.

Perusolettamuksina pidetään, että kunnossapito pyrkii pitämään kohteen toimintakuntoisena tai korjaamaan sen normaaliin toimintakuntoon. Teknisen suorittamisen lisäksi kunnossapitoon kuuluu kaikki näihin toimenpiteisiin liittyvät hallinnon ja johtamisen toimet. Perusolettamukset rajaavat kunnossapidosta pois ne toimenpiteet, joilla pyritään kehittämään laitteen suorituskykyä sen alkuperäisestä, vaikka myös suorituskyvyn kehittäminen on tärkeä osa kunnossapitoa. Laitteen tai prosessin suorituskyvyn kasvattamisen mahdollistavien pullonkaulojen osoittaminen on tärkeä osa kunnonvalvontaa, vaikka parantavia toimenpiteitä ei välttämättä kunnossapidon sektorille laskettaisikaan. Kunnossapitoa ei nykyäksityksen mukaan pidetä pelkkänä menoeränä vaan tärkeänä tuotannontekijänä, jonka avulla pyritään pitämään tuotantoyksikkö kilpailukykyisenä. (Mikkonen ym.2009, 25-26).

Suomalainen PSK-standardisointi on puolueeton yli 40 vuotta toiminnassa ollut teollisuuden ja sitä palvelevien yritysten kehitysyksikkö. PSK:n tehtävänä on tukea kotimaista sekä kansainvälistä liiketoimintaa standardisoimalla ja kouluttamalla. PSK:n toiminnan laajuudesta kertoo jäsenyritysten 60 miljardin yhteinen liikevaihto. (PSK Standardisointi 2018).

PSK-standardisointi määrittelee kunnossapito käsitteen standardissa PSK 6201 seuraavasti: ”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.” (PSK 6201 2011, 2). PSK standardissa 7501 (kuva 5) esiintyvässä kaaviossa kunnossapito on jaettu kahteen päätyyppiin, häiriökorjaukseen eli suunnittele-mattomaan kunnossapitoon sekä suunniteltuun kunnossapitoon (Mikkonen ym.2009, 96).



Kuva 5. Kunnossapitolajit PSK:n standardin mukaan (PSK 7501 2010, 32).

PSK:n standardi 6201 määrittelee tarkemmin standardissa 7501 esitetyn taulukon kunnossapitolajeja. Standardissa suunnitellun kunnossapidon toimia ovat ehkäisevä kunnossapito, kunnostaminen ja parantava kunnossapito. Standardissa ehkäisevällä kunnossapidolla tarkoitetaan toimia, joilla pidetään kohteen käyttöominaisuuksia yllä, estetään vaurioiden syntymistä ja palautetaan heikentynyt toimintakyky vaurioiden estämiseksi alkuperäisen kaltaiseksi. Ehkäisevän kunnossapidon toimintoja ovat jaksotettu kunnossapito, kunnonvalvonta sekä kuntoon perustuva suunniteltu korjaus. Jaksotettu

kunnossapito suoritetaan ennalta suunnitellun jaksotuksen mukaan esimerkiksi käyttötuntien, kalenterin, tuotannon tai energian käytön mukaisesti ilman edeltävää selvitystä toimintakunnosta. Kuntoon perustuva suunniteltu korjaus on kunnonvalvonnan keinoin havaitun vian suunniteltua korjaamista kohteesta. Kunnonvalvonta on kohteen tarkkailua mittalaitteiden ja aistien avulla. Kunnonvalvonnassa kohteen mahdollinen vikaantuminen, huolto- ja korjausajankohta pyritään määrittämään arvioimalla kohteen nykytilaa ja sen kehittymistä. Kunnostaminen on suunnitellun kunnossapidon toiminto, jossa käytöstä poistettu kulunut tai vaurioitunut kohde palautetaan alkuperäiseen käyttökuntoon. Parantavassa kunnossapidossa kohteen luotettavuutta tai kunnossapidettävyyttä parannetaan muuttamatta kohteen alkuperäisiä toimintoja. Standardin toinen pääryhmä eli häiriökorjaukset on lajiteltu välittömiin ja siirrettyihin korjauksiin. Häiriökorjaus on määritelty toimeksi, jossa vikaantunut kohde palautetaan alkuperäiseen toimintakuntoon ja käyttöturvallisuudeltaan alkuperäistä vastaavaksi. Välittömässä korjauksessa vian korjaus aloitetaan heti kohteen ongelman havaitsemisen jälkeen. Välittömällä korjauksella pyritään palauttamaan toimintakunto alkuperäisen kaltaiseksi tai rajoittamaan ongelman aiheuttamia seurauksia tasolle, joka voidaan hyväksyä. Siirretyssä häiriökorjauksessa korjaus siirretään tehtäväksi silloin kuin kohteen, tuotannon tai organisaation tila sen sallii. (PSK 6201 2011, 22-23).

#### 4.2 Kunnossapitoyksikkö Tampereen Sähkölaitoksella

Tampereen Sähkölaitoksella on oma kunnossapitohenkilöstö. Naistenlahden voimalaitoksen yhteydessä työskentelevä kunnossapitohenkilöstö vastaa Naistenlahden lisäksi vesi- sekä tuulivoimaloiden kunnossapidosta. Lielahden voimalaitoksen kunnossapitoyksikkö vastaa Lielahden voimalaitoksen kunnossapidosta sekä lämpölaitosten ja pumppaamoiden kunnossapidosta. Molempien voimalaitosten yhteydessä on pienimuotoiset konepajat, joista löytyy työstökoneet vaativimpiinkin remonteihin (kuva 6). Kunnossapitohenkilöstöön kuuluu niin kone-, sähkö- ja automaatiopuolen ammattilaisia. Voimalaitoksilla on myös runsaat varaosa- ja työkaluvalikoimat, joista vastaa va-

rastohenkilökunta. Suurimpiin kunnossapitoremontteihin ja vuosihuoltoihin Tampereen Sähkölaitos käyttää oman henkilöstön lisäksi ulkopuolista työvoimaa ja asiantuntijoita.

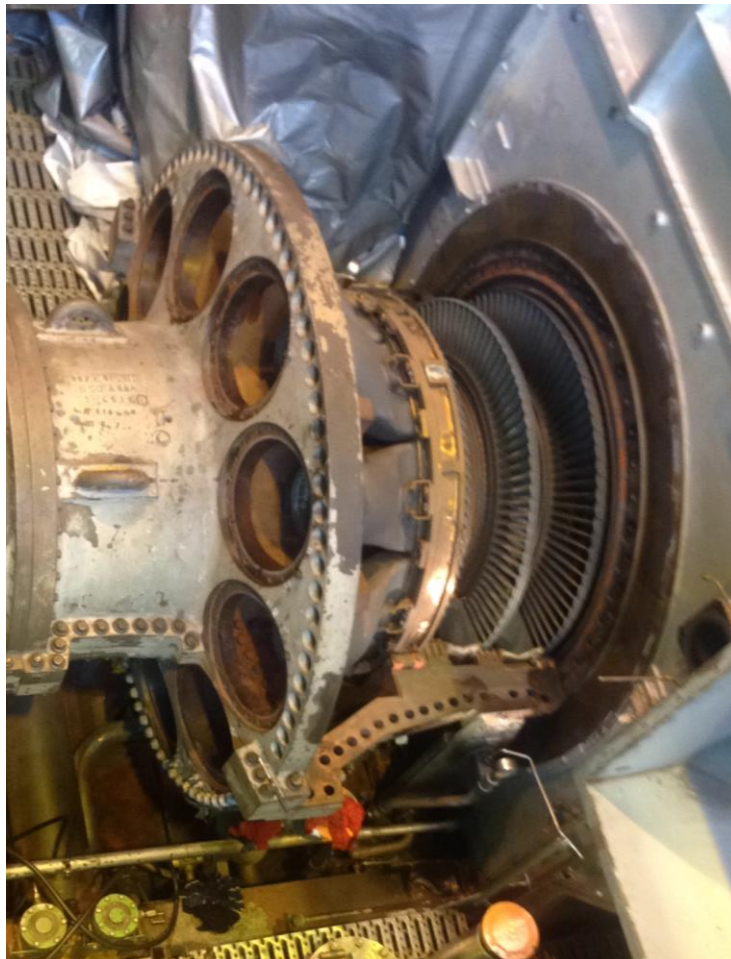


Kuva 6. Lielahden voimalaitoksen korjaamolla onnistuvat vaativat kunnossapitotyöt (Kuva: Jaakko Manninen 2018)

#### 4.3 Kunnossapito Tampereen Sähkölaitoksella

Kunnossapito on tärkeä osa Sähkölaitoksen toiminnan kannalta. Kunnossapidon avulla varmistetaan laitosten pysyminen tuotannossa ja näin ollen taataan Sähkölaitoksen liiketoiminnan toteutuminen. Tampereen Sähkölaitos käyttää jaksotettua kunnossapitoa isojen tuotantolaitostensa huolloissa. Jaksoittaisessa kunnossapidossa tuotantolaitoksella tehdään kausittainen vuosihuolto, jolla pyritään varmistamaan keskeytymätön ja häiriötön ajokausi seuraavaan vuosihuoltoon asti. Laitoksissa suoritetaan myös säännöllistä kunnonvalvontaa erilaisilla mittauksilla sekä aistinvaraisilla tarkistuksilla. Vuosihuoltojen yhteydessä tuotantolaitoksilla suoritetaan toimenpiteitä, joita ei ajo-

kaudella pystytään tekemään. Tällaisia kunnossapitotoimenpiteitä ovat painelaitetarkastukset, polttimien huollot, kattiloiden pesut, turbiinien huollot (kuva 7) ja suodattimien vaihdot.



Kuva 7. Lielahden voimalaitoksen kaasuturbiinin huoltoa jaksotetun vuosihuollon yhteydessä. (Kuva: Jaakko Manninen 2015)

#### 4.4 Kaukolämpöpumppaamoiden kunnossapito ja sen ongelmakohdat

Kaukolämpöpumppaamoiden kunnossapito perustuu vain rasvausten ja ilmansuodattimien osalta jaksottaiseen kunnossapitoon. Isompia huoltoja, kuten esimerkiksi akseliivisteiden ja laakerien vaihtoväliä ei ole määritetty vaan huollot perustuvat enemmän häiriökorjauksiin. Tällöin korjaus suoritetaan vasta, kun huomataan jonkun laitteen osan vikaantuminen. Kaukolämpöpumppaamoiden kunnossapitoa varten on tehty pienimuotoinen huolto-ohje. Ohjeistus on tehty vuonna 2010, joten se ei ole enää ajan

tasalla, sillä pumppaamoihin on tehty muutoksia vuosien saatossa ja esimerkiksi osa ohjeessa olevista pumppaamoista on poistettu käytöstä.

Kunnonvalvonta pumppaamoissa perustuu aistinvaraisuuteen, käyttöhenkilöstö käy noin kolmen vuorokauden välein tekemässä aisteihin perustuvan tarkastuksen. Kunnossapitohenkilöstö suorittaa myös värähtelymittauksia kannettavalla mittalaitteella pumppaamoissa, mikäli tarvetta sille ilmenee. Aistinvaraisuuteen perustuvassa kunnonvalvonnassa valvojan pitäisi omaksua pumppaamoissa oleva meteli ja kyetä huomaamaan sen muutokset ja raportoimaan niistä eteenpäin. Jos pumppu on esimerkiksi ”aina” pitänyt ääntä, siitä ei huomata raportoida, ja mahdollinen kunnossapitoa vaativa vika jää korjaamatta.

Tavallisimpia kaukolämpöpumppaamoiden kunnossapidollisia toimia ovat ilmastoinnin suodatinten vaihdot sekä voiteluhuolto, mutta myös suurempia häiriökorjauksia kuten akselitiivisteiden vaihtoja joudutaan tekemään, kun kunnonvalvonnan yhteydessä huomataan pumpun vuotavan vettä lattialle (kuva 8).





Kuva 8. Akselitiivisteiden hajottua vesi pääsee valumaan kaukolämpöpumpusta lattialle (Kuva: Jaakko Manninen 2018)

Tiivisteiden pettäminen on ongelmallista silloin, jos se tapahtuu kriittisellä hetkellä ajokaudella, eikä varaosia löydy Sähkölaitoksen omasta varastosta. Pumppujen taso-tiivisteiden pitkäaikainen säilöminen varastossa tekee tiivisteet käyttökelvottomiksi niiden kuivuessa koviksi. Uusien tiivisteiden toimitusaika riippuu toimittajasta, jolta niitä on tilattu, mutta on epätodennäköistä, että tiivistettä saataisiin seuraavaksi päiväksi.

Opinnäytetyötä varten suoritettiin kaikkiin Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämpöpumppaamoihin tietojenkeräyskäynti. Käynneillä kerättiin tiedot pumppaamojen kaukolämpöpumpuista sekä ilmastointijärjestelmistä. Tiedot kerättiin Solax-järjestelmän tietojenlisäystä varten sekä huolto-ohjeen päivittämiseen.

Kaukolämpöpumppaamoiden huolto-ohjeen ollessa vanhentunut ja suppea (Liite 5) on tätä opinnäytetyötä varten tehty siitä päivitetty versio (Liite 6). Päivitettyyn versioon on lisätty tarkempia tietoja kaukolämpöpumppaamoiden laitteistosta. Uusi ohjeistus ja sen ajan-tasalla olevat tiedot mahdollistavat esimerkiksi sen, että vikaantumistilanteissa voidaan välttää turhaa käyntiä kohteessa ja alkaa ohjeessa olevien tietojen perusteella selvittämään varaosien saatavuutta.

Tampereen Sähkölaitoksella on käytössä Solteq Oyj:n toimittama Solax-toiminnanohjausjärjestelmä. Solax-järjestelmän pohjana on Microsoft Dynamics AX2012 -teknologia. Solax-järjestelmän avulla voidaan koordinoita kunnossapidon ja huollon resursseja. Järjestelmään voidaan kirjata huollettavan kohteen laitteet sekä niiden huoltohistoriatiedot. Kaukolämpöpumppaamoiden osalta Solax-kohdetiedot ovat puutteellisia, monen pumppaamon laitteistojen tiedot puuttuvat tai ne ovat virheellisiä. Solaxin ollessa kunnossapitoa ohjaava työkalu, on tärkeää, että sieltä löytyy kaikki kunnossapidettävien laitteiden kohdetiedot. Solaxiin voidaan kirjata esimerkiksi kaukolämpö-

pumpun valmistajan antamat tiedot, kuten sarjanumero, tuotto, nostokorkeus ja pyörimisnopeus sekä laitteen huoltohistorian tiedot (kuva 9). Opinnäytetyötä varten kaukolämpöpumppaamojen kohdetietoja korjattiin ja päivitettiin (kuva 10).

**TET-000664 , TESOMAN MENOPUMPPU**

Nimi:	TESOMAN MENOPUMPPU	Versio:	1
Nimi 2:		Version luontipäivämäärä:	1.6.2018
Nimi 3:			


**▲ Tuotetiedot**

**Tuotetiedot**


Valmistaja:

Valmistajan tyyppi/malli:

Valmistusvuosi:

Asennuspäivä:  

Takuun kesto (kk):


Takuun päättymispäivä:  

Sarjanumero:

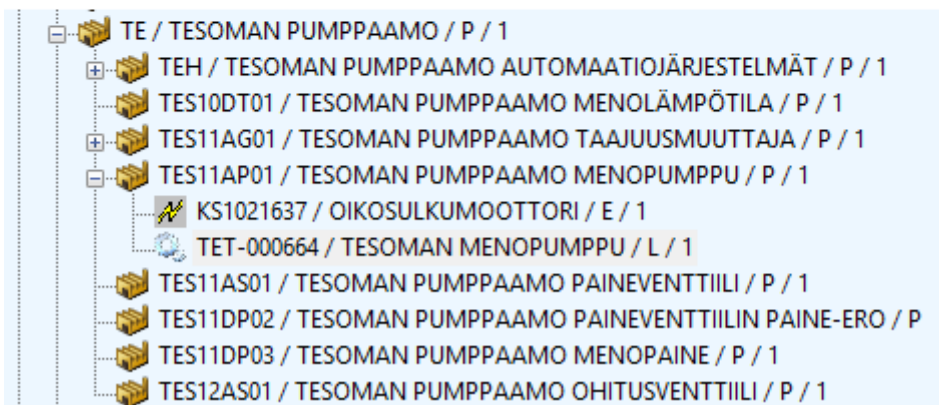
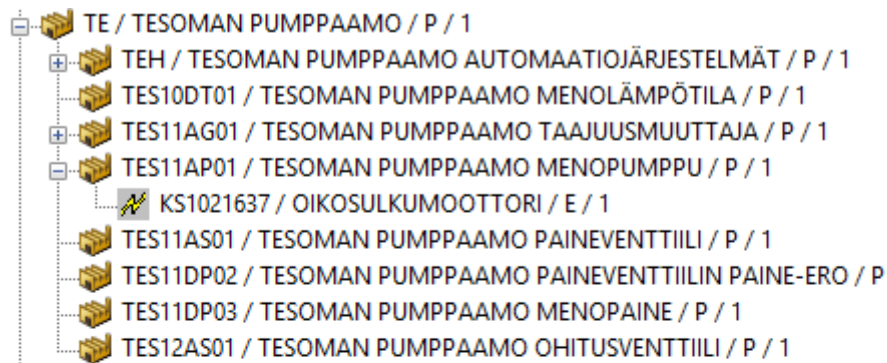
Toimittaja:

**▲ Ominaisuudet**

Uusi  Poista

<input type="checkbox"/>	Tunnus	Nimi	Selite	Teksti	Numero	Päivämäärä
<input type="checkbox"/>	179	Tuotto [l/s]		140 	0,00	00:00:00
<input type="checkbox"/>	183	Pyör.nop [r/min]		12...	0,00	00:00:00
<input type="checkbox"/>	X994	Nostokorkeus [m]		28	0,00	00:00:00

Kuva 9. Esimerkki kaukolämpöpumpun tietojen näkymisestä Solaxissa (Solax).



Kuva 10. Esimerkki Solax –näkökulmasta, jossa pumpun kohdetieto kortti puuttuu sekä siitä, kun se on lisätty järjestelmään (Solax).

#### 4.5 Kaukolämpöpumppujen käytön ongelmat

Pumppaamoiden kaukolämpöpumppujen käytössä on ollut erimielisyyksiä sellaisissa pumppaamoissa, joissa on mahdollisuus käyttää kahta pumppua. Kahdennettuja eli ns. varapumppulla varustettuja pumppaamoita on Tampereen Sähkölaitoksella muutamia. Kahdennetuissa pumppaamoissa on kaksi pumppua, joista vain yhtä voidaan kerralla ajaa. Erimielisyyksiä on tuottanut se, kuinka pumppujen käyttötuntien tulisi jakaantua kahdelle pumpulle niin, että pumppaamon tuotannossa pysyminen voitaisiin taata sekä se, missä välissä pumppujen huoltaminen olisi järkevintä. Yksi tapa käytölle on ajaa vain toista pumppua ja pitää toista varalla. Tällaisessa tilanteessa on kuitenkin mahdollista, että toinen pumppu vikaantuu pitkäaikaisesta seisonnasta eikä sitä saadakaan

tuotantoon tarvittaessa. Käytettäessä taas samaan aikaan uusittuja tai peruskorjattuja pumppuja tasaisin käyttötunnein on todennäköistä, että niiden vikaantumisen ajankohdat ajoittuvat lähelle toisiaan.

#### 4.6 Voiteluhuolto

Ehkäisevän kunnossapidon yksi tärkeimpiä osatoimintoja teollisuuslaitoksissa on voiteluhuolto. Voiteluaineen tärkein tehtävä on kitkan alentaminen, mutta useimmiten voiteluaineella on muitakin ominaisuuksia. Voiteluaineita käytetään teollisuudessa kitkan alentamisen lisäksi esimerkiksi vähentämään kulumista, lämmön poisjohtamiseen ja siirtämiseen, epäpuhtauksien poistoon, tiivistämiseen sekä tehon siirtoon. Voiteluaine tulee valita siten, että sen ominaisuudet vastaavat käyttökohteen tarpeita. Voiteluhuolto on merkittävä tekijä teollisuudessa koneiden tehojen, paineiden, kierroslukujen ja rasitusten ollessa suuria. Hyvin suunnitellulla ja toteutetulla voiteluhuollolla voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä sillä se pidentää koneiden käyttöikää, vähentää tuotannon seisahduksia ja laskee varaosakustannuksia. (Hyvärinen & Kettunen 1986, 6)

Kaukolämpöpumppaamoilla suoritetaan voiteluhuoltoa jaksottaisen kunnossapidon toimenä pumppuihin sekä pumppuja pyörittäviin sähkömoottoreihin. Pumppaamoiden jaksoittaista voiteluhuoltoa varten on tehty rasvauskansio (liite 7), johon on määritelty pumppujen sähkömoottoreiden osalta voiteluvälit ja rasvan lisäysmäärät. Suurimassa osassa kaukolämpöpumppaamoiden pumppuja on rasvanipat. Rasvana kunnossapito henkilökunta on käyttänyt Mobil SHC 100 rasvaa. Muutamassa pumppaamossa on öljyvoidellut pumput, joiden voiteluun käytetään Mobil DTE Medium öljyä.

Kaukolämpöpumppaamojen voiteluhuolto on ongelmallista pumppujen käynnissäoloaikojen vuoksi. Pumppaamoiden pumppujen käynnissäoloaika vaihtelee kaukolämmön kulutusvaihtelun mukaan. Pumppaamoiden pumppujen käyntiaikaan vaikuttaa myös verkon rakenne ja uudistusten vuoksi toisten pumppaamojen käyntiajat ovat pienentyneet. Rasvausta varten pumpun tulee olla käynnissä. Tämä tarkoittaa sitä, että

rasvauksen hoitavan konemiehen tulee mennä pumppaamolle silloin, kun se on käynnissä tai mukana tulee olla henkilö, joka pystyy ajamaan pumppua paikanpäältä. Vaihtoehtoisesti konemiehet tulee kouluttaa itsenäisesti käyttämään pumppua voiteluhuoltoa varten.

## 5 VÄRÄHTELYMITTAUKSET

Värähtelymittaus on teollisuudessa yleisesti käytössä oleva kunnonvalvontamenetelmä. Värähtelymittausta käytetään pyörivien koneiden ja laitteiden kuten pumppujen, sähkömoottorien, laakeripesien ja vaihteiden kunnonvalvonnassa. Käyttökelpoisen värähtelymittaustuloksen saaminen on monimutkainen prosessi, joka vaatii suunnittelua ja monien asioiden huomioon ottamista.

Onnistuneen värähtelyvalvonnan pohjaksi tulee ymmärtää mittauksen kohteena olevan laitteen toimintaperiaate, mahdolliset vikaantumismekanismit sekä prosessi, johon laite on kytketty. Värähtelymittausta määritellessä tulee arvioida mittausten tiheys. Värähtelyn mittaustiheyden tarpeeseen vaikuttaa laitteen kriittisyys tuotannon kannalta, mahdollisten vikojen kehittymisnopeus ja se, minkälaiset viat ovat todennäköisiä.

Mittauksessa käytettäviin suureisiin ja parametreihin vaikuttaa esiintyvien vikojen tyyppi. Vikatyyppi määrittää myös mittauksissa käytettävän taajuuden sekä sen, tarvitaanko useita mittauksia.

Mittauksen kohteena olevan laitteen toimintaympäristö vaikuttaa myös värähtelymittaustoimenpiteisiin. Laitteen sijainnilla on vaikutus siihen, voidaanko mittaus suorittaa kannettavalla mittalaitteella vai pitääkö siihen asentaa kiinteä mittausjärjestelmä. Ympäristössä saattaa esiintyä myös mittaustulosta häiritseviä taajuuksia.

Mittauksiin käytettävä mittauslaitteisto tulee ottaa huomioon mittausta suunniteltaessa. Mittausta suunniteltaessa on hyvä tietää, onko saavutettava hyöty tarpeeksi suuri

mittauskalustoon kuluvaan rahalliseen investointiin nähden. Mittauslaitteistoa miettiessä tulee ottaa huomioon, onko tieto poikkeavasta tilanteesta riittävä vai pitääkö pystyä määrittämään tarkempaa diagnostiikkaa viasta.

(Mikkonen ym.2009, 223).

Laitteiden kunnonvalvonnalle värähtelymittauksen avulla on pitkät perineet. Ennen elektroniikan kehityksen tarjoamia mittauslaitteita ja antureita, värähtelyä arviotiin aistinvaraisilla menetelmillä. Laitteen kuntoa voitiin arvioida esimerkiksi kuuntelemalla sitä sauvan tai ruuvimeisselin avulla. Käytettäessä sauvaa tai ruuvimeisseliä pyörivän laitteen kuunteluun saadaan arvioitua värähtelyn suuruus, mutta numeerista vertailukelpoista dataa ei aistinvaraisilla menetelmillä kyetä saamaan.

Ensimmäiset kiinteät värähtelyanturit olivat mekaanisia värähtelyn siirtymäarvon näyttäviä kojeita. Kojet asennettiin suoraan kiinni värähtelevään kohteeseen, joka rasitti mitattavaa rakennetta, toimivat vain suhteellisen alhaisella taajuudella ja vaativat suuren värähtelyamplitudin toimiakseen oikein. Mekaaniset anturit kuuluivat nopeasti ja niiden suuntaus oli tarkkaa. Mekaanisen anturin värähtelytasot siirtyivät piirturin välityksellä paperille.

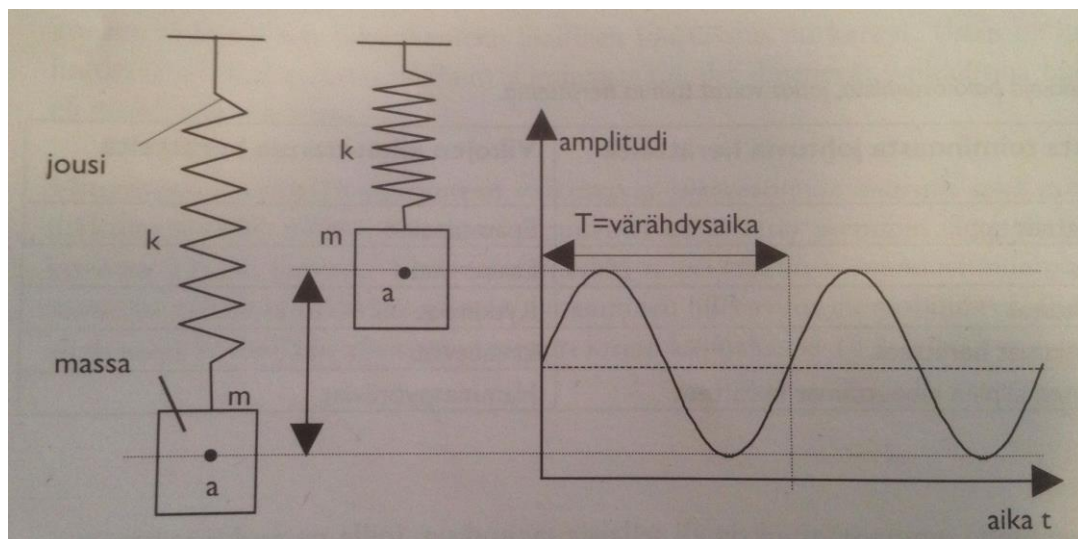
Värähtelymittauksen luonne muuttui oleellisesti, kun mittausanturit muuttuivat toimintaperiaatteeltaan sähköisiksi. Mittalaitteen avulla pystytään muuttamaan sähköinen värähtelyyn verrannollinen signaali jännitteeksi ja näin ollen se saadaan vertailukelpoiseen muotoon. Nykyiset värähtelyn mittauksessa käytettävät anturit voidaan jakaa nopeus, kiihtyvyys ja siirtymäantureihin. Kaikki anturit mittaavat värähtelyä, mutta niiden toimintaperiaatteissa on eroja.

(Mikkonen ym.2009, 234).

## 5.1 Värähtelymittauksen teoria

Värähtelymittausta suunniteltaessa on tunnettava signaalinkäsittelyn ja mittaamisen teoriaperusteita, jotta pystyy tulkitsemaan mittalaitteen antamaa informaatiota oikein. Modernit mittausräätälöidyt ovat käyttäjäystävällisiä, eivätkä vaadi käyttäjältään erityistä matemaattista osaamista. Usein kiinnostus ja huolellinen suhtautuminen yksityiskohtiin riittää.

Jokainen pyörivä laite värähtelee käydessään. Laitteen värähtelykäytöstä voidaan kuvata jousi-massasysteemin avulla kuten kuvassa 11.



Kuva 11. Laitteen värähtelyn havainnollistaminen aikatasossa jousi-massasysteemin avulla (Mikkonen ym.2009, 226).

Laitteen värähtelyn aiheuttavia voimia kutsutaan herätteiksi. Herätteinä laitteen käydessä voivat toimia erilaiset dynaamiset voimat, jotka saattavat aiheutua laitteen tavallisesta toiminnasta, valmistuksen tai asennuksen epätarkkuuksista tai vikaantumisesta. Tavallisen toiminnan herätteitä voivat olla esimerkiksi erilaiset venttiili-, mäntä- ja kampiakselikoneistojen tekemät liikkeet. Tyypilliset epätarkkuudet ja viat, jotka voivat toimia värähtelyn herätteinä ovat esimerkiksi valmistuksessa tai asennuksessa epätasapainoon jääneet osat sekä kuluneet tai muulla tavalla vaurioituneet osat.

Värähtelyn mittauspaikka sijaitsee yleensä laitteen rungossa tai muussa kiinteässä osassa, sillä tavallisesti herätteen aiheuttavat liikkeessä olevat koneenosat, joista värähtelyä ei voida suoraa mitata. Vianmääritystä tehdessä värähtelymittauksen avulla keskitytään yleensä herätteissä tapahtuvien muutosten selvittämiseen.

Voimakkaan värähtelyn syy saattaa löytyä koneen suuresta liikkuvuudesta jollakin herätevoimataajuudella. Suureen liikkuvuuden voi aiheuttaa koneen osan tai tukirakenteen suuri joustavuus tai keveys.

(Mikkonen ym.2009, 223).

## 5.2 Mittasuureet

Laitteiden kunnonvalvonnan mittasuurena tarkoituksesta riippuen voidaan käyttää kiihtyvyyttä ja siirtymää, mutta yleisimmin käytössä on värähtelynopeus. Matemaattikkaa apuna käyttäen nopeus saadaan derivoimalla siirtymä kerran ajan suhteen ja kiihtyvyys saadaan, kun derivoidaan siirtymä kaksi kertaa ajan suhteen tai nopeus yhdenkerran. Nopeuden, kiihtyvyyden ja siirtymän yhteys voidaan havainnollistaa käsittelemällä nopeus siirtymän eli paikan muutosnopeudeksi ja kiihtyvyys vastaavasti nopeuden muutosnopeudeksi.

Värähtelynopeus on yleisimmin käytössä oleva mittasuure sen vasteen ollessa sopivin niillä taajuuksilla, mistä ollaan yleensä kiinnostuneita, tästä huolimatta mittaajaan on tärkeä osata käyttää myös muita mittasuureita tarpeen niin vaatiessa. Perussääntönä on, että nopeus on käyttökelpoinen taajuusalueella 10Hz – 1000Hz. Kymmentä hertsiä matalimmilla taajuuksilla siirtymä on käyttökelpoisin ja yli tuhannen hertsin kiihtyvyys on käyttökelpoisin.



Mittausanturina kunnonvalvonnassa käytetään yleisesti kiihtyvyyssanturia sen tyypillisiin mittauksiin soveltuvien ominaisuuksien ja kohtuullisen hinnan takia. Mittalaitteet muuntavat yleensä kiihtyvyyden nopeudeksi. Mittauksissa käytetään suureina niin nopeutta, kiihtyvyyttä kuin siirtymääkin, joten mittaajaan tulee olla tarkkana tulkitessaan tuloksia.

(Mikkonen ym.2009, 227-229).

### 5.3 Herätetaajuudet

Värähtelymekaniikassa käytetään pakkovoima -käsitettä sellaisesta herätteestä, joka kohdistuu rakenteeseen. Pakkovoimat saattavat johtua koneessa olevasta viasta tai ne voivat olla koneen normaalista käynnistä johtuvia. Värähtelymittauksissa ominaistaajuudet ovat sellaisia taajuuksia, joilla rakenteet pyrkivät herätteen vaikutuksesta värähtelemään. Ominaisvärähtelyt aiheuttavat suuren osan rakenteellisista värähtelyongelmista. Ominaistaajuuksia voidaan käyttää hyväksi joissakin mittausmenetelmissä kuten PeakVue ja verhoikäyrämittauksessa. Iskusysäysanturi perustuu myös ominaistaajuuden käyttöön sillä vaurioiden aiheuttamat iskut herättävät anturin ominaistaajuudet. Resonanssi on ilmiö, joka aiheutuu silloin kuin herätetaajuus ja ominaistaajuus ovat lähellä toisiaan aiheuttaen voimakasta värähtelyä. Kriittinen nopeus on tilanne, jossa herätevoiman taajuutena toimii laitteen pyörimistaajuus. Laitteen mikään ominaistaajuus ei saisi sijaita pyörimistaajuuden läheisyydessä koska pyörimistaajuudella ilmenee aina jonkinasteista värähtelyä.

(Mikkonen ym.2009, 225-226).

#### 5.4 Värähtelymittauksen parametrit

Värähtelymittaustulosten oikein tulkitsemiseksi on tunnettava mittaukseen liittyviä parametrejä. Huippuarvo kertoo itseisarvoltaan suurimman huipun korkeuden aikatasosignaalisissa verrattuna nollassa. Peak to Peak -arvo on yleensä kaksinkertainen huippuarvoon verrattuna. Peak to Peak -arvo kertoo suurimman ja pienimmän arvon erotuksen. Värähtelyn sisältämällä energialla on yhteys tehollisarvoon. Tehollisarvo siniaallolle on huippuarvo jaettuna luvulla  $\sqrt{2}$  eli 0,707 kertaa huippuarvo. Vaihekulma määrittää jakson paikan, johon värähtely on edennyt vertailukohdasta. Crest factor eli huippukerroin on suhdeluku, joka saadaan jaettaessa huippuarvo tehollisarvolla. Crest factor kuvaa signaalin piikkikyvyttä ja kohonnut arvo viittaa usein iskumaisiin heränteisiin eli esimerkiksi laakerivaurioihin.

#### 5.5 Pietsosähköiset kiihtyvyyssanturi

Pietsosähköisestä kiihtyvyyssanturista on tullut yleisin värähtelymittausanturi sen hyvien ominaisuuksien vuoksi. Pietsosähköinen kiihtyvyyssanturi on fyysiseltä kooltaan pieni eikä se näin ollen juurikaan vaikuta mittaustilanteen värähtelyyn. Anturi ei sisällä kuluvia eikä liikkuvia osia ja se on helppo asentaa. Anturin kattama taajuusalue ulottuu hertsin osista satoihin kilohertzeihin. Ulkoiset ympäristöolosuhteet eivät juurikaan vaikuta anturin toimintaan.

Pietsosähköinen kiihtyvyyssanturi koostuu rungosta, seismisestä massasta ja näiden välissä olevasta pietsoelementistä. Kiihtyvyyssanturi asennetaan mittaustilanteeseen siten, että anturi liikkuu kohteen mukana, jolloin anturissa olevaan seismiseen massaan kohdistuu mekaniikan toisen peruslain mukainen voima  $f = ma$ . Sähköinen kiihtyvyyttä vastaava signaali saadaan, kun pietsoelementtiin kohdistuva voimaan verrannollinen varaus johdetaan vahvistimeen. (Mikkonen ym.2009, 237-238).

## 5.6 Etäkunnonvalvonta pumppaamoihin

Kunnonvalvonta pumppaamoissa on perustunut aistinvaraisuuteen sekä satunnaisiin värinämittaus kierroksiin. Optimoidessa kunnossapitoa tuli kaukolämpöpumppaamoiden kunnonvalvonnan päivittäminen aiheelliseksi. Opinnäytetyön teon alkuvaiheessa pidettiin palaveri Jokilaakerissa SEW:n ja Schaefflerin:n edustajien kanssa käsitellen pumppujen ja moottoreiden etävalvontaa. Palaverin yhteydessä päätettiin ottaa Schaefflerin:n toimittamat etäkunnonvalvonta laitteet koekäyttöön Partolan ja Alasenjärven kaukolämpöpumppaamoihin. Koekäytöstä saatujen tulosten perusteella arvioidaan tulisiko anturit ottaa käyttöön myös muissa kohteissa Tampereen Sähkölaitoksella. Partolan ja Alasenjärven pumppaamoiden pumput ja sähkömoottorit valittiin koekäyttökohteiksi niiden kriittisyyden vuoksi.

Schaefflerin:n toimittamat Fag SmartCheck -anturit tarjoavat innovatiivisen ja edullisen online -mittausjärjestelmän jatkuvaan koneiden kunnonvalvontaan. Järjestelmä on helppokäyttöinen ja modulaarisesti laajennettavissa muuttuvien olosuhteiden mukaisesti. SmartCheck-järjestelmän ominaisuuksia ovat esimerkiksi pieni ja kestävä ulko-kuori, edullinen yksikköhinta, itsenäinen toiminta, kyky valvoa eri prosessiparametrejä ja sisäänrakennetulla muistilla tapahtuva koneen tilan kehittymisen seuranta pitkällä aikavälillä. (FAG SmartCheck 2012, 2-4.)

## 5.7 Etäkunnonvalvontajärjestelmän käyttöönotto

Etäkunnonvalvonnan koekäyttöä varten Tampereen Sähkölaitokselle toimitettiin 6 kpl Fag SmartCheck -antureita (kuva 12) ja 2 kpl teollisuuskäyttöön tarkoitettuja langattomalla verkkoyhteydellä toimivia modeemeja (kuva 13). Langattomia modeemeja ei tarvita silloin, jos kohteessa on verkkoyhteys valmiina ja anturi voidaan kytkeä suoraan Ethernet-kaapelilla olemassa olevaan verkkoon. Langattoman modeemin avulla etäkunnonvalvontajärjestelmä voidaan koekäyttöjakson aikana siirtää myös kohteisiin, jossa ei ole verkkoyhteyttä valmiina.



Kuva 12. Fag SmartCheck anturi  
(Kuva: Jaakko Manninen 2018)



Kuva 13. Teollisuuskäyttöön vankasti koteloitu modeemi ja sen virtalähde  
(Kuva: Jaakko Manninen 2018)

Mittausta varten pumppaamoiden pumppujen sähkömoottoreihin ja pumpun runkoon kiinnitettiin adapterit, joihin SmartCheck-anturit asennettiin. Anturit asennettiin sähkömoottorin molempiin päihin sekä yksi pumpun runkoon. Pumpun akselin laakeroinnin välin ollessa yli 500mm olisi aiheellista asentaa myös pumpun runkoon kaksi anturia. Modeemi yhdistettiin antureihin kaapeleilla, jonka jälkeen etäkunnonvalvontajärjestelmä on toimintavalmis (kuva 14).



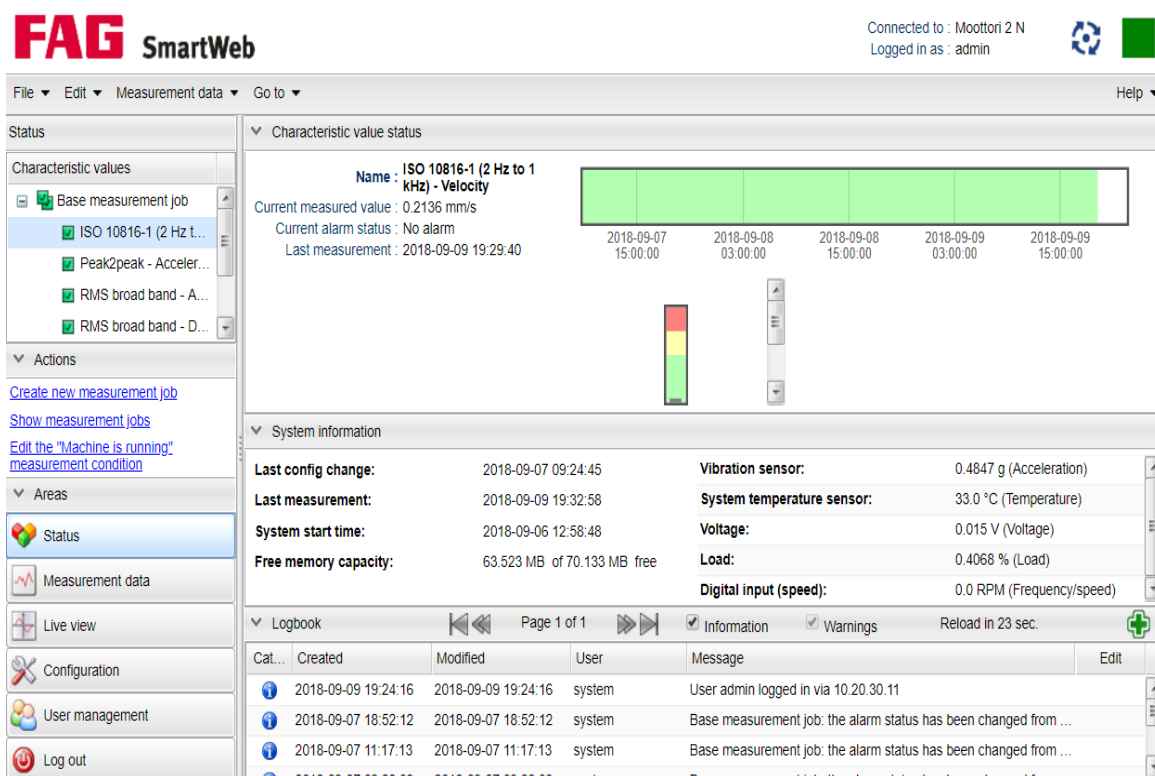
Kuva 14. Etäkunnonvalvonta järjestelmä käyttövalmiina  
(Kuva: Jaakko Manninen 2018)

### 5.8 Etäkunnonvalvonnan tietojen analysointi

Fag SmartCheck -kunnonvalvontajärjestelmä tarjoaa työkalut laajaan mittaustietojen analysointiin ja valvottavan koneen kunnan arviointiin. Fag SmartCheck -järjestelmän sisään rakennettu pietsosähköinen kiihtyvyyssanturi mahdollistaa, että kiihtyvyyssignaalista ja kiihtyvyyden verhoikärsignaalista saadaan yleiset ominaisarvot kuten: Peak to Peak -arvo, huippukerroin eli crest factor, lämpötila, RMS-laajakaistainen,

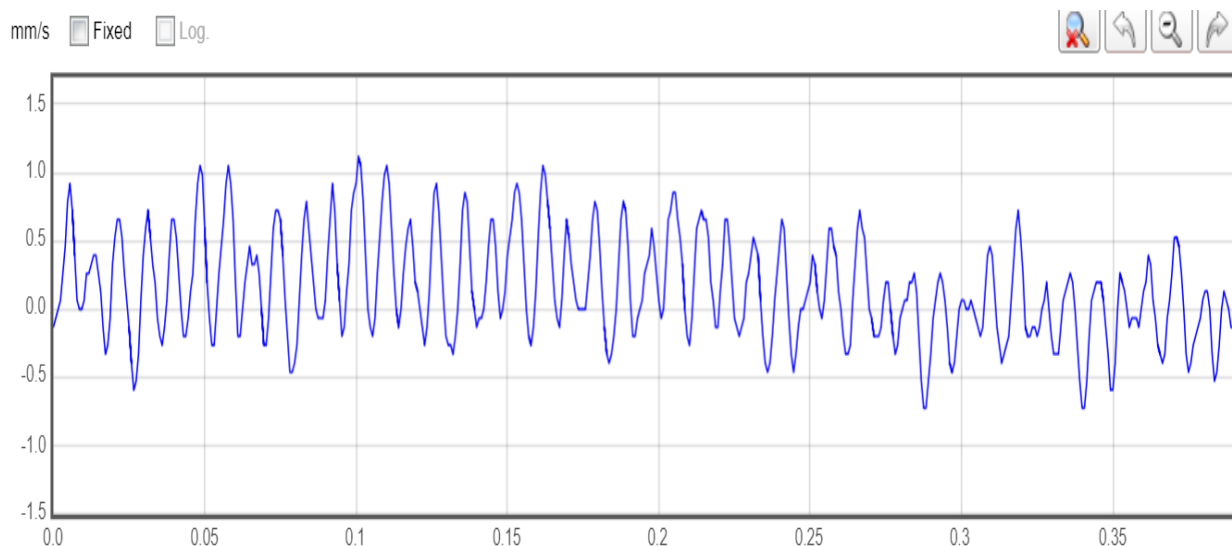
RMS-taajuusselektiivinen ja jaksottainen arvo. Anturiin integroiduilla konfigurointimalleilla on mahdollista räätälöidä myös taajuusselektiivinen kunnonvalvonta. Konfigurointimallien avulla on mahdollista havaita alkavat vauriot ajoissa esimerkiksi hihnapyörässä, akselissa tai tuulettimen siivessä. Tutkimalla yhdessä konfigurointimalleja sekä prosessiparametrejä kuten vääntömomenti, kierrosluku tai kuorma saadaan tarkka kuva vaurion kehittymisestä. (FAG SmartCheck 2012, 11).

Fag SmartCheck -antureihin on integroitu FAG SmartWeb -ohjelmisto, jonka avulla anturin keräämiä tietoja päästään analysoimaan. Sähkölaitoksella Yhteys FAG SmartWeb -ohjelmistoon hoidettiin tietoturvasyistä ottamalla ensin eCatcher-ohjelmalla suojattu VPN-yhteys pumppaamoille sijoitettuihin langattomiin modeemeihin. Yhteyden muodostamisen jälkeen SmartWeb-ohjelmisto saadaan näkymään verkkoselaimessa (kuva 15).



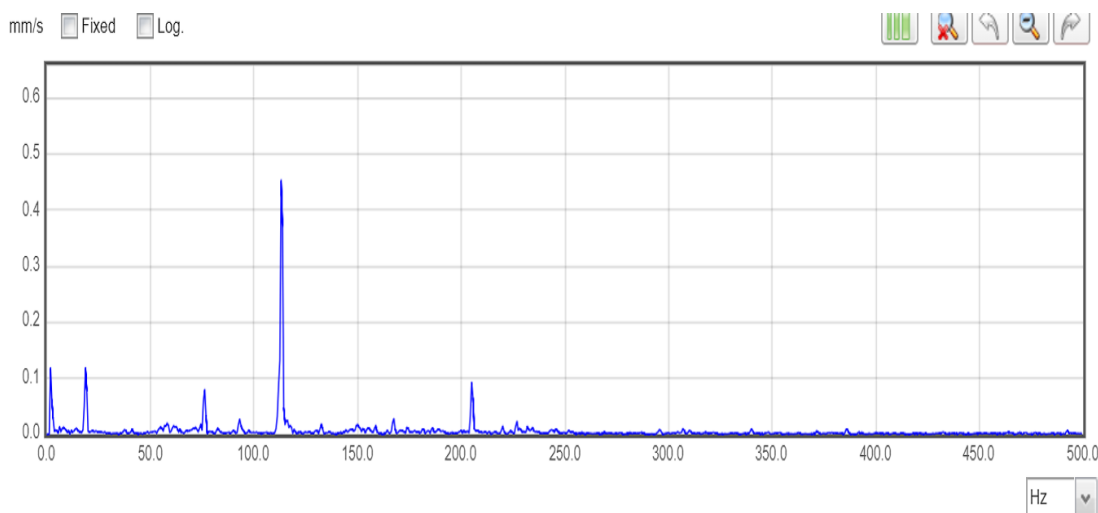
Kuva 15. FAG Smart Web -avautumisenäkymä Alasenjärven pumppaamon sähkömootorin N-pään anturista (FAG Smart Web).

Fag SmartWeb -ohjelmaan voidaan ensikäynnistyksen yhteydessä esimerkiksi määrittää hälytysrajat erilaisille mittaustiedoille, asettaa opetustoiminto päälle ja valita laakerimallit mitattavan laitteen mukaan. Järjestelmästä saadaan kytkemisen jälkeen välittömästi mittaustietoja analysoitavaksi. Live view -ominaisuudella pystytään tarkastelemaan esimerkiksi vallitsevaa värähtelytasoa (kuva 16). Live view -tilassa signaalia on mahdollista tarkastella niin aika kuin taajuustasossa (kuva 17). Taajuusspektrissä pylvään korkeudella kuvataan siniaallon amplitudia ja sen paikalla vaaka-akselin taajuutta, näin ollen spektristä on helpompi todeta eri taajuudet ja niiden amplitudit (Mikkonen ym.2009, 233-232).



s

Kuva 16. FAG Smart Web Live view -signaali Alasenjärven pumppaamon sähkömoottorin N-pään anturista aikatasossa. (FAG Smart Web)



Kuva 17. FAG Smart Web Live view -signaali Alasenjärven pumppaamon sähkömoottorin N-pään anturista taajuustasossa. (FAG Smart Web).

Antureiden tärkeä ominaisuus on mittaustietojen tallentaminen pitkältä aikaväliltä, josta voidaan luoda ns. trendianalyysi. Trendianalyysistä voidaan havaita pienetkin muutokset värähtelyn tasossa ja siitä saadaan kattava kuva vian kehittymisestä.

## 6 OPTIMOINTI

### 6.1 Pumppaamoiden kunnossapito

Pumppaamoiden kunnossapitoa tulee kehittää jaksoittaisemmaksi myös pumppujen kunnossapidon osalta. Keskipakopumpuissa kuluvia osia ovat akselitiiviste, akselin laakerointi ja juoksupyörä. Akselitiivisteiden vaihto tulisi ottaa osaksi jaksottaista kunnossapitoa ainakin kriittisissä pumppaamoissa, joita ei ole varustettu kahdella pumpulla. Akselitiivisteiden vaihdon yhteydessä voidaan tarkastaa myös juoksupyörän ja akselin laakeroinnin kunto. Luonnollinen aika kausittaiselle kunnossapidolle pumppaamoilla on kesällä, jolloin suurin osa pumppaamoista on käyttämättöminä ja kaukoläm-



pövesi on viileämpää. Ottamalla pumpput osaksi jaksottaista kunnossapitoa minimoidaan riskejä pumpun hajoamisesta kesken ajokauden ja näin ollen vältetään ansio-menetykset, jotka aiheutuvat turhista seisauksista. Turhien tuotantokatkoksien välttämiseksi paras tilanne olisi, jos jokainen pumppaamo varusteltaisiin kahdella pumpulla. Tämä on kuitenkin epärealistinen vaihtoehto, koska olemassa olevissa pumppaamoissa on jo nyt ahtaat tilat. Uusia pumppaamoja rakentaessa ja suunnitellessa tulisi huomioida mahdollisuus myös varapumpun asentamiseen.

## 6.2 Toiminnanohjausjärjestelmä

Solax-järjestelmän ollessa tärkeä osa Sähkölaitoksen kunnossapitoa oli sen päivittäminen pumppaamoiden laitetietojen kannalta oleellinen osa kunnossapidon optimointia. Kaukolämpöpumppaamoiden osalta Solax-kohdetiedot olivat puutteellisia, monen pumppaamon laitteiston tiedot puuttuvat tai ne ovat virheellisiä. Solaxin ollessa kunnossapitoa ohjaava työkalu on tärkeää, että sieltä löytyy kaikki kunnossapidettävien laitteiden kohdetiedot.

## 6.3 Huolto-ohje ja rasvauskansio

Kaukolämpöpumppaamoiden kunnossapito ohjeen päivittäminen nykytilannetta vastaavaksi ja lisäämällä siihen laitetiedot pumppaamoista helpottaa kunnossapitohenkilöstön toimintaa ja vähentää turhia käyntejä pumppaamoilla. Rasvauskansio tulisi päivittää koskemaan sähkömoottoreiden lisäksi myös pumppujen rasvauksia. Rasvauskansio voitaisiin siirtää esimerkiksi Exceliin ja jakaa se niin että se olisi kaikkien kunnossapidosta ja rasvauksesta vastaavien henkilöiden käytettävissä ja muokattavissa.

## 6.4 Käyttö

Kahdennettujen pumppaamoiden käytön tulisi mielestäni tapahtua siten, että kaukolämpöpumppuja pyrittäisiin käyttämään ajokaudella saman verran, jolloin pumppuille kertyisi tasaiset käyttötunnit. Tasaisin käyttötunnein ajettuna huoltoja ei tulisi tehdä peräjälkeen, vaan toinen huollettaisiin ensin ja toinen myöhemmin, jotta pumppujen teoreettiset vikaantumisajankohdat eivät olisi lähellä toisiaan. Jos päädytään käyttöperiaatteeseen, jossa käytetään vain toista pumppua ja pidetään toista varalla, tulee varalla olevaa pumppua pyörittää tasaisin väliajoin sen vikaantumisen estämiseksi.

## 6.5 Kunnonvalvonta

Järjestettäessä pumppaamoiden kunnonvalvonta online-järjestelmällä voidaan pumppaamoilla suoritettavat värähtelymittauskierrokset jättää pois. Online-järjestelmä mahdollistaa kunnonvalvonnan missä ja koska tahansa ilman fyysistä käyntiä pumppaamolla. Värähtelymittaustuloksia voi analysoida esimerkiksi puhelimella, jossa on verkkoyhteys. Etäkunnonvalvontajärjestelmän etu on myös tietojen tallentuminen pitkällä aikavälillä ja siitä muodostuva trendianalyysi, jonka perusteella vikatilanteen kehittymistä voidaan seurata. Etäkunnonvalvontajärjestelmän käyttöönotto kaikilla pumppaamoilla vaatisi Sähkölaitokselta investointeja. Yhden anturin yksikköhinta on noin 700€.

## 7 POHDINTA

Kunnossapidosta tehtävä opinnäytetyö oli minulle mieluinen, sillä olen työskennellyt kunnossapidon parissa ja pidän aihetta kiinnostavana. Opinnäytetyön tarkoitus oli parantaa Kaukolämpöpumppaamoiden kunnossapitoa niin kunnossapitojärjestelmän ja käytön osalta kunnossapidon näkökulmasta. Kunnossapitoon tehtävät parannukset olivat minulle selvempiä, kun taas pumppaamojen käyttöperiaatteeseen oli haastavaa ot-

taa kantaa eriävien mielipiteiden ja vähäisen henkilökohtaisen käyttötietämyksen takia. Huolto-ohjeen ja laitetietojen päivityksestä sekä tietojen lisäyksestä Solaxiin on varmasti hyötyä kaukolämpöpumppaamoiden kunnossapidolle. Kunnonvalvonta-anturien tarjoaman värähtelymittausdatan tarkempi analysointi ja vianmääritys jäi vain pintaraapaisuksi aiheen haastavuuden ja vain vähän aikaa toiminnassa olleiden mittalaitteiden takia.

Kaukolämpöpumppaamoille suorittamani tiedonkeräyskäynnit työllistivät yllättävän paljon, sillä kuvasin kaikkien pumppaamojen laitteiden tyyppikilvet. Tyyppikilpien kuvaamisen jälkeen kirjoitin niiden tiedot ylös huolto-ohjeeseen. Huolto-ohjeen teossa hyödynsin vanhaa ohjeistusta ja omaa kokemusta kunnossapidosta.

Opinnäytetyön teon ohessa sain olla osana alusta alkaen kunnonvalvontajärjestelmän käyttöönotossa aivan ensimmäisistä palavereista, modeemien ja antureiden konfigurointiin sekä itse asennustöihin ja antureiden tarjoaman informaation analysointiin. Etäkunnonvalvontajärjestelmän oltua vain vähänaikaa toiminnassa ei ole vielä päätetty, että ottaako Tampereen Sähkölaitos etäkunnonvalvontajärjestelmän laajempaan käyttöön.

Opinnäytetyöprojektin yhteydessä tutustuin myös Solax-toiminnanohjausjärjestelmän käyttöön. Nopean Solax-koulutuksen saatuaani lisäsin kaukolämpöpumppaamoiden tiedot käsin järjestelmään. Hyödynsin tietojen lisäyksessä aiemmin huolto-ohjeeseen keräämiäni laitetietoja. Tietojen lisäys Solaxiin yksitellen osoittautui aikaa vieväksi, kun laitteiden tietojen lisäksi monesta pumppaamosta puutuivat myös laitepaikkojen kansiot.

Lopuksi haluan kiittää opinnäytetyöprosessissa apuna olleita henkilöitä sekä erityisesti Lielahden voimalaitoksen kunnossapitoyksikön henkilöstöä.

## LÄHTEET

Anttila, O. 1993. Valoa, voimaa, vaurautta. Tampereen Kaupunki.

Energiaviraston www-sivut 2018. Viitattu 3.1.2012. <https://www.energiavirasto.fi/tehoreservijarjestelma> 2.1.2018

FAG SmartCheck. 2012. Espoo: Schaeffler Finland Oy. Viitattu 12.8.2018. [https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/\\_shared\\_media/08\\_media\\_library/01\\_publications/schaeffler\\_2/tpi/downloads\\_8/tpi\\_214\\_fi\\_fi.pdf](https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/tpi/downloads_8/tpi_214_fi_fi.pdf)

Hyvärinen, J. & Kettunen, T. 1986. Voiteluhuolto. Helsinki: Valtion painatuskeskus

Koskelainen, L., Saarela, R. & Sipilä, K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus.

Mikkonen H., Miettinen J., Leinonen P., Jantunen E., Kokko V., Riutta E., Sulo P., Komonen K., Lumme V., Kautto J., Heinonen K., Lakka S. & Mäkeläinen R. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito, käsikirja. Helsinki: KP-Media Oy

PSK Standardisointi www-sivut 2018. Viitattu 17.01.2018. <https://psk-standardisointi.fi/psk/yleista/>

PSK 6201. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. maintenance. Terms and definitions. 2011. 3. p. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 18.1.2018. <http://www.psk-standardisointi.fi>

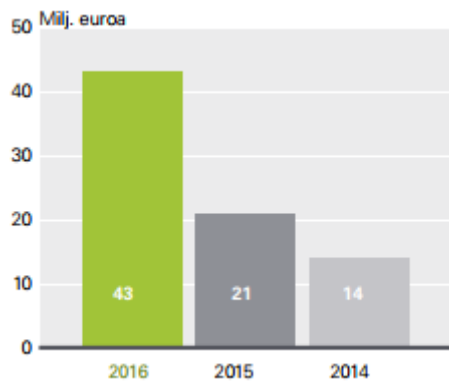
PSK 7501. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. Key performance indicators of maintenance for use in process industry. 2010. 2. p. PSK Standardisointiyhdistys ry. Helsinki: PSK. Viitattu 18.1.2018. <http://www.psk-standardisointi.fi>

Tampereen Sähkölaitoksen www-sivut 2017. Viitattu 11.12.2017. <https://www.sahkolaitos.fi/lampoja-ja-viileytta/lamporatkaisut/kaukolampoverkko/>

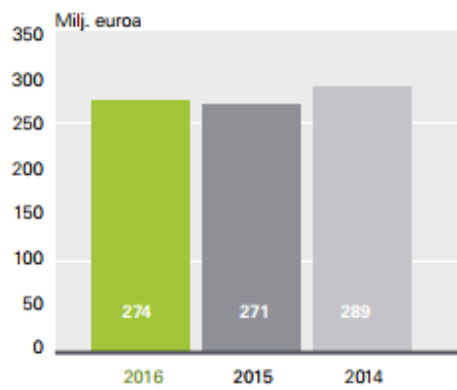
Toiva, O. 2017. Tampereen Sähkölaitos 130 vuotta. Tampere: Tampereen Sähkölaitos Oy.

Vuosiraportti 2016. Pdf-tiedosto Tampereen Sähkölaitoksen verkkosivulla. Viitattu 10.12.2017. <https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkolaitos/vuosiraportit-ja-tilinpaatokset/vuosikertomus-2016.pdf>

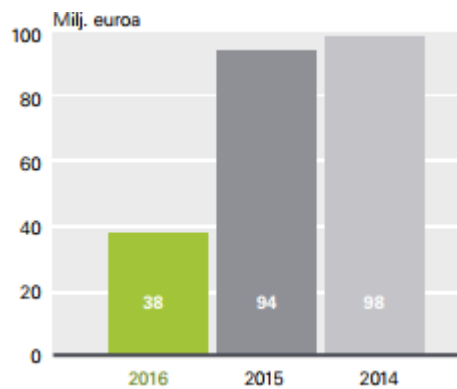
## Liite 1



Liikevoitto



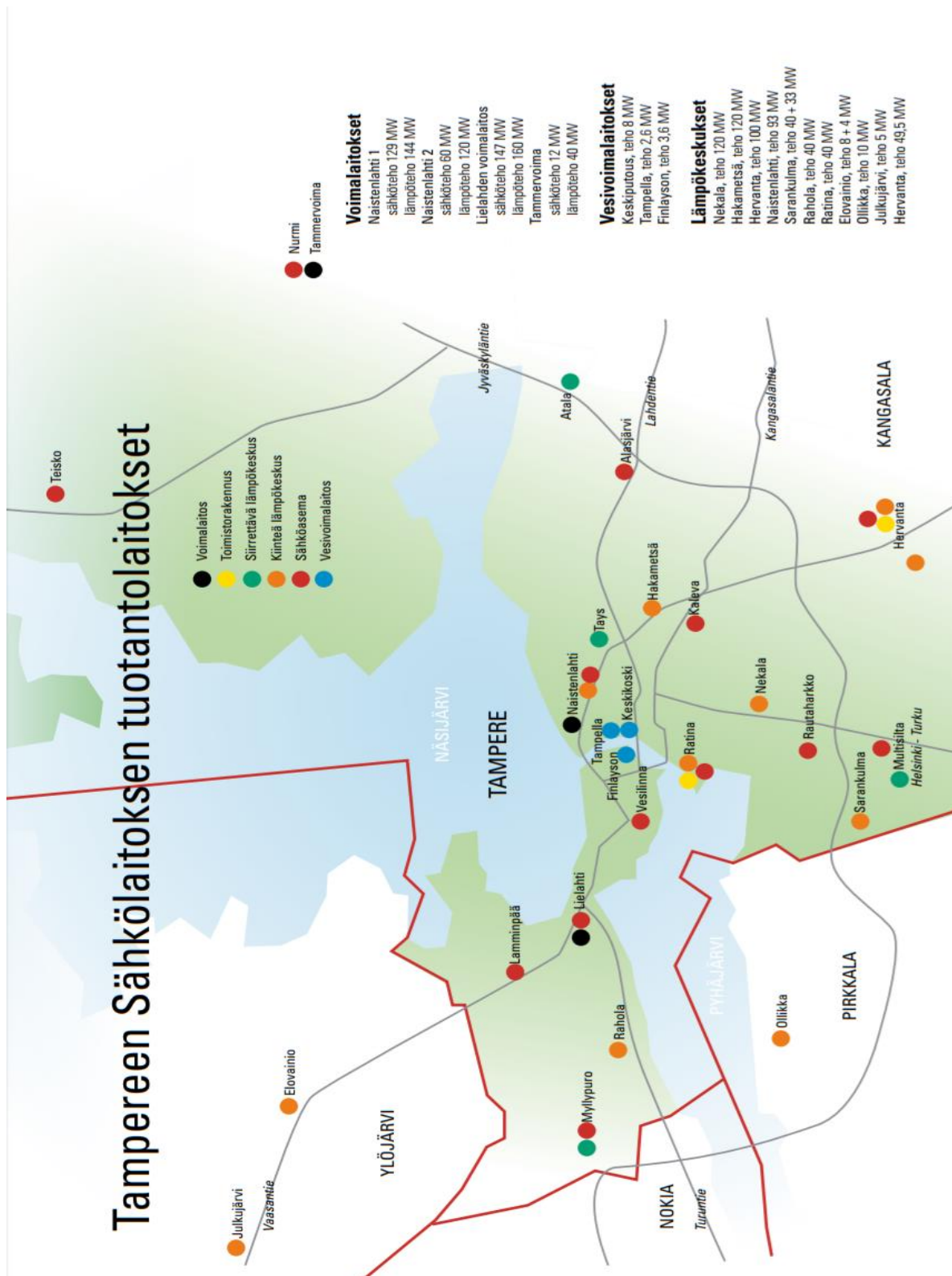
Liikevaihto



Investoinnit

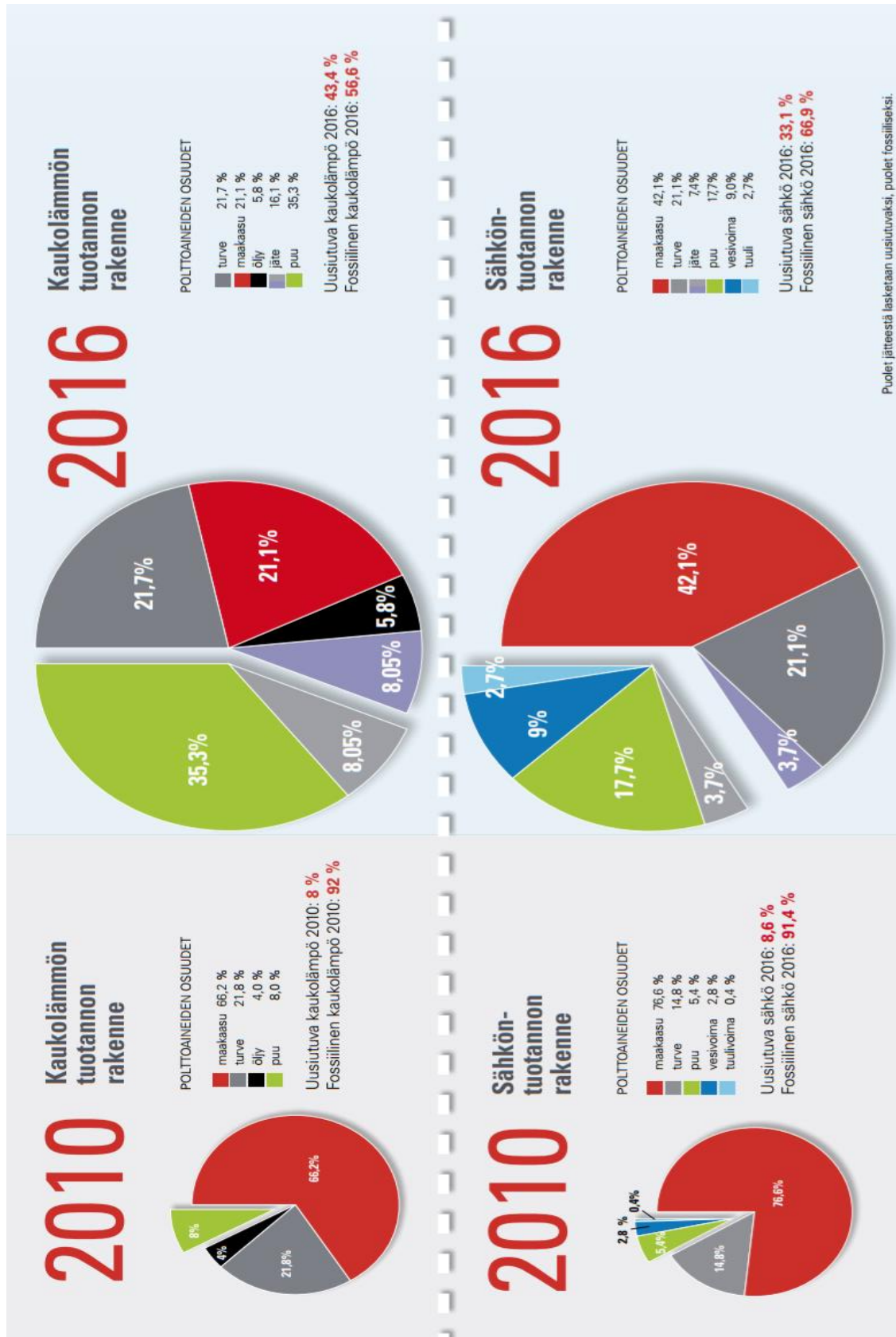
Liite 1: Tampereen Sähkölaitoksen taloustietoja. (vuosiraportti 2016).

## Liite 2

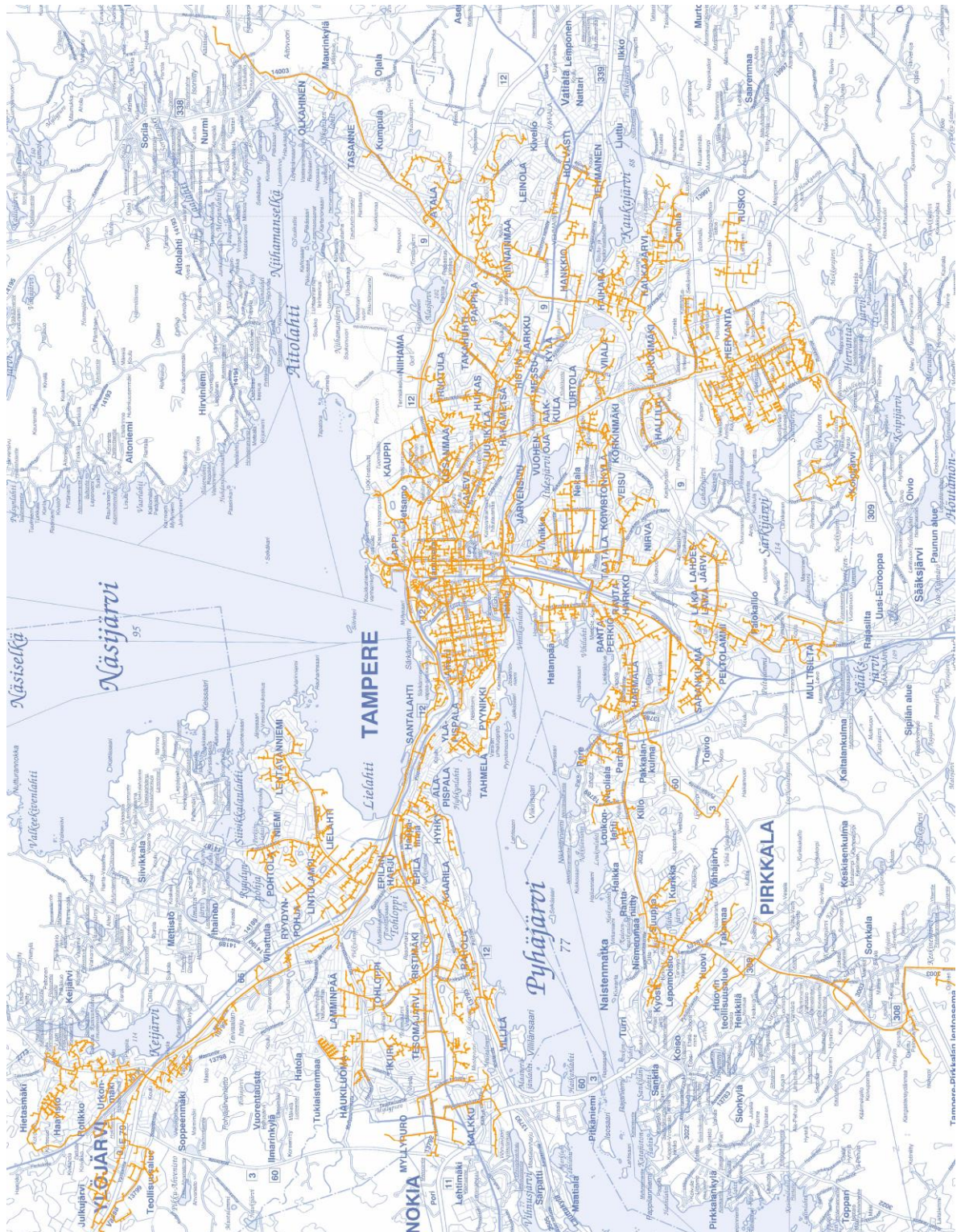


Liite 2: Tampereen Sähkölaitoksen tuotantolaitokset. (vuosiraportti 2016).

## LIITE 3




Liite 3: Tampereen Sähkölaitoksen käyttämät polttoaineet. (vuosiraportti 2016).



Liite 4: Kaukolämpöverkko Tampereella 6/2017. (Tampereen Sähkölaitoksen www-sivut 2017).



Kaukolämpöpumppaamoiden huolto-ohje	Hyväksyjä	Pvm	Versio
<p>1. Pyynikin pumppaamo Pyynikintie 14</p>   <p>Huolto: Rasvaus - sähkömoottori PYS51AP01</p>		15.11.2010	
<p>2. Santalahden pumppaamo Simppoonkatu 2</p>   <p>Huolto: Rasvaus - sähkömoottorit sekä pumput SLS01AP01 ja SLS02AP01</p>			

Liite 5: Kaukolämpöpumppaamoiden huolto-ohje esimerkki sivu (Kaukolämpöpumppaamoiden sijaintitiedot ja huolto-ohje 2010).

## Kaukolämpöpumppaamoiden huolto-ohje ja laitteistojen tiedot

-Pumppujen ja niiden sähkömoottoreiden rasvaukset ja öljynvaihdot suoritetaan rasvauskansion ja tämän ohjeistuksen mukaisesti.

-Tuloilman suodattimien vaihto vähintään 2 kertaa vuodessa keväällä ja syksyllä. Tuloilman suodattimia olisi hyvä pitää varastossa valmiina, jotta likaantuneet suodattimet voitaisiin nopeasti vaihtaa uusiin.

-Mutasihtien tarkastaminen ja puhdistaminen esimerkiksi parin vuoden välein ja pumppuhuoltojen yhteydessä.

-Aistinvaraiset tarkastukset aina pumppaamolla käytäessä

Aistinvaraisiin tarkastuksiin kuuluu:

- Pumpun ja moottorin käynnin kuuntelu (laakerivaurio)
- Pumppaamotilan sekä sen ympäristön silmämääräinen tarkastus
- Pumpun sekä muiden kaukolämpölaitteiden tarkastelu vuotojen varalta
- Ilmansuodattimien suodatuskyvyn tarkastelu sekä ilmanvaihdon toimivuuden arviointi

-Sähkömoottoreihin ja pumppuihin käytettävä rasva: Mobil shc 100

-Öljyvoideltuihin pumppuihin öljyksi: Mobil DTE Medium

Laakeripesän pintalämpötilan noustessa 15 °C, tulee voiteluväli lyhentää puoleen. Esimerkiksi laakeripesän lämpötilan ollessa 65 °C öljynvaihtoväli on 1 vuosi, mutta sen noustessa 75 °C asteeseen on se enää 6kk.

-Sähkömiesten tulee tehdä omat tarkastuskierroksensa, jossa he toteavat pumppaamoiden sähkölaitteiden asianmukaisen kunnon.

## Tesoman Pumppaamo

Tesomankatu 31

### Pumppu TES11AP01

Valmistaja: Sulzer

Malli: A42-150

Sarjanumero: 100091197

Pumpussa rasvanipat

Vm: 2011 H = 28 m

Q = 140 l/s n = 1288 1/min

Sähkömoottorin rasvaus: 4000h 40gr

Pumpun rasvaus: 6500h Juoksupyörän puoli 25g Kytkimen puoli 40g



### Tulopuhallin TEZ01AF02

Valmistaja: Lakefan

Malli: LF-P 40/8-8/B-0040-4/8 45

Sarjanumero: 1111203

Suodatin: G3 592x592 140 6

Vm: 2011

### Poistopuhallin TEZ01AF01

Valmistaja: Lakefan

Sarjanumero: 1111203

Vm: 2011

## Raholan Pumppaamo

Tesoman valtatie 31

### Pumppu RAS11AP01-Q1

Valmistaja: Sulzer

Malli: APP 41-300

Sarjanumero: 100028114

Pumpussa rasvanipat

Vm: 2005 H = 20 m

Q = 250 l/s n = 1480 1/min

Sähkömoottorin rasvaus:

10500h 70gr

Pumpun rasvaus: 4500h

Juoksupyörän puoli 25g

Kytkimen puoli 40g



### Tulopuhallin RAZ01AF02-FG41.1

Valmistaja: Koja

Malli: APS-040/280-8-10-4/8-K30-d24

Sarjanumero: 251 674 1001 10

suodatin: leikattava 500x620 kangas

Vm:2005



### Poistopuhallin RAZ01AF01

Valmistaja: Koja

Malli: APS 040/280-6-10-4/8-K30-d24

Sarjanumero: 251674 1001 20

Vm: 2005

## Partolan Pumppaamo

Ilmailunkatu 20

### Pumppu PRS11AP01

Valmistaja: Sulzer

Malli: APP 42-150

Sarjanumero: 100010143

Vm: 2003 H=13m

Q= 74 L/s n=940 1/min

Pumpussa rasvanipat

Sähkömoottorin rasvaus väli: 8500h 30gr

Pumpun rasvaus: 7500h Juoksupyörän puoli 25g Kytkimen puoli 40g



### Tulopuhallin PRZ01AF02

Valmistaja: Lakefan

Malli: AXL 400 - 9-4/8-25°

Sarjanumero: 1010286-1

Suodatin: G3 592x592 140 6

Vm:2010



### Poistopuhallin PRZ01AF01

Valmistaja: Lakefan

Malli: AXL 400 - 9-4/8-25°

Sarjanumero: 1010286-2

Vm:2010

## Lukonmäen pumppaamo

Turtolankatu 55

### Pumppu LUS21AP01

Valmistaja: Ahlstorm

Malli: APP44-200

Sarjanumero: 92104518

H = 40 m Q = 220 l/s

n = 1380 1/min

Sähkömoottorin rasvaus:

4000h 50gr

Pumpussa öljy

Pumpun öljynvaihtoväli: 1 vuosi

Öljytilavuus: 0,9 l



### Tuloilma

Leikattava suodatinkangas ovesa

### Poistopuhallin

Valmistaja: Koja

Malli: FPK 31-14-1

Sarjanumero: 150119 - 001

Vm:1991



## Linnainmaan pumppaamo

Leinolankatu 2

### Pumppu 1 LMS51AP01

Valmistaja: Sulzer

Malli: APP 42-150

Sarjanumero: 100021065

H = 30 m Q = 110 l/s

n = 1430 1/min

Sähkömoottorin rasvaus:

12500h 35gr

Pumpun rasvaus: 4500h

Juoksupyörän puoli 25g

Kytkimen puoli 40g



### Pumppu 2 LMS11AP01

Valmistaja: Sulzer

Malli: APP 31-150

Sarjanumero: 02155431

H = 18 m Q = 109 l/s

n = 1406 1/min

Sähkömoottorin rasvaus: 8500h 25gr

Pumpun rasvaus: 4500h

Juoksupyörän puoli 25g

Kytkimen puoli 40g

### Tulopuhallin LMZ01AF02

Valmistaja: Lakefan  
1106087-3

Malli: LF-P 40/10- B-0040-4/8-40°

Sarjanumero:

suodatin: G3 592x592 140 6

Vm:2011

### Poistopuhallin LMZ01AF01

Valmistaja: Lakefan  
1106087-1

Malli: LF-P 40/10- B-0040-4/8-40°

Sarjanumero:

Vm:2011

## Levonmäen pumppaamo (kaivo)

Hikivuorenkatu 21

### Pumppu LVS11APO01

Valmistaja: Grundfos

Malli: TP 50 290/2 A-F-A-BAQE

Sarjanumero: A96086976P207400002 1

H = 24,1 m

Q = 7,6 l/s

n = 2910 1/min



## Lentoaseman pumppaamo (kaivo)

Varikontie 33

### Pumppu LSS21AP01

Valmistaja: Grundfos

Malli: TP 100-480/2 A-F-A-BAQE

Sarjanumero: A96109180P209340002 2

H = 49,4 m

Q = 43,3 l/s

n = 2950 1/min



## Leinola pumppaamo (kaivo)

Mäentakusenkatu 21

### Pumppu LES11AP01

Valmistaja: Grundfos

Malli: TP 100-620/2 A-F-A-DBUE

Sarjanumero: A96162145P207490004 3

H = 43 m

Q = 58.3 l/s

n = 2950 1/min





## Lamminpään pumppaamo

Suonsivunkadulta kävelytieta pitkin

### Pumppu LPS11AP01-Q1

Valmistaja: Sulzer

Malli: APP 44-150

Sarjanumero: 100018474

vm:2004 H = 55 m

Q = 100 l/s n = 1480 1/min

Pumpussa rasvanipat

Sähkömoottorin rasvaus:

10500h 70gr

Pumpun rasvaus: 4500h Juoksupyörän puoli 25g Kytkimen puoli 40g



### Tulopuhallin LPZ01AF02

Valmistaja: Lakefan

Malli: LF-P 40/10- B-0040-4/8-40°

Sarjanumero: 1106087- 2

suodatin: G3 592x592 140 6

Vm:2011

### Poistopuhallin LPZ01AF01

Valmistaja: Lakefan

Malli: LF-P 40/10- B-0040-4/8-40°

Sarjanumero: 1106087- 4

Vm:2011

## Hankkion pumppaamo

Yrittäjänkulma 4

### Pumppu HAS11AP01

Valmistaja: Ahlstrom

Malli: APP 32-125

Sarjanumero: 99167015

Vm:1999 H = 25 m

Q = 63 l/s n = 1300 1/min

Sähkömoottorin rasvaus: 6000h 25gr

Pumpun rasvaus: 6500h Juoksupyörän puoli 25g Kytkimen puoli 40g



### Poistopuhallin HAZ01AF01

Valmistaja: Koja

Malli: FPK-025-4-1

Sarjanumero: 0910603-010-0010

# Pyynikin Pumppaamo

Pyynikintie 14

## **Pumppu PYS51AP01**

Valmistaja: KSB

Malli: ETANORM-S 100-315

Sarjanumero: 7-106-571 607/1

Vm: 1987 H=33m

Q=53 L/s n=1450 1/min

Sähkömoottorin rasvaus:

6000h 25gr

Ei ilmanvaihtoa pumpputilassa



## Santalahden Pumppaamo

Simppoonkatu 2

### Pumppu 1 SLS01AP01

Valmistaja: Ahlstörm

Malli: APP 51-300

Sarjanumero: 470741

H = 40 m Q = 410 l/s n = 1486 1/min

Sähkömoottorin rasvaus: 1500-2000h 60gr

Pumpun rasvaus: 3500h Juoksupyörän puoli 25g Kytkimen puoli 40g



### Pumppu 2 SLS02AP02

Valmistaja: Ahlstörm

Malli: APP 51-300

Sarjanumero: 470742

H = 40 m Q = 410 l/s

n = 1486 1/min

Sähkömoottorin rasvaus: 1500-2000h 60gr

Pumpun rasvaus: 3500h Juoksupyörän puoli 25g Kytkimen puoli 40g

### Pumpputila tulopuhallin

Valmistaja: FläktWoods Malli: 56JM/20/04/06/24 50Hz 3 L D90 Vm:2016

Sarjanumero: SO-0023177-1 WO-0099037

suodattimet huom 2kpl isompi ja pienempi: M5 592x592x535 6 ja M5 287x592x535 3

### Pumpputila poistopuhallin SLZ06AF02-PF1

Valmistaja: FläktWoods Malli: 56JM/20/4/6/24 3 L CT9 Sarjanumero: 250532/51D

### Sähkötila tulopuhallin

Valmistaja: FläktWoods Malli: 40JM/16/2/5/8 3 L CT9 Vm:2007

Sarjanumero: 253450/52B

suodatin: M5 592x592 540 6 Vm:2007

## Petsamon Pumppaamo

Salhojankatu 2

### Pumppu 1 PTS01AP01

Valmistaja: Ahlstörm

Malli: APP 52-400

Sarjanumero: 483022

H = 19,4 m Q = 739 l/s

n = 980 1/min

Sähkömoottorin rasvaus väli:

2200h 60gr

Pumpun rasvaus: 6000h

Juoksupyörän puoli 25g

Kytkimen puoli 40g



### Pumppu 2 PTS02AP02

Valmistaja: Ahlstörm

Malli: APP 52-400

Sarjanumero: 483021

H = 19,4 m Q = 739 l/s

n = 980 1/min

Sähkömoottorin rasvaus väli: 2200h 60gr

Pumpun rasvaus: 6000h Juoksupyörän puoli 25g Kytkimen puoli 40g

### Pumpputila tulopuhallin

Valmistaja: KOJA

Suodatin: M5 592x592 540 6

Kiilahihna: XPA 1250

### Sähkötila tulopuhallin

Valmistaja: KOJA

Suodatin: M5 592x592 540 6

Kiilahihna: XPA 1250

## Alasenjärven pumppaamo

### **Paluupumppu 1 AJS21APO1**

Valmistaja: Ahlstörm

Malli: APP53-250

Sarjanumero: 100138361

H = 53 m    Q = 342 l/s    n = 1206 1/min

Pumpun rasvaus: 5000h    Juoksupyörän puoli 25g    Kytkimen puoli 40g

### **Paluupumppu 2 AJS22APO2**

Valmistaja: Ahlstörm

Malli: APP53-250

Sarjanumero: 100138362

H = 53 m    Q = 342 l/s    n = 1206 1/min

Pumpun rasvaus: 5000h    juoksupyörän puoli 25g    kytkimen puoli 40g

### **Ilmansuodattimet**

suodattimet pumpputila    592x592-320-6 m5 2kpl

suodattimet sähkötila    287x592-320-3 m5

### **Pumppuhuoneen poistopuhallin 1 AJZ02AF01**

Valmistaja: Fläktwoods

Malli: 40JM/16/02/05/16 50Hz 3L D80

Sarjanumero: SO-0000548-1 WO-0005352 (3/4)

### **Pumppuhuoneen poistopuhallin 2 AJZ02AF02**

Valmistaja: Fläktwoods

Malli: 40JM/16/02/05/16 50Hz 3L D80

Sarjanumero: SO-0000548-1 WO-0005352 (1/4)

## Hakametsän pumppaamo

Hervannan valtavyölä 61

### Hervanta Paluupumppu HMS21AP01

Valmistaja: Sulzer

Malli: A42-200

Sarjanumero: 100127942

Vm= 2014 H = 36 m

Q = 313 l/s n = 1539 1/min

Pumpussa rasvanipat

Pumpun rasvaus: 4500h Juoksupyörän puoli 25g Kytkimen puoli 40g

### Hervanta menopumppu 1 HMS11AP01-M1

Valmistaja: Ahlström

Malli: DE-300-250-400

Sarjanumero: 133815

vm= 1986 H = 55 m

Q = 350 l/s n = 1480 1/min

Pesän tiiviste 476x460x0,5 mm

Pumpussa öljyvoitelu

Sähkömoottorin rasvaus: 1500-2000h 60gr

### Hervanta menopumppu 2 HMS12AP02-M2

Valmistaja: Serlachius

Malli: DC-300/510

Sarjanumero: 21837

H = 55 m Q = 1188 m<sup>3</sup> /h

n = 1450 1/min

Sähkömoottorin rasvaus: 1500-2000h 60gr

Pumpussa rasvanipat

### **Linnainmaa paluupumppu HMS61AP01-M1**

Valmistaja: Serlachius

Malli: DC-200/400

Sarjanumero: 21836

H = 34 m      Q = 612 m<sup>3</sup> /h

n = 1450 1/min

Sähkömoottorin rasvaus: 5000h 60gr

### **Poistopuhallin pumpputila**

Valmistaja: KOJA

Malli: FPK 56-14-1

Sarjanumero: 965474-001

Vm:1990

### **Tulopuhallin 2 sähkötila HMZ81AH20-M1**

Valmistaja: MIRAVENT

Malli: MV 40-135/8-0140A2/4

Sarjanumero: 98265-1

Vm:1993

### **Tulopuhallin 1 sähkötila HMZ811AH1-RC1**

Valmistaja: FläktWoods

Malli: VEKB-20-13-4-0-0-3-3-1

Sarjanumero: C 30106547-001

suodatin 287x592x300 m5

### **Poistopuhallin sähkötila HMZ81AF21-X2**

Valmistaja: MIRAVENT

Malli: MV 40-135/8-0140A2/4

Sarjanumero: 98265-2

Vm:1998

Liite 6: Kaukolämpöpumppaamoiden huolto-ohje ja laitteistojen tiedot (Kaukolämpöpumppaamoiden huolto-ohje ja laitteistojen tiedot 2018).



KOHDE: Petsamon Pumppaamo, Kaukolämpöpumppu 2, PTS 02 AP 02					
2200h, 60g					
Käyttötuntimittarin lukema	Tunnit	Päivämäärä	Suorittaja(t)	Rasvat -tu	Huom.
Tammikuu -07 mittari vaihdettu					
4242	396	30.9.2008	HK, J-PN, VR	X	
6510	2268	11.3.2009	HK, J-PN, VR	X	
6917					
6917		28.1.2010	AT, AK		
6917		10.2.2011	" "	X	
110		24.3.2011	" "		
170		28.3.2011	" "		
1114		7.10.2011	AT, AK	X	
2417	1303	19.12.2012	AT, AK		
3214	2100	22.2.2012			
3477	2306	6.3.2012	AK, IK	X	
4090	613	27.7.2012	AK		
4090	613	26.7.2012	JT, AK		
4090	613	18.1.2013	AK, SM		
4090	613	6.5.2013	SY, AK	X	
PUMPUT HUOLLETTU		MOOTTOKIT LAAJENNETTU		TAMMI VUOSI	
2145	2145	14.3.2014	AK, SM	X	
3144	995	7.10.2014	SY		
5770	2626	1.12.2015	AK, V, V		E- käynnys
5764		5.6.2015	AK, SM	X	

Rasva: Mobilith SHC 100. Tunteja on keskimäärin vuodessa: 8760, kuukaudessa: 730, kahdessa viikossa: 336, viikossa 168.

Liite 7: Esimerkki sivu rasvauskansiosta. (Rasvauskansio).