



# Jätevesipumppaamon energiankulutuksen optimointi

Juhani Hepola

OPINNÄYTETYÖ  
Joulukuu 2023

Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Lentokonetekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Lentokonetekniikka

HEPOLA, JUHANI:

Jätevesipumppaamon energiankulutuksen optimointi

Opinnäytetyö 58 sivua, joista liitteitä 1 sivu  
Joulukuu 2023

---

Tämän opinnäytetyön aiheena on vesimäärältään suuren jätevesipumppaamon energiankulutuksen optimointi. Työn taustalla on työn tilaajan, Tampereen Veden, kyseisellä jätevesipumppaamolla suorittama kehitysprojekti. Projektilla tavoiteltiin tarkempien tietojen keräämistä pumppaamon toiminnasta. Samalla pumppaamon energiankulutuksen optimointi muodostui yhdeksi projektin tavoitteista.

Työn ensimmäisessä osassa tarkastellaan jätevesihuoltoa teoriassa ja käytännön esimerkein Tampereen Veden jätevesipumppaamoilla. Opinnäytetyön jälkimmäinen osio keskittyy tarkastelun kohteena olevan jätevesipumppaamon energiankulutuksen optimointiin niin ikään teoriassa ja käytännössä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää energiankulutuksen eroja, kun verrataan kahta eri pinnansäätöjärjestelmää. Vertailun kohteena olivat jätevesipumppaamoilla tyypillinen logiikkaohjattu järjestelmä ja energiatehokkaaseen pumppaukseen soveltuva ELSA DC -järjestelmä.

ELSA DC -järjestelmän energiaoptimoidun pumppauksen taustalla on taajuusmuuttajaohjattu pumppujen käyttö. Taajuusmuuttajilla mahdollistettiin pumppujen matalampi pyörimisnopeus, joka puolestaan vaikuttaa suoraan sähkönkulutukseen.

Työ suoritettiin kvantitatiivisena tutkimuksena, jossa hyödynnettiin pumppaamolla suoritettujen koeajojaksojen aikana kerättyä mittausdataa. Mittausdatan perusteella myös teoria energiankulutuksen säästöjen taustalla voitiin osoittaa todeksi. Koeajojaksojen tulokset olivat positiivisia energiankulutuksen optimoinnin suhteen.

Työn lopussa tarkastellaan tutkimuksen merkitystä kannattavuuslaskelman kautta. Kannattavuuslaskelmassa verrattiin uuden järjestelmän alkuiinvestointeja sillä vuosittain saavutettaviin säästöihin. Opinnäytetyön pohjalta voidaan tehdä päätöksiä ELSA DC -järjestelmän soveltuvuudesta muille Tampereen Veden ylläpitäville jätevesipumppaamoille.

---

Asiasanat: energiansäästö, taajuusmuuttaja, jätevesi, pumppaamot

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Aircraft Engineering

HEPOLA, JUHANI:  
Optimization of the Energy Consumption of a Wastewater Pumping Station

Bachelor's thesis 58 pages, appendices 1 page  
December 2023

---

The subject of this thesis was the optimization of the energy consumption of a wastewater pumping station. This thesis was commissioned by the water department of Tampere, known as Tampereen Vesi. Optimizing the consumption of energy was a part of a larger development project of the said wastewater pumping station.

This study compared the differences in energy consumption between two methods of controlling the wastewater surface levels inside the collector tank. The comparison was done between a typical on/off surface level control and an energy efficient ELSA DC system.

The basis for the energy efficiency of the ELSA DC-system was in use of a variable-frequency drive, which could alter the rotation speed of the sewage pumps. A lower rotation speed was directly proportional to the required power of the pump.

This thesis was done using a quantitative research method. A vast amount of research material was gathered during several weeks of trial runs done at the pumping station. The results from the trial runs validated the theory behind the lower usage of energy. A significant saving of energy was also discovered during the analysis of the research material.

All observations made during this thesis can be utilized if the ELSA DC system would be implemented at other wastewater pumping stations.

---

Key words: energy saving, wastewater, variable-frequency drive, pumping station

## SISÄLLYS

TERMIT JA LYHENTEET .....	5
1 JOHDANTO .....	7
2 TAMPEREEN VESI LIKELAITOS .....	8
2.1 Tampereen Vesi.....	8
2.2 Jäteveden käsittely ja puhdistus.....	8
3 JÄTEVESIHUOLTO .....	9
3.1 Viemäriverkosto .....	9
3.2 Jätevesipumppaamot.....	10
3.3 Jätevedenpuhdistamot.....	11
4 JÄTEVESIPUMPPAAMOT .....	15
4.1 Tampereen Veden jätevesipumppaamot .....	15
4.2 Pumppaamon rakenne.....	15
4.3 Pumppaamon laitteisto.....	17
4.3.1 Jätevesipumput .....	18
4.3.2 Venttiilit.....	23
4.3.3 Paineanturi .....	26
4.3.4 Sähkölaitteet.....	27
4.4 Etävalvonta ja hälytykset.....	29
5 JÄTEVESIPUMPPAAMO A .....	34
5.1 Yleiskuvaus.....	34
5.2 Kehittämisprojekti.....	36
5.2.1 Laitehankinnat .....	36
5.2.2 Paineviemäriinjan puhdistus .....	37
6 ENERGIANKULUTUKSEN OPTIMOINTI .....	40
6.1 Energiankulutus pumppaussovelluksissa.....	40
6.2 Keskipakopumppujen säätötavat .....	41
6.3 Taajuusmuuttajaohjattu pumppaus .....	43
7 KOEAJOKSOT .....	45
7.1 Koeajojaksojen tarkoitus .....	45
7.2 Koeajojaksojen toteutus .....	45
7.3 Koeajojaksojen tulokset .....	47
7.4 Kannattavuuslaskelma .....	52
8 YHTEENVETO .....	53
9 POHDINTA .....	54
10 LÄHTEET.....	56
11 LIITTEET .....	58

**TERMIT JA LYHENTEET**

JVP	Jätevesipumppaamo
Taajuusmuuttaja	Sähkömoottoriin syötetyn tehon taajuutta ja jännitettä muuttava moottorinohjain
Tuloputken korko	Jätevesipumppaamon tuloputken korkeus säiliön pohjasta mitattuna
ELSA DC	Energiaoptimoidun pumppauksen mahdollistava jätevesipumppaamojen ohjausjärjestelmä
Suurivetinen	Termillä kuvataan pumppaamon jäteveden virtaaman määrää
Paineviemärilinja	Jätevesipumppaamon ja runkoviemärilinjän yhdistävä paineistettu putkilinja
Pumpun ilmaantuminen	Pumpattavan nesteen loppuminen johtaa pumppaamisen estävän ilmalukon muodostumiseen pumpun pesässä
Affiniteettisäännöt	Keskipakopumpun pyörimisnopeuden vaikutusta pumpun suoritusarvoihin voidaan arvioida affiniteettisääntöjen laskukaavojen avulla
Pumpun ominaiskäyrä	Keskipakopumpun nostokorkeuden ja tilavuusvirran välistä riippuvuutta kuvaava käyrä

Putkiston vastuskäyrä

Keskipakopumpun nostokorkeuden ja tilavuusvirran vaikutusta putkistovastuksiin kuvaava käyrä

Pumpun toimintapiste

Pumpun ominaiskäyrän ja putkiston vastuskäyrän leikkauskohta osoittaa pumpun tehokkaimman toiminta-alueen

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä selvitetään työn tilaajan, Tampereen Veden, ylläpitämän suurehkon jätevesipumppaamon energiankulutusta ja sen optimointia. Opinnäytetyö on osa kyseessä olevan jätevesipumppaamon suurempaa kehittämisprojektia.

Työn ensimmäisessä osiossa tarkastellaan jätevesihuoltoa kunnossapidon näkökulmasta Tampereen alueella. Jätevesihuolto on laaja prosessi, joka pitää sisällään useita osa-alueita, joiden sisältöön työssä perehdytään suurpiirteisesti.

Opinnäytetyö pitää sisällään jätevesipumppaamojen laitteiden ja rakenteen tarkastelua yleisellä tasolla, mutta myös käytännön esimerkkejä Tampereen Veden pumppaamokohteista.

Työn jälkimmäinen osio keskittyy tutkimuksen kohteena olevan jätevesipumppaamon energiankulutuksen optimointiin. Optimoinnin aikana suoritetaan koeajojaksoja, joissa verrataan tavanomaisen pinnansäätöjärjestelmän ja uuden ELSA DC -pinnansäätöjärjestelmän mahdollisia eroavaisuuksia energiankulutuksessa.

Koeajojaksojen aikana kerätyn mittausdatan analysoinnin pohjalta voidaan tarkastella työn kannattavuutta. Kannattavuuden lisäksi työn tavoitteena on selvittää jätevesipumppaamon kehitysprojektin toistettavuutta muilla pumppaamoilla.

## **2 TAMPEREEN VESI LIKELAITOS**

### **2.1 Tampereen Vesi**

Tampereen Vesi Liikelaitos, josta yleisesti käytetään muotoa Tampereen Vesi, on Tampereen kaupungin ylläpitämä kunnallinen liikelaitos, joka tuottaa vesihuollon palveluita Tampereella ja myös lähikunnissa. Vuonna 2021 liikelaitoksen palveluksessa työskenteli 163 henkilöä, joista jätevesipuolella noin 30 henkeä. Tampereen Vesi vastaa noin 250 000:n ihmisen jokapäiväisestä vesihuollosta. Vesihuolto voidaan jakaa kahteen suurempaan osa-alueeseen, puhtaan talousveden tuotantoon sekä jäteveden käsittelyyn ja puhdistukseen. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääasiassa jäteveden käsittelyyn ja sen pumppaukseen käytettyyn energiaan.

### **2.2 Jäteveden käsittely ja puhdistus**

Tampereen ja sen lähikuntien jätevesien käsittely koostuu kolmesta suuremmasta osa-alueesta. Nämä osa-alueet ovat viemäriverkosto, jätevesipumppaamot ja jätevedenpuhdistamot. Prosessia voidaan kuvata kronologisessa järjestyksessä: jätevesi aloittaa matkansa kohti puhdistamoa yksityisasuntojen viemäroinnin kautta. Jätevesi kulkee runkoviemärin kautta jätevesipumppaamolle, josta se pumppujen avulla pumpataan paineviemäriverkostoa pitkin suureen pääviemäriin jaan, jota pitkin jätevesi kulkeutuu aina puhdistamolle saakka. Vuonna 2021 Tampereen Vesi käsitteli neljällä jätevedenpuhdistamollaan noin 32 miljoonaa kuutiometriä jätevettä ja tuotti asiakkailleen puhdasta talousvettä noin 19 miljoonaa kuutiometriä (Tampereen Vesi 2021). Syynä tähän suureen erotukseen tuotetun ja puhdistetun vesimäärän välillä on Tampereen alueella osittain oleva sekaviemäröinti, jonka mukana puhdistamoille kulkeutuu paljon myös sadevesiä.



## 3 JÄTEVESIHUOLTO

### 3.1 Viemäriverkosto

Tampereen alueella on käytössä kaksi viemäröintijärjestelmää. Keskustan vanhemmalla alueella on käytössä niin sanottu sekaviemäröinti, jossa sade- ja jätevedet päätyvät samaa verkostoa pitkin puhdistamolle. Muualla kaupungin alueella on käytössä erillisviemäröinti, jossa jätevedet johdetaan puhdistamolle, kun taas sade- ja kuivatusvedet ohjataan maastoon imeytettäväksi tai suoraan vesistöihin (Juuti & Katko 1998, 206–207).

Tampereen alueella viemäriverkoston rakenne on hieman erilainen verrattuna tyypilliseen suuren kaupungin jätevesijärjestelmään. Kaupungin keskusta-alueen viemäriverkosto on pystytty toteuttamaan niin, että jätevesi kulkeutuu puhdistamolle painovoiman avulla, eikä jätevesipumppaamoja ole tarvittu. Niin sanottua viettoviemärijärjestelmää on pyritty hyödyntämään mahdollisimman paljon myös muualla kuin keskusta-alueella. Viettoviemärijärjestelmällä saadaan minimoitua sekä pumppaamojen että paineviemäriverkoston määrää. Vuonna 2021 Tampereen Veden toiminta kattoi 123 jätevesipumppaamoja ja yhteensä 759 kilometriä viemäriverkosta (Tampereen Vesi 2021). On kuitenkin tärkeää huomauttaa, että Tampereen keskustan alueella on useita jätevesipumppaamoja, joita ylläpitävät yksityiset toimijat. Niiden tarkkaa lukumäärää ei tätä opinnäytetyötä varten ollut mahdollista selvittää.

Vertailukohtana voidaan mainita Turun alueella toimiva jätevesijärjestelmä, joka palvelee hieman suurempaa asiakasmäärää, mutta käsittelee kuitenkin lähes saman määrän jätevettä vuosittain. Turussa järjestelmään kuuluu yli 500 pumppaamoja ja yli 2000 kilometriä paineviemäriverkosta (Turun Seudun Puhdistamo 2016). Turun seudun puhdistamolle kerätään jätevettä kuitenkin selvästi laajemmalta alueelta, joten pumppaamoja ja paineviemäriinjaa tarvitaan enemmän.

Laajan jätevesihuollon ylläpitäminen vaatii jatkuvaa kunnossapitoa. Suurin osa kunnossapidosta on ennakoivaa toimintaa, jolla pyritään ehkäisemään vikatil-

teiden syntyminen. Viemäriverkoston suhteen ennakoiva kunnossapito on ensiarvoisen tärkeää, viemäriinjojen rikkoutuessa jätevesihuollon toiminta vaarantuu vakavasti. Viemäriverkostoja kuvataan ja saneerataan vuosittain useiden kilometrien matkalta. (Tampereen Vesi 2021).

### **3.2 Jätevesipumppaamot**

Tämän opinnäytetyön kirjoittamishetkellä Tampereen Vesi ylläpitää yhteensä 123:a jätevesipumppaamoja, joista 95 sijaitsee Tampereella, 22 Pirkkalassa ja 3 pumppaamoja sekä Ylöjärvellä että Lempäälässä. Pumppaamojen määrä Tampereen alueella on hyvinkin maltillinen suhteutettuna suureen asukasmäärään. Tampereen keskusta-alueella ei ole käytännössä lainkaan jätevesipumppaamoja, vaan jätevesi kulkeutuu viettoviemäriinjoissa kohti puhdistamoa painovoiman avulla.

Suurin osa jätevesipumppaamoista on maahan upotettuja betonisia tai lasikuituisia säiliöitä, joita ei arkielämässä välttämättä edes huomaa, jos niihin ei osaa kiinnittää huomiota. Maan pinnalla on usein näkyvissä vain pumppaamon kansi ja sähkökaappi kuten kuvassa 1.

Jätevesipumppaamoilla ennakoivaa kunnossapitoa ovat niissä säännöllisin väliajoin suoritettavat pesut, joiden aikana pumppaamoista poistetaan ylimääräistä kiintoainetta. Pumppujen ja paineviemäriin osien koekäytöt ja tarkastukset ovat tärkeä osa ennakoivaa kunnossapitoa. Näillä toimenpiteillä pyritään varmistamaan pumppaamojen tehokas toiminta ja minimoimaan vakavampien vikatilanteiden kehittyminen.



KUVA 1. Tampereen Veden ylläpitämä jätevesipumppaamo (Juhani Hepola 2023)

### 3.3 Jätevedenpuhdistamot

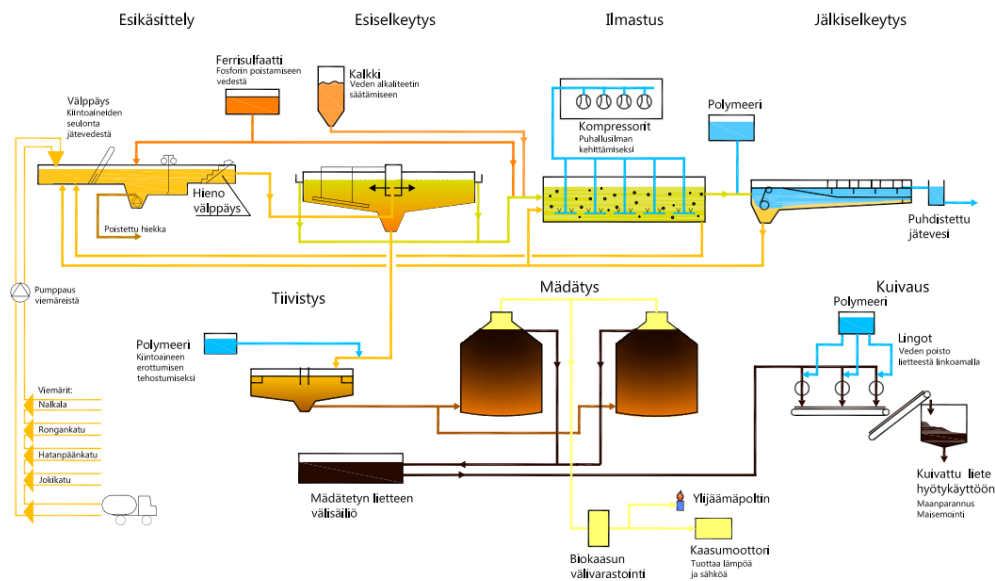
Tampereen Vedellä on kaksi suurta jätevedenpuhdistamoita, jotka sijaitsevat Viinikanlahdessa ja Raholassa. Näillä puhdistamoilla käsitellään lähes kaikki Tampereen jätevedet, mutta myös osa Pirkkalan, Kangasalan ja Ylöjärven kuntien jätevesistä. Viinikanlahden puhdistamo on selvästi alueen tärkein ja suurin laitos, joka käsittelee noin 80 prosenttia kaikista jätevesistä. Raholan puhdistamo käsittelee noin viidenneksen alueen jätevesistä. Raholan puhdistamo oli rakentamisaikansa aikaan vuonna 1962 yksi maamme ensimmäisiä aktiivilietelaitoksia. Viinikanlahden puhdistamon ensimmäinen osa rakennettiin vuonna 1972 keskustan läheisyyteen. Puhdistamoita on sen jälkeen päivitetty useasti. Mekaaninen vaihe otettiin käyttöön heti puhdistamon rakentamisen yhteydessä vuonna 1972, kemiallinen vaihe lisättiin neljä vuotta myöhemmin ja biologis-kemiallinen vaihe saatiin toimintaan vuonna 1982. (Juuti & Katko 1998, 193).

Pienemmät puhdistamot sijaitsevat Kämmenniemessä ja Pilsossa. Kämmenniemen ja Polson puhdistamot palvelevat muutamia niiden läheisyydessä sijaitsevia jätevesipumppaamoja, mutta ovat jätevesimääriltään hyvin pieniä verrattuna suurempiin puhdistamoihin. Kahden edellä mainitun puhdistamon vuosittaiset jätevesimäärät muodostavat alle prosentin Tampereella käsitellyn jäteveden kokonaismäärästä.

Jätevesi saapuu puhdistamojen tulopumppaamoille suuria viemäriinjoja pitkin, jonka jälkeen se pumpataan allastilasta tehokkaiden pumppujen avulla käsittelyprosessin alkuun. Myös puhdistamoilla on hyödynnetty painovoimaa jäteveden käsittelyssä, pumput nostavat jäteveden puhdistamon korkeimpaan kohtaan, josta se päätyy erilaisia kanavia pitkin prosessin seuraaviin vaiheisiin.

Puhdistamoilla tapahtuva jäteveden käsittely jakautuu mekaaniseen, kemialliseen ja biologiseen puhdistukseen (KUVA 2). Prosessi alkaa niin sanotulta karkealta välpältä, joka poistaa suurimmat roskat ja vierasesineet jätevedestä. Tämän jälkeen jätevedestä erotellaan hiekka ja suoritetaan vielä hienovälppäys, jossa aiemman seulan läpäisseet pienimmätkin roskat poistetaan vedestä.

Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi



KUVA 2. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon prosessikaavio (Tampereen Vesi n.d.)

Mekaanisten välppien jälkeen jätevesi virtaa painovoiman avustamana massiivisiin esiselkeytysaltaisiin, joissa liete vajoaa altaan pohjalle ja ohjataan prosessissa eteenpäin.

Prosessin aikana jäteveden puhdistukseen käytetään useita kemikaaleja, kuten ferrisulfaattia, kalkkia ja polymeeriä. Kaikilla kemikaaleilla on oma tehtävänsä prosessissa. Ferrisulfaattia käytetään fosforin poistamiseen jätevedestä. Kalkilla säädetään veden alkaliteettia, eli hapon sitomiskykyä. Polymeerin käytöllä pyritään tehostamaan kiintoaineen erottumista vedestä.

Esiselkeytysaltaissa tapahtuu ensimmäinen jäteveden ja lietteen erottelu. Lietteellä tarkoitetaan jätevedessä esiintyvää kiintoainetta. Liette johdetaan eteenpäin tiivistysaltaisiin, kun taas jätevesi jatkaa kohti ilmastusaltaita. Ilmastusaltaissa tapahtuu prosessin biologinen vaihe, jossa jätevetteen syötetään happea ja ravinteita bakteerikannan ylläpitämiseksi. Ilmastusaltaissa elävä bakteerikanta hajottaa ja syö jäteveden kiintoaineita. Käytännössä prosessin kaikissa vaiheissa pyritään erottelemaan kiinteämpi liete vedestä. Viimeisenä vaiheena puhdistusprosessissa on jälkiselkeytys, jota ennen jätevetteen lisätään vielä sakeutuspolymeeriä. Jälkiselkeytysaltaissa loputkin lietteestä vajoaa alaiden pohjalle, josta se altaissa kiertävien laahainten avulla ohjataan takaisin edelliseen vaiheeseen. Pinnalle jäänyt vesi on puhdistettua ja voidaan johtaa takaisin luontoon. (Tampereen Vesi 2021).

Vedestä eroteltu liete johdetaan ensin mädättämöön, jossa siitä saadaan eroteltua biokaasua laitoksen omaan käyttöön. Biokaasu muutetaan sähköenergiaksi laitoksella sijaitsevalla biokaasugeneraattorilla. Mädättämisestä liete ohjataan vielä kuivauslingoille, joilla lietteestä poistetaan ylimääräinen kosteus. Jäljelle jäävä kuiva aine tarvitsee vielä jatkojalostusta ennen sen käyttöä esimerkiksi lannoitteena.

Jätevedenpuhdistamoilla ennakoivan kunnossapidon tehtävät voidaan jakaa tärkeysjärjestyksen perusteella päivittäin, viikoittain tai kuukausittain tehtäviin töihin. Esimerkkeinä viikoittain tehtävistä toimenpiteistä voidaan mainita moottoreiden

ja vaihdelaatikoiden öljyntason tarkastaminen ja pyörivien osien, kuten laakereiden, rasvaus. Myös paineilmalaitteiden ”vesitys”, eli vedenerottajiin kertyneen veden poistaminen on syytä suorittaa viikoittain. Puhdistamoilla kunnossapidon yleisiin tehtäviin kuuluu myös erilaisten pumppujen huolto ja korjaus, vaikkakin joissain tapauksissa on välttämätöntä lähettää rikkoutunut pumppu korjattavaksi ulkopuoliselle urakoitsijalle. Kuukausittain suoritetaan isompia korjaustöitä, joiden ajaksi joitakin puhdistusprosessin osia saatetaan joutua hetkellisesti keskeyttämään.

Lähes kaikissa prosessin vaiheissa on otettu huomioon mahdolliset vikatilanteet kahdentamalla jäteveden käsittelylle kriittisiä laitteita. Käytännössä tämä voi tarkoittaa esimerkiksi kahden pumpun asentamista yhden sijaan. Normaalioloissa pumput toimivat vuorotellen, mutta vikatilanteessa myös yksi pumppu on riittävä ylläpitämään prosessia, kunnes toinenkin saadaan korjattua takaisin toimintakuntoon.

Korjaavaksi kunnossapidoksi voidaan lukea kaikki toimenpiteet, joissa reagoidaan jo käynnissä olevaan vika- tai häiriötilanteeseen. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi pumppujen tai vesi- ja paineilmaletkujen rikkoutuminen tai tukkeutuminen. Jätevesipumppaamon toiminnan kannalta tärkeiden antureiden vikatilanteiden selvittäminen on myös melko tyypillistä korjaavan kunnossapidon toimintaa.

Jätevesipuhdistamoilla yleisiä korjaavan kunnossapidon työtehtäviä ovat vesialtaiden erilaisten toimilaitteiden korjaus tai vaihto, uppopumppujen tai niiden osien ja letkujen vaihto sekä tukkeutuneiden kemikaalilinjojen puhdistaminen. Prosessin luotettavalle toiminnalle tärkeiden virtaus- ja kiintoainepitoisuusmittareiden säännöllinen huolto ja puhdistus on yhdistelmä ennakoivaa ja korjaavaa kunnossapitoa.

## 4 JÄTEVESIPUMPPAAMOT

### 4.1 Tampereen Veden jätevesipumppaamot

Kuten jo aiemmin todettiin, Tampereen Vesi ylläpitää 123:a jätevesipumppaamoja Tampereen ja lähikuntien alueella. Tämän työn aikana tarkasteltaviin pumppaamoihin tullaan viittaamaan pelkällä kirjaintunnuksella esim. pumppaamo A, B tai C jne. Näiden pumppaamojen toiminnan jatkuvuudesta ja kunnossapidosta vastaa pääasiassa kaksihenkinen pumppaamojen kunnossapitoryhmä. Koska jätevesipumppaamoilla on myös jonkin verran automaatiota ja sähköisiä laitteita, tekee nk. pumppuryhmä tiivistä yhteistyötä sähköasentajien kanssa. Pumppuryhmä suorittaa pumppaamoilla jatkuvaa kunnossapitoa; niin ennakoivaa kuin korjaavaakin tarpeen niin vaatiessa. Varsinkin jo edellisessä kappaleessa mainitut ennakoivan kunnossapidon tehtävät pumppaamoilla ovat erityisen tärkeitä, eikä kaikkia ongelmia tai vikoja voi havaita kuin olemalla fyysisesti paikalla pumppaamalla.

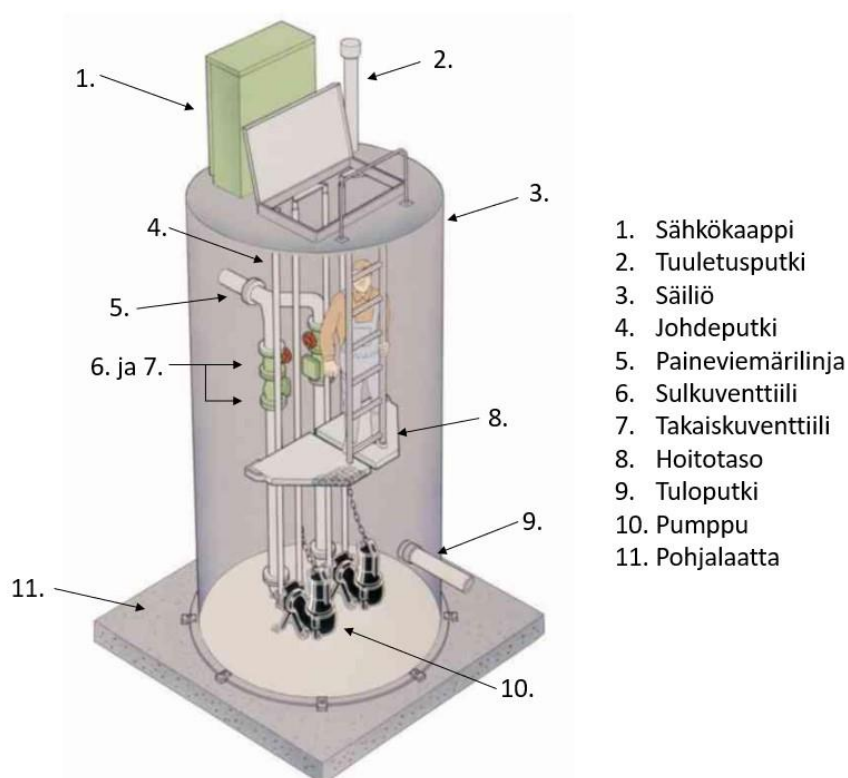
### 4.2 Pumppaamon rakenne

Tampereen Vedellä jätevesipumppaamoja on neljää erilaista rakennetyyppiä. Yleisin rakennetyyppi on maahan upotettu lasikuitusäiliö (KUVA 3). Käytössä on vielä jonkin verran vastaavia, mutta betonista valmistettuja säiliöpumppaamoita. Isommat pumppaamot ovat yleensä joko maan pinnalla olevia pumppaamora kennuksia tai maahan upotettuja betonisia ns. bunkkeripumppaamoja.

Tampereen Veden ylläpitämät jätevesipumppaamot on luokiteltu neljään eri kokoluokkaan. Kokoluokat ovat pienet, keskikokoiset, suuret ja megaluokan pumppaamot. Pumppaamoiden ensisijainen luokittelu tapahtuu pumppujen tuoton perusteella. Nämä yhden pumpun tuotolle asetetut rajat ovat alle 15 litraa sekunnissa, alle 50 litraa sekunnissa, alle 100 litraa sekunnissa ja yli 100 litraa sekunnissa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että mitä isommaksi pumppaamon kapasiteetti kasvatetaan, sitä isommat pumput myös tarvitaan. Erikokoisille pumppaamoille on hyvinkin laaja vaatimustaulukko, josta nähdään pumppaamoiden varustelut koon mukaan. Eräs selvä ero on myös pienten ja keskikokoisten sekä

suurten ja megaluokan pumppaamoiden välillä. Pienet ja keskikokoiset pumppaamot ovat aina säiliöpumppaamoita, kun taas suuret ja megaluokan pumppaamot ovat jo aiemminkin mainittuja rakennuspumppaamoita.

Pienemmissä lasikuituisissa tai betonisissa säiliöpumppaamoissa ei ole erillistä allastilaa, vaan jätevesi pumpataan uppopumpuilla säiliöstä suoraan paineviemäriin. Suuremmilla pumppaamoilla on yleensä käytössä erillinen allastila, johon jätevesi laskee viemäriinjasta. Tällaisilla pumppaamoilla on käytössä kuiva-asenteiset pumput, jotka asennetaan erilliseen kuivana pidettävään pumppusaliin. Kuiva-asenteiset pumput eroavat uppopumpuista lähinnä niiden jäähdytystavalla. Kuiva-asenteisten pumppujen jäähdytys toteutetaan erillisellä vesikiertoisella jäähdytysvaipalla. Uppopumppujen jäähdytys onnistuu helposti, koska pumput ovat aina jäteveden alla. Uppopumput asennetaan usein pystyasentoon säiliön pohjalle, kun taas kuiva-asenteiset pumput ovat yleensä asennettuina vaakasuoraan pumppusalissa.



KUVA 3. Tyypillisen säiliöpumppaamon rakennekuva laitteistoineen (Ahlseil 2023)



### 4.3 Pumppaamon laitteisto

Jätevesipumppaamojen laitteisto on melko suppea ja yksinkertainen. Tärkein osa on tietenkin itse pumput, joita Tampereen Veden ylläpitämällä pumppaamoilla on tarpeen mukaan kaksi, kolme tai neljä kappaletta. Säiliöön on kiinnitetty johdeputket, joita pitkin pumppujen nostaminen tai laskeminen käy helposti ja turvallisesti. Pumppujen lisäksi pumppaamolta lähtevässä paineviemärilinjassa on asennettuina sulku- ja takaiskuventtiilit. Säiliöpumppaamoilla on myös tikkaat ja sopivaan kohtaan asennettu hoitotaso, joka helpottaa säiliössä tehtäviä korjauksia tai kunnossapitotöitä.

Pumppaamon toiminnan kannalta yksinkertainen, mutta tärkeä osa on paineanhuri, joka tarkkailee säiliössä olevan jäteveden pinnankorkeutta. Pienemmillä pumppaamoilla on yleensä erillinen sähkökaappi, kun taas suuremmilla pumppaamoilla sähkötaulu on samassa kuivatilassa, jossa pumputkin sijaitsevat. Joihinkin pumppaamoihin on vielä asennettu erilaisia varmennuslaitteita, kuten ylimääräisiä pintakytkimiä häiriötilanteita varten.

Pintakytkimien sähkökytkentä on erillään pumppaamon normaalista pintasäätöjärjestelmästä, joten jos ensisijainen pinnansäätölaitteisto hajoaa, pintakytkin estää pumppaamoja menemästä ylivuototilaan. Vikatilanteen sattuessa pintakytkin ohittaa pumppaamon normaalin pinnansäätölogiikan. Pintakytkin itsessään on yksinkertainen laite. Muovilla koteloitu kytkin roikkuu allastilassa vapaasti, ja jos vedenpinta nousee tarpeeksi korkealle kaataen kytkimen, pumppu käynnistyy.

Jätevesipumppaamon tuloputken koko on riippuvainen jäteveden virtaamasta; suurivetisillä pumppaamoilla tarvitaan suurempi tuloputki. Tuloputken korko on myös tärkeä mitoittaa sopivaksi. Liian korkealla oleva tuloputki nostaa veden puotoamiskorkeutta, joka aiheuttaa jäteveteen ilmakuplia ja pumppujen toiminta voi vaarantua. Liian matalalla oleva tuloputki taas voi alkaa padottaa jätevettä viemärilinjaan, mikä voi johtaa epäsäännöllisiin pumppauksiin tai jopa ylivuotoriskiinkin.

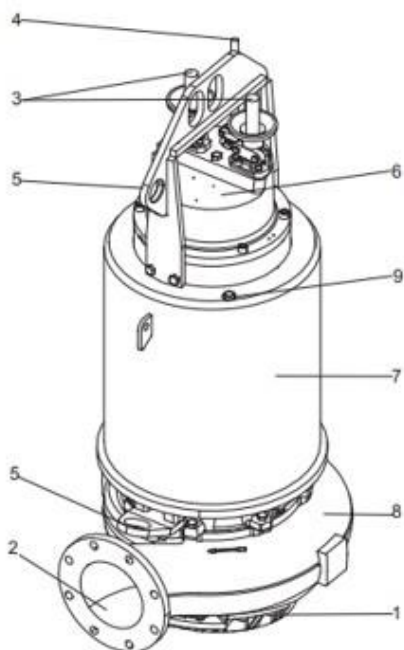
Betonibunkkeripumppaamoissa on asennettu lattian rajaan vuotovesivahti, joka on ohjelmoitu antamaan hälytyksen, jos pumppaamon lattialle alkaa kertyä vettä.

Vaikka lasikuitusäiliöt painavat tuhansia kiloja, on ne syytä kiinnittää paikalleen tukevasti. Tämän takia säiliön alle kiinnitetään jyrävä betoninen pohjalaatta. Pohjalaatta pitää säiliöpumppaamon paikallaan, vaikka pumppaamon ympärillä veden pinta nousisikin reilusti. Pumppaamot sijaitsevat usein lähellä järviä tai jokia, joten maaperä saattaa olla alun perinkin kosteaa tai hetteikköä.

#### **4.3.1 Jätevesipumput**

Vesihuoltotekniikassa käytettävät pumput voidaan jakaa toimintaperiaatteensa mukaan kahteen pääryhmään: syrjäytyspumppuihin ja nopeuspumppuihin. Syrjäytysperiaatteella toimivat pumput voidaan edelleen jakaa kolmeen alaryhmään: mäntäpumppuihin, kalvopumppuihin ja ruuvipumppuihin. Nopeusperiaatteella toimiviksi pumpuiksi lasketaan keskipakopumput ja potkuripumput. Näistä keskipakopumppu on ylivoimaisesti käytetyin pumpputyyppejä. Jätevedenpuhdistamoilla on käytössä erilaisia pumppuja kummastakin pääryhmästä, esimerkiksi kemikaalien annostelu tapahtuu kalvopumppujen avulla.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena olevan jätevesipumppaamon energiankulutuksen optimoinnin takia on syytä keskittyä jätevesipumppaamoilla käytettyihin pumppuihin. Tampereen Vesi käyttää kaikilla pumppaamoillaan nopeusperiaatteella toimivia keskipakopumppuja. Aivan yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta, kaikilla Tampereen Veden ylläpitämillä jätevesipumppaamoilla on käytössä Grundfosin valmistamat pumput. Grundfosin jätevesipumppuissa on yhteen kytkettynä itse keskipakopumppu sekä sähkömoottori. Jätevesipumpun rakennetta on havainnollistettu kuvassa 4.



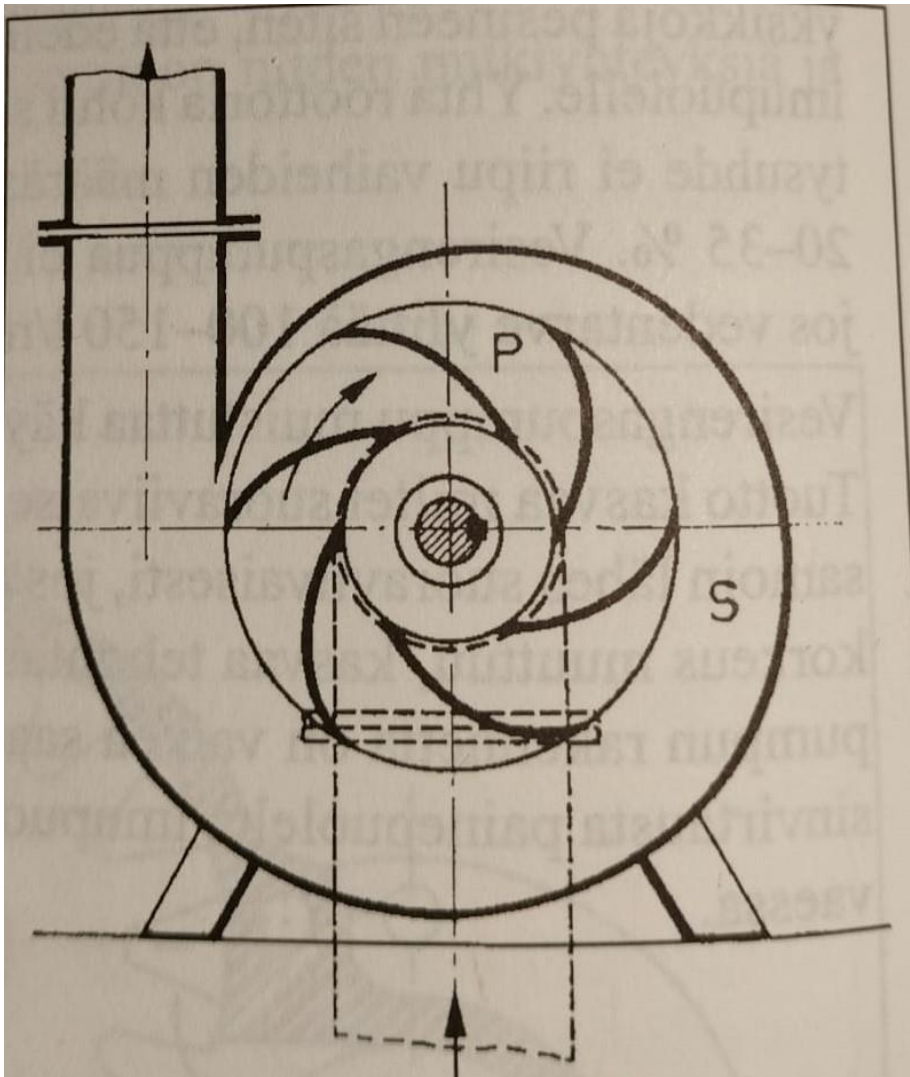
S-pumppu

Nro	Kuvaus
1	Tuloaukko
2	Lähtöaukko
3	Virtakaapelit
4	Ohjauksikaapeli
5	Nostosanka
6	Kytentäkotelo
7	Uppomoottori
8	Pumppu
9	Ilmausruuvi

KUVA 4. Uppovesipumpun rakennekuva (Grundfos 2023)

Nimensä mukaisesti nopeuspumppujen toiminta perustuu nesteen virtausnopeuden kasvattamiseen juoksupyörän avulla. Keskipakopumpun akselille tuotu mekaaninen energia muutetaan juoksupyörässä hydrauliseksi energiaksi, toisin sanoen virtauksen nopeusenergia muutetaan paine-energiaksi.

Jätevesi virtaa pumpun pesään pohjan kautta ja juoksupyörä pyöriessään linkoaa vettä eteenpäin pitkin spiraalinmuotoista imukanavaa (KUVA 5). Nesteen siirtyessä juoksupyörän kehältä imukanavaan, syntyy pumpun pesään alipaine, joka puolestaan muodostaa jatkuvan virtauksen pumpun läpi. Pumpun imukanava, tai kammio, on muodoltaan laajeneva spiraali. Spiraalin muotoisella kanavalla saadaan minimoitua virtaushäviöt liike-energian muuttuessa paine-energiaksi. (Karttunen 1999, 29–34).



KUVA 5. Keskipakopumpun havainnekuva ylhäältä katsottuna (Karttunen 1999, 34)

Jätevesipumppujen kokoluokittelu tapahtuu yleensä pumpun moottoritehon mukaan. Grundfos tarjoaa erilaisia jätevesipumppuja 1–600 kW:n moottoritehoalueelta. Tampereen Veden jätevesipumppaamoilla pumppujen teho vaihtelee 2,2 ja 43 kW:n välillä. Sekä pumpuissa, että yleensä myös sähkökaapissa tai sähkötaulussa on kiinnitettynä pumpun tyyppikilpi, josta nähdään useita tärkeitä tietoja liittyen pumpun toimintaan (KUVA 6).

EAC CE GRUNDFOS			
DK-8850 Bjerringbro, Denmark			
Type: <b>S1.100.125.220.4.</b>			
<b>58M.H.297.Q.N.D.511</b>			
P/N: <b>96811519</b>		Mod: <b>G</b>	
No: <b>10000002</b>		Tmax: <b>40 °C</b>	
Hmax: <b>34,5 m</b>		Qmax: <b>135 l/s</b>	
▽ <b>20m</b>		IP68	
Motor: <b>3 ~</b>		<b>50 Hz</b>	
		n: <b>1458 min<sup>-1</sup></b>	
<b>400 V</b>		△ <b>45 A</b>	
<b>690 V</b>		Y <b>25 A</b>	
P1 <b>25 kW</b>		P2 <b>22 kW</b>	
Cos φ: <b>0,81</b>		Insul.class: <b>F</b>	
P.C <b>1825</b>		Weight: <b>540 kg</b>	
98388344			

Made in H-8000 Székesfehérvár, Hungary

KUVA 6. Grundfos-jätevesipumpun tyyppikilpi (Hepola 2023)

Tyyppikilvestä selviää muun muassa pumpun tarkka tyyppinumero, suurin nostokorkeus, suurin tilavuusvirta, suurin sallittu asennussyvyys, pumpun pyörimistajuus ja -nopeus, suurin sallittu virta, pumpun moottoriteho ja pumpun paino. Näistä arvoista tärkeimmät ainakin vikatilanteiden sattuessa ovat pumpun moottoriteho ja suurin sallittu virta. Jätevesipumppujen fyysinen koko ei yleensä ole merkittävä tekijä pumpun valinnassa, mutta häiriötilanteessa voi olla hyödyksi tietää pumpun paino. Tämä tieto on tärkeää etenkin pienemmillä säiliöpumppaamoilla, joissa pumppu tai pumput joudutaan nostamaan pois säiliöstä huoltotöiden ajaksi.

Pumpun suurin tilavuusvirta on käytännössä helpoin tapa ymmärtää jäteveden pumppauskapasiteettia. Todellisuudessa tilavuusvirta ei kuitenkaan välttämättä pääse kovinkaan lähelle valmistajan ilmoittamaa maksimiarvoa. Tilavuusvirtaan vaikuttavat pumpattavan nesteen laatu, tarvittava nostokorkeus ja paineviemäriinlinjan halkaisija.

Jätevesisovelluksissa eräs pumppujen tärkeä ominaisuus on pumpun vapaa läpäisykyky. Tällä tarkoitetaan pumpun kykyä käsitellä jätevettä, jossa on suuria kiintoainekappaleita. Pumppujen valmistaja Grundfos ilmoittaa vapaan läpäisykyvyn jätevettä pumpattaessa olevan minimissään 75 millimetriä, mutta käytännössä jätevesipumppuilla tämä luku on yleensä joko 80 tai 100 millimetriä.

Kuten jo aiemmin todettiin, keskipakopumpuissa käytetyillä juoksupyörillä on suuri merkitys pumpattavan nesteen siirtämisessä. Jäteveden seassa pumppujen läpi kulkeutuu erilaisia kiintoaineita, pitkiäkin kuituja ja muita kiinteitä partikkeleita. Grundfos tarjoaa laajan valikoiman erilaisia juoksupyörätyyppejä. Tampereen Veden jätevesipumppaamoilla olevissa pumppuissa käytetään pääasiassa joko kanavajuoksupyörää tai vortex-juoksupyörää (KUVA 7).



KUVA 7. Kanavajuoksupyörä ja vortex-juoksupyörä (Grundfos 2023)

Kuvassa vasemmalla olevaa kanava-, tai solajuoksupyörää, käytetään yleisesti varsinkin suuremmilla pumppaamoilla sekä pumppaamoilla, joilla esiintyy runsaasti kiintoainetta. Suuren läpäisykyvyn ansiosta kanavajuoksupyörät pystyvät helposti käsittelemään kiintoaineita ja kuituja. (Yleisimmät juoksupyörätyypit n.d., 6).

Vortex-juoksupyörää käytetään yleensä pienemmillä pumppaamoilla ja pumppaamoilla, joissa jäteveden seassa esiintyy pitkiä kuituja, hiukkasia sekä hankausta aiheuttavaa hiekkaa. (Yleisimmät juoksupyörätyypit n.d., 7). Valmistaja kuitenkin huomauttaa kyseisen juoksupyörän tehokkuuden olevan vain noin puolet kanavamalliin verrattuna.

Energiankulutuksen näkökulmasta pumppujen säätäminen on yksinkertainen tapa pitää pumppujen hyötysuhde mahdollisimman korkeana. Grundfosin jätevesipumppuissa on säädettävä juoksupyörävällys. Juoksupyörävällyksellä tarkoitetaan juoksupyörän ja pumpun pesän väliin jäävää rakoa. Välystä säädetään pumpun kyljessä olevien kolmen säätöruuvien avulla.

Optimaalinen välys pumpun elinkaaren alussa on yleensä 0,5–0,7 millimetrin välillä. Ajan mittaan juoksupyörä kuitenkin kuluu ja välys alkaa kasvaa, jolloin pumppu menettää pumppaustehoaan. Esimerkkinä voidaan mainita eräs pumppu, jonka juoksupyörävällys oli kasvanut peräti yli kahden millimetrin suuruiseksi. Pumpun tuotto kirjattiin ylös ennen ja jälkeen säätämistä. Säädon jälkeen pumpun tuotto parani peräti 15:llä prosentilla. Käytännössä tämä tarkoittaa lyhyempiä ja harvempia käyntikertoja, jolloin pumpun käyttöikä saadaan maksimoitua.

#### **4.3.2 Venttiilit**

Jätevesipumppaamoissa on yleensä heti pumppujen läheisyyteen asennettuina paineviemäriinjan sulkuventtiili ja takaiskuventtiili. Joissain vanhemmissa pumppaamoissa on erillinen venttiilikaivo, jossa sulkuventtiilit sijaitsevat. Uudemmissa, lasikuidusta valmistetuissa säiliöpumppaamoissa koko laitteisto on asennettuna säiliötilaan.

Paineviemäriinjan sulkuventtiili jätevesipumppaamoissa on käytännössä aina kumiluistiventtiili. Venttiilin valurautainen runko pitää sisällään luistin ja ruuvin, jota kiertämällä luisti liikkuu ylös- tai alaspäin (KUVA 8). Venttiilin päällä on yleensä irrotettava käsipyörä, jolla ruuvin kiertäminen onnistuu helposti. Kumiluistiventtiilin luistin kumiosa voi ajan mittaan hapertua tai epämuodostua, varsinkin jos venttiiliä ei käytetä säännöllisesti. Tämä voi johtaa venttiilin vuotamiseen. Venttiilit on asennettu paineviemäriinjaan laippaliitoksin, jonka liitoksessa on paperinen tai grafiittinen tiiviste. Tiiviste takaa liitoksen pitävyyden, kun pultit laipassa kiristetään.



KUVA 8. Kumiluistiventtiilin rakennekuva (Lining 2023)

Toinen paineviemärlinjan venttiileistä on takaiskuventtiili. Takaiskuventtiilin toinen nimi on yksisuuntaventtiili, eli venttiili sallii nesteen virtaamisen ainoastaan yhteen suuntaan. Käytännössä tämä tarkoittaa venttiilin toimivan pumpun toiminnan perusteella. Pumpun käynnistyessä venttiili aukeaa ja pumpun pysähtyessä venttiili sulkeutuu. Vioittuneen tai tukossa olevan takaiskuventtiilin voi tunnistaa helposti jo äänen perusteella. Käytännössä painelinjan tyhjentyessä takaisin pumppaamoon, vuotava takaiskuventtiili pitää suhisevaa tai lorisevaa ääntä. Jätevesipumppaamolla tämä näkyy myös pumppujen tiheämmästä käynnistysmäärästä, kun jo kertaalleen pumpattu jätevesi pääsee valumaan takaisin linjassa.

Erlaisia takaiskuventtiilejä on markkinoilla useita. Oikean takaiskuventtiilin valinta perustuu yleensä pumpattavan nesteen laatuun ja pumppausjärjestelmän virtausteknisiin ominaisuuksiin. Tampereen Veden jätevesipumppaamoilla on käytössä vastapainolla varustettuja läppätakaiskuventtiilejä ja pallotakaiskuventtiilejä (KUVA 9 ja 10). Pallomalliset venttiilit ovat yleensä asennettuina linjaan pystysuoraan, kun läppämalliset venttiilit ovat asennettuina vaakatasoon.





KUVA 9. Vastapainolla varustettu läppätakaiskuventtiili (Hepola 2023)

Kun jätevettä pumpataan paineviemäriin, läppä aukeaa linjan suuntaan ja vastapaino nousee yläasentoon. Kun pumppu pysähtyy, vastapaino laskeutuu alas ja painaa läpän kiinni, estäen jäteveden takaisin virtaamisen. Läpän vioittuessa venttiili voidaan avata irrottamalla päällä näkyvät pultit, jolloin päästään helposti käsiksi itse läppäosaan.



KUVA 10. Halkaistu pallotakaiskuventtiili (AVS-yhtiöt 2023)

Kuten läppätakaiskuventtiilissä, jäteveden pumppaus saa venttiilin aukeamaan painelinjan suuntaan. Tämä on toteutettu venttiilin sisällä sijaitsevalla pallolla, joka siirtyy venttiilin toiseen haaraan, ja vesi pääsee vapaasti kulkemaan venttiilin

läpi paineviemäriin. Pumpun pysähtyessä pallo palautuu takaisin alkuperäiselle paikalleen ja sulkee venttiilin.

### 4.3.3 Paineanturi

Yleisesti anturilla tarkoitetaan laitetta, jolla mitattava prosessisuure, tässä tapauksessa paine, voidaan muuntaa sähköiseksi viestiksi. Anturin tyypistä riippumatta tämä sähköinen viesti on samanlainen, tyypillisesti 4...20 milliampeeria. (Fonselius, Laitinen, Pekkola, Sampo & Välimaa 1994, 6-7). Paineanturi tai painelähetin, on kriittinen osa jätevesipumppaamon pinnansäätöjärjestelmää. Kuvassa 11 nähdään tavanomainen jätevesisovelluksissa käytetty kapasitiivinen paineanturi, jonka rakenne on suunniteltu kestävään jätevesipumppaamoilla vallitsevia pitkäkestoisia vaativia olosuhteita. Kapasitiivinen paineanturi on hyvä valinta sovelluksiin, joissa tunnistetaan ei-metallisia väliaineita, kuten tässä tapauksessa jätevettä.



KUVA 11. Tavanomainen kapasitiivinen paineanturi (Strainsense 2023)

Tampereen Veden jätevesipumppaamoilla paineanturin skaala ohjelmoidaan kahteen, kolmeen tai viiteen metriin. Skaalalla tarkoitetaan paineanturin mittausaluetta, ja sitä kautta myös mittaustarkkuutta. Etävalvontaohjelmassa paineanturin mittaama pinnankorkeus ilmoitetaan sekä metreinä että prosentteina. Kaksimetriseksi skaalatulla anturilla yksi prosentti on näin ollen kaksi senttimetriä pinnankorkeuden muutosta. Kolme ja viisimetrisillä antureilla yksi prosentti on vastaavasti kolme tai viisi senttimetriä jäteveden pinnankorkeuden nousua tai laskua.

Paineanturit ovat kuitenkin erittäin herkkiä laitteita ja niitä rikkoutuukin melko säännöllisesti jätevesipumppaamoilla.

Jätevesipumppaamoilla paineanturit ovat sijoitettuina haponkestävästä teräksestä valmistettuun suojaputkeen. Suojaputken alaosaan on piikki, joka pitää putken pään oikealla korkeudella pumppaamon pohjasta ja näin ollen anturi antaa luotettavan pinnankorkeuslukeman. Suojaputken yläpää yltää lähes säiliön kannen tasolle ja anturin kaapeli kiinnitetään paikalleen lukituskorkin avulla. Kuvassa 3 olevaan säiliöpumppaamon rakennekuvaan ei ole merkitty paineanturia tai sen suojaputkea laisinkaan. Suojaputki on tyypillisesti kiinnitettynä säiliön reunaan niin, että anturiin päästään vika- tai häiriötilanteessa helposti käsiksi.

#### **4.3.4 Sähkölaitteet**

Säiliöpumppaamon sähkökaappi tai betonibunkkeripumppaamon sähkötaulu pitää sisällään pumppaamon toiminnan kannalta tärkeitä sähkökomponentteja. Kuvassa 12 nähdään tyypillinen pienen säiliöpumppaamon sähkökaappi. Sähkökaapin sisältö on varsin laaja, eikä siihen ole syytä tässä työssä perehtyä kuin pääpiirteittäin.

Pumppaamojen kunnossapitoryhmän osalta sähkökaapin tärkein osa on pumppujen käyttökytkimet. Kuten kuvassakin, kytkimet ovat yleensä automaattiasennossa, mutta pumppuja voidaan ajaa myös manuaalisesti esimerkiksi huoltotöitä tehdessä. Kunnossapitoryhmä voi myös tarvittaessa kuitata pehmokäynnistimien vikatiloja tai palauttaa lämpösuojareleen alkutilaansa. Muut asennus- ja huoltotyöt ovat sähköasentajien vastuulla.

Kyseisen pumppaamon varustukseen ei kuulu pehmokäynnistimiä. Kuvassa olevan pumppaamon pumput ovat kokoluokaltaan niin pieniä, ettei niiden käynnistysvirtaa tarvitse rajoittaa pehmokäynnistimien avulla. Useimmilla, varsinkin hie-man suuremmilla pumppaamoilla, on käytössä pehmokäynnistimet, jotka myös pidentävät pumppujen käyttöikää. Tämän työn kohteena olevalla suurella jätevesipumppaamolla on käytössä taajuusmuuttajaohjatut pumput.



KUVA 12. Jätevesipumppaamon sähkökaappi (Hepola 2023)

Jätevesipumppaamoilla käytettyjen pumppujen ja niiden oikosulkumoottorien käynnistämiseen voidaan käyttää useita eri tapoja. Tampereen Veden pumppaamoilla on käytössä kolme eri käynnistystapaa; suora käynnistys, pehmokäynnistin ja taajuusmuuttaja.

Suora käynnistys on hyvin yleinen ja yksinkertainen käynnistystapa. Laitteisto koostuu pelkästään kontaktorista ja lämpöreleestä. Suoran käynnistyksen haittapuolena voidaan pitää erittäin suurta käynnistys- ja pysäytysvirtaa. Myös käynnistysmomentti nousee erittäin korkeaksi, joka rasittaa laitetta ajan saatossa. (ABB pehmokäynnistinopas 2011, 13). Suora käynnistys on yleensä käytössä

pienemmillä pumppaamoilla, joissa pumppujen suurimmat sallitut virrat eivät nouse liian korkeiksi.

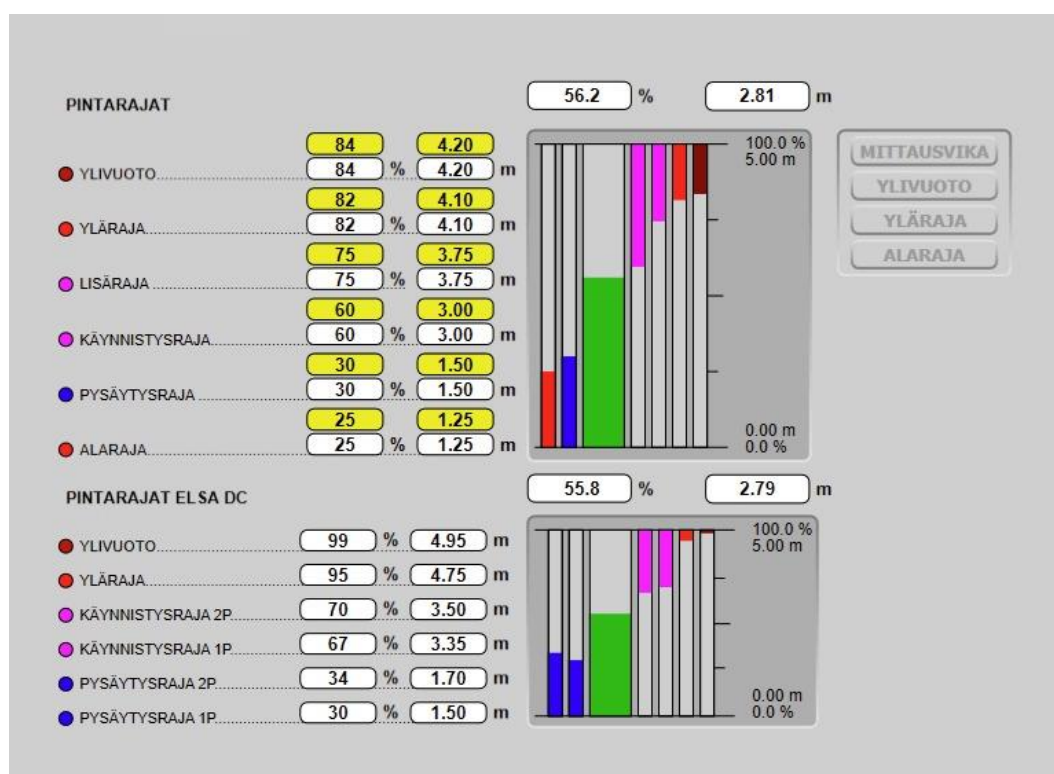
Pehmokäynnistin on tehokas ja edullinen ratkaisu, kun moottorin käynnistämistä ja pysäyttämistä halutaan kontrolloida. Pehmokäynnistin rampittaa moottorille syötetyn jännitteen määrää, jolloin käynnistys ja pysäytys tapahtuu rauhallisemmin. Rampin kesto voi olla esimerkiksi viisi tai kymmenen sekuntia, jonka aikana moottori käynnistyy tai pysähtyy. Tämä käynnistystapa suojelee moottoria korkeilta virtapiikeiltä ja pumppaussovelluksissa haitalliset paineiskut pystytään poistamaan. (ABB pehmokäynnistinopas 2011, 18). Pehmokäynnistimiä on käytössä Tampereen Veden pumppaamoilla runsaasti, etenkin hieman suurempien vesimäärien kohteissa.

Kolmas moottorin ohjaustapa on taajuusmuuttajakäyttö. Taajuusmuuttaja mahdollistaa moottorin pyörimisnopeuden portaattoman säädön sekä pyörimissuunnan muuttamisen. Kuten pehmokäynnistimen yhteydessä, myös taajuusmuuttajalla voidaan käyttää käynnistys- ja pysäytysramppeja ennen kaikkea moottorin suojaamiseksi. Hitaammilla käynnistyksillä ja pysäytyksillä poistetaan myös putkilinjassa esiintyvät haitalliset paineiskut. Jätevesipumppaamojen energiankulutuksen optimointia tavoitellessa taajuusmuuttaja on pakollinen osa järjestelmää. Moottorin nopeuden jatkuva säätö onnistuu vain taajuutta säätämällä. Taajuusmuuttajan huonoina puolina voidaan pitää sen kallista hintaa ja suurta fyysistä kokoa. (ABB Pehmokäynnistinopas 2011, 16–17). Tampereen Vesi käyttää taajuusmuuttajaohjattuja moottoreita etenkin jätevedenpuhdistamoilla, mutta myös tämän työn kohteena olevalla jätevesipumppaamolla käytetään kyseistä pumppujen ohjaustapaa.

#### **4.4 Etävalvonta ja hälytykset**

Apuna työssään pumppuryhmällä on jätevesipumppaamojen etävalvontajärjestelmä, josta voidaan tarkkailla jokaisen pumppaamon toimintaa hyvin yksityiskohtaisesti. Etävalvontajärjestelmä on osa koko jätevesihuollon valvontaohjelmaa. Järjestelmää voidaan käyttää sekä Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon valvomossa, että pumppuryhmän mukana aina kulkevalla tabletilla. Etävalvontajärjestelmän hälytykset tulevat aina myös pumppuryhmän matkapuhelimiin.

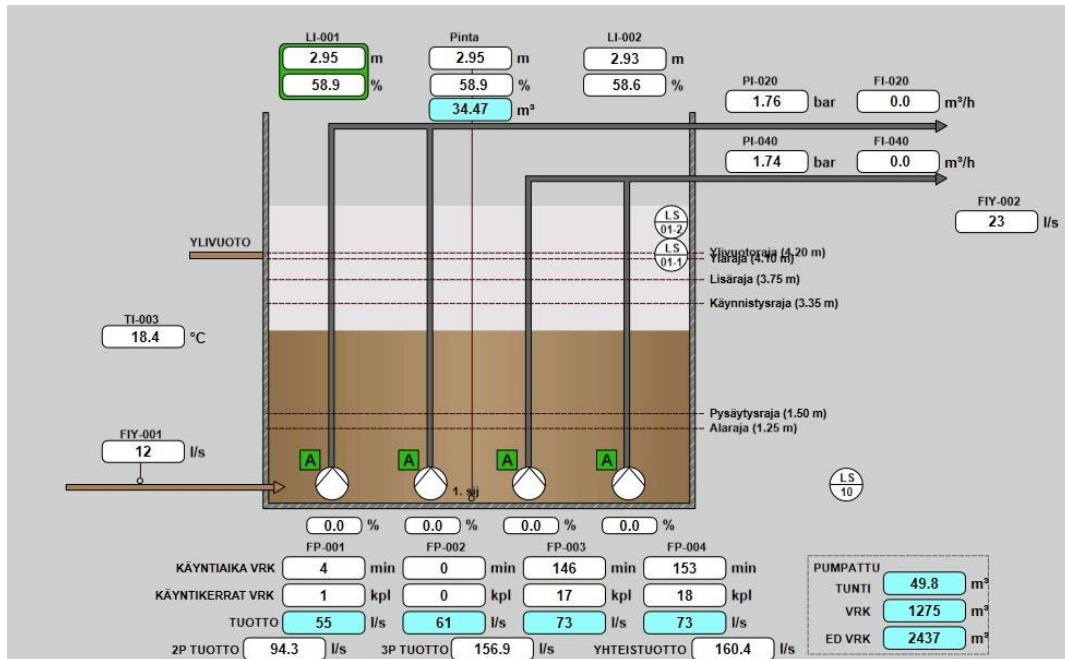
Pumppaamojen kunnossapitoryhmä aloittaa työvuoronsa aina tarkastamalla pumppaamoiden tilan etävalvontajärjestelmästä. Liitteessä 1 nähdään kuvakaappaus erään pumppaamon edellisen 24:n tunnin pumppaustrendistä, josta nähdään pinnantason muutokset ja pumppujen käyntitiedot. Etävalvomossa voidaan tarkastella yksittäisiä pumppaamoja myös tarkemmin ja tehdä tarvittavia muutoksia esimerkiksi pinnansäätöasetuksiin (KUVA 13). Yksittäisestä pumppaamosta voidaan pintatietojen lisäksi nähdä paljon muutakin hyödyllistä tietoa (KUVA 14). Pumppaamon pinnankorkeus on ilmoitettu sekä metreinä että prosentteina, mutta myös jäteveden määrä kuutioina on nähtävissä näytöltä. Näkymästä voidaan lukea myös pumppaamolle tulevan ja sieltä lähtevän veden virtaama litroina sekunnissa.



KUVA 13. Etävalvontajärjestelmän pintarajojen säätövalikko (Hepola 2023)

Näkymän alaosassa on eriteltyä jokaisen pumpun tuotto, käyntikerrat ja käyntiajat kyseisen vuorokauden ajalta. Pumpun käyntiaikojen selkeät eroavaisuudet voivat olla merkki pumppaamolla olevasta vika- tai häiriötilanteesta. Pumpattu vesimäärä edellisen tunnin, edellisen vuorokauden ja kyseisen vuorokauden aikana on nähtävissä näkymästä. Valvomosta voidaan tarkkailla myös esimerkiksi

yksittäisten pumppujen käyntitilastusta- ja tietoja, vikahälytyksiä sekä pumppaamon virtaustietoja.



KUVA 14. Etävalvontajärjestelmän pumppaamokohtainen näkymä (Hepola 2023)

Etävalvontajärjestelmä on hyödyllinen apukeino pumppaamojen kunnossapitor ryhmälle. Järjestelmän avulla on voitu toteuttaa pumppaamojen kunnossa- ja ylläpito pienemmän henkilöstön voimin. Jätevesipumppaamoilta tulee melko runsaasti hälytyksiä, joista kaikki ei vaadi ainakaan välitöntä reagoimista. Näiden hälytysten kiireellisyyden arviointi onnistuu osaavan kunnossapitohenkilöstön toimesta myös etänä.

Pumppaamojen kunnossapitoryhmä työskentelee vain päivävuorossa, joten illan ja yön aikana ilmenneet hälytykset sekä mahdolliset vikatilat on syytä käydä läpi heti aamulla. Hälytykset voidaan jakaa karkeasti välitöntä reagointia vaativiin ja tilanteen kehittymisen seuraamista vaativiin hälytyksiin.

Ensimmäiseen, välitöntä reagointia vaativien hälytysten, kategoriaan kuuluvat muun muassa pumppaamoilta tulevat ylä- ja alarajahälytykset, pumppuhälytykset ja tulvavahtihälytykset. Ylä- ja alarajahälytykset ovat molemmat erittäin akuutteja, vaikkakin hieman eri syistä. Ylärajahälytys laukeaa, kun pumppaamon logiikkaan

asetettu pintaraja ylitetään. Jos hälytykseen ei nopeasti reagoida, pumppaamo menee ylivuototilaan ja jätevettä pääsee ympäristöön.

Alarajahälytys puolestaan laukeaa, kun pumppaamon vesimäärä alittaa logiikkaan asetetun pintarajan. Liian vähäisestä vesimäärästä voi seurata pumppujen ilmaantuminen, jolloin pumppaamo ei enää pysty tehokkaasti pumppaamaan jätevettä. Pumppujen ilmaantumisella tarkoitetaan häiriötilannetta, jossa pumpun pesään pääsee muodostumaan pumppaamisen estävä ilmalukko. Häiriötilanne pyritään ratkaisemalla liikuttelemalla pumppua pystysuunnassa ilmalukon rikkomiseksi.

Pumppuhälytykset ovat myös pikaista reagointia vaativia, koska ne yleensä tarkoittavat pumpun vika- tai häiriötilaa. Pumppu voi olla esimerkiksi tukkeutunut tai jokin sähkövika on laukaissut hälytyksen. Hälytyksen kiireellisyys vaihtelee selvästi pumppaamojen välillä. Suurivetiset ja muuten tärkeät pumppaamot ovat etusijalla, koska niiden vikatilanteet voivat johtaa hyvin nopeasti esimerkiksi ylivuototilanteeseen. Pienet ja harvoin pumppaavat pumppaamot aiheuttavat hyvin harvoin samanlaista kiireellistä riskitilannetta.

Tulvavahtihälytys laukeaa, kun bunkkerimallisen pumppaamon lattialle kertyy vettä ja lattian rajaan asennettu kosteusmittari havaitsee tämän. Hälytys voi lauleta aiheettomasti, kun pumppaamon kansia avataan. Myös sadevettä voi päästä vuotamaan pumppaamoon tai kondenssivettä kertymään mittarin läheisyyteen. Tulvavahtihälytykseen on aina reagoitava, koska tilannetta ei voi arvioida muuten kuin käymällä pumppaamolla.

Toiseen, tilanteen kehittymisen seuraamista vaativien hälytysten, kategoriaan kuuluvat muun muassa vietto tukossa -hälytys, pinnantarkkailuaikahälytys sekä lämpötilahälytys.

Vietto tukossa -hälytys laukeaa, kun pumppaamon pumput eivät ole käynnistyneet lainkaan logiikkaan asetetun aikarajan aikana. Tämä johtuu yleensä pumppaamon tuloputken tukkeutumisesta, jolloin jätevettä virtaa säiliöön hyvin hitaasti normaaliin tilaan verrattuna. Hälytys vaatii käynnin pumppaamolla, jotta juurisyy voidaan löytää.



Pinnantarkkailu-hälytys laukeaa, kun pumppaamon paineanturin ilmoittama pinnankorkeus ei ole muuttunut määräajassa. Syynä tähän hälytykseen voi olla paineanturin tai sitä ohjaavan logiikan vioittuminen. Hälytyksen kiireellisyys on jälleen riippuvainen pumppaamon vesimäärästä. Käynti pumppaamolla on kuitenkin yleensä aina aiheellinen.

Lämpötilahälytys laukeaa, kun pumppaamon sisälämpötila nousee liian korkeaksi tai laskee liian matalaksi. Talvisin pumppaamoilla käytetään siirreltäviä sisätilalämmittimiä, joilla varmistetaan vesijohtojen ja muiden laitteiden toiminnan kannalta riittävä lämpötila. Kesällä pumppaamojen sisälämpötila voi nousta liian korkeaksi, mikä saattaa aiheuttaa vikoja sähkökeskuksissa. Hälytys vaatii käynnin pumppaamolla tilanteen selvittämiseksi.

## 5 JÄTEVESIPUMPPAAMO A

### 5.1 Yleiskuvaus

Tämän opinnäytetyön pääasiallisena aiheena on jätevesipumppaamon energiankulutuksen optimointi. Työn kohteena on vesimäärältään eräs Tampereen Veden suurimmista jätevesipumppaamoista. Pumppaamosta käytetään tämän työn aikana nimitystä jätevesipumppaamo A tai JVP A. Kyseinen pumppaamo on rakenteeltaan betonibunkkerimallinen ja se on varusteltu neljällä kuiva-asennetulla jätevesipumpulla. Pumppujen moottoreita ohjataan taajuusmuuttajien avulla. Taajuusmuuttajien käyttö mahdollistaa pumppujen käyttämisen eri taajuuksilla ja molempien pyörimissuuntien hyödyntämisen. Taajuusmuuttajan avulla voidaan myös rajoittaa moottorin käynnistys- ja pysäytysvirran suuruutta. Pehmeä käynnistys ja etenkin pysäytys ovat hyödyllisiä pumppujen käytössä. Putkilinjoille ja venttiileille haitalliset paineiskut saadaan poistettua pehmeän pysäytyksen avulla. JVP A:n varusteluun kuuluu myös molempiin paineviemäriinjoihin asennetut paine- ja virtausmittarit.

JVP A:n kaikki neljä pumppua ovat identtisiä, nimellisteholtaan 43:n kilowatin jätevesipumppuja. Pumppujen suurin nostokorkeus on ilmoitettu olevan 48,6 metriä. Pumppujen valmistaja Grundfos lupaa yhdelle pumpulle laskennalliseksi pumppaustuotoksi 135 litraa sekunnissa. Tämä asettaa pumppaamo A:n megaluokan pumppaamokategoriaan. Pumput 1 ja 2 pumppaavat paineviemäriinjoita 1:een, pumput 3 ja 4 puolestaan paineviemäriinjoita 2:een.

Pumppujen tiedoista voidaan mainita tärkeitä suureita, joita ovat muun muassa

- vapaa läpäisykyky 100 millimetriä
- suurin sallittu virta 88 ampeeria
- pumpun paino 720 kilogrammaa
- sekä tämän työn aiheeseen liittyvä pumpun pyörimisnopeus 1451 kierrosta minuutissa 50:n hertsin taajuudella.

Energiankulutusta tarkasteltaessa on yksinkertaisinta valita suureiksi kilowattitunnit ja pumpattu vesimäärä kuutiometreinä. Tästä suureesta käytetään myös

termiä ominaisenergiankulutus, eli yhden kuutiometrin pumppaamiseen käytetty sähkön määrä. Vaikkakaan yhden jätevesikuution pumppaamiseen ei suurta sähkömäärää kulu, ovat nämä suureet selkeitä ja helposti myös eri kertaluokkiin muunnettavissa. Myös sähkön hinta ilmoitetaan yleisesti snt/kWh -muodossa. Taulukosta 1 nähdään JVP A:n sähkönkulutus, virtaama sekä ominaisenergiankulutus 12:n kuukauden tarkastelujakson ajalta.

TAULUKKO 1. Pumppaamo A:n sähkönkulutus ja virtaama taulukoituna

Pumppaamo A:n sähkönkulutus ja virtaama			
Kuukausi	kWh	m <sup>3</sup>	kWh/m <sup>3</sup>
Kesäkuu	9915	50532	0,196
Heinäkuu	6483	31527	0,206
Elokuu	6707	32297	0,208
Syyskuu	6816	31996	0,213
Lokakuu	13155	44283	0,297
Marraskuu	12356	42788	0,289
Joulukuu	15279	35329	0,432
Tammikuu	<b>33780</b>	56768	<b>0,595</b>
Helmikuu	18410	41792	0,441
Maaliskuu	11639	45418	0,256
Huhtikuu	19392	54610	0,355
Toukokuu	11828	<b>59157</b>	0,200
<b>Yhteensä</b>	165760	526497	0,315

Tarkastelujakso sijoittui aikavälille 1.6.2022-31.5.2023. Taulukossa on lihavoituna kunkin suureen maksimiarvo. Taulukosta nousee selvästi esiin tammikuun erittäin suuri kilowattituntien ja ominaisenergiankulutuksen määrä. Tarkkaa syytä näin suuren eroon ei ollut mahdollista selvittää tämän työn aikana. Eräs syy voisi olla pumppaamolla talvella käytössä olleet sisätilalämmittimet, joiden käytöstä voi kertyä yllättävän suuri kilowattituntimäärä. Esimerkkinä voidaan käyttää kuuden kilowatin sisätilalämmitintä. Jos kyseinen lämmitin pyörii täydellä teholla ympäri vuorokauden, kuukaudessa sähkönkulutus yhdelle lämmittimelle olisi peräti 4464 kilowattituntia. On myös mahdollista, että tammikuun luvuissa on jonkinlainen mittausvirhe.

Taulukosta voidaan nähdä myös, että kesäkuukausina sähkönkulutus on selvästi pienimmillään. On syytä huomauttaa, että vuoden 2022 aikana pumppaamolla oli

vielä vain kolme jätevesipumppua. Veden virtaamasta voidaan todeta huippuarvojen sijoittuvan kevään kuukausiin, jolloin pumppaamolle päätyy runsaasti myös sulamisvesiä. Ominaisenergiankulutus pysyy melko stabiilina lukuun ottamatta joului-, tammi- ja helmikuun hyvin korkeita lukemia.

## **5.2 Kehittämisprojekti**

Jätevesipumppaamo A:n kehittämisprojekti alkoi suunnitteluvaiheella vuoden 2022 alussa. Hankkeen taustalla on alun perin ollut jätevesipumppaamojen mittausten tehostaminen. Mittaustietojen perusteella tavoiteltiin paremman informaation saamista muun muassa jäteveden pumppauksesta, virtaamasta ja muusta pumppaamon toiminnasta.

Pumppaamo A oli Tampereen Vedellä etenkin energiankulutuksen optimoinnin suhteen ns. pilottikohde. Projektin edetessä uusien laitehankintojen vaiheeseen, myös pumppauksen optimointi nousi esiin oleellisena aiheena. Pumppauksen optimoinnin tavoitteena oli selvittää mahdollisia säästöjä energiankulutuksessa sekä pumppujen käynnistyskertojen minimoiminen. Toinen tärkeä tarkasteltava asia oli kehittämisprojektin taloudellinen kannattavuus ja toistettavuus myös muilla pumppaamoilla.

### **5.2.1 Laitehankinnat**

Kehitysprojektin aikana pumppaamolle tehtiin runsaasti uusia laitehankintoja. Pumppaamolle asennettiin neljäs, muiden kolmen pumpun kanssa identtinen, kuiva-asenteinen jätevesipumppu. Energiankulutuksen säästöjen kannalta oleellisia hankintoja olivat Grundfosin pinnansäätöjärjestelmä ELSA DC ja jokaisen pumpun yhteyteen asennetut taajuusmuuttajat. Kumpaankin paineviemäriin jaan asennettiin paine- ja virtausmittarit. Näillä mittalaitteilla saadaan tarkkaa tietoa pumppaamon toiminnasta sekä mahdollistetaan ELSA DC -järjestelmän energiaoptimoitu pumppaus. Uusi pumppu, mittalaitteisto, pinnansäätöjärjestelmä ja taajuusmuuttajat asennettiin pumppaamolle alkuvuoden 2023 aikana.

ELSA DC (Dedicated Controls), on Grundfosin valmistama jätevesipumppaamojen pinnansäätö- ja ohjausjärjestelmä. ELSA DC -järjestelmä yhdessä taajuusmuuttajien kanssa mahdollistaa pumppujen energioptimoidun käytön. Järjestelmällä voidaan tarpeen mukaan käyttää 1–6 pumppua ja kerätä tarkkaa tietoa pumppauksesta. Tietoja saadaan muun muassa pumppujen virranotosta, tehonotosta, veden virtaamasta ja linjan paineesta. (Grundfos hinnasto 2020, 94). ELSA DC -järjestelmä pitää sisällään myös automaattisen energioptimoidun pumppauksen opettelujakson. Noin 24 tuntia kestävä jakson aikana järjestelmä ajaa pumppuja eri taajuuksilla, määrittäen kyseiselle pumppaamolle energiatehokkaimman taajuuden pumppujen käyttöön.

### **5.2.2 Paineviemärilinjan puhdistus**

Jätevesipumppaamo A:lla suoritettiin heinäkuussa 2023 ennen koeajojaksojen aloittamista paineviemärilinjojen puhdistus, nk. possutus. Kyseisen pumppaamon paineviemärilinjan pituus, ennen purkukaivoa ja sitä kautta viettoviemärilinjaan päätymistä, on noin 2000 metriä. Molemmat paineviemärilinjat puhdistettiin yksitellen.

Paineviemärilinjojen puhdistus suoritettiin yhteistyönä ulkopuolisen toimijan ja pumppaamojen kunnossapitoryhmän toimesta. Tampereen Veden jätevesihuollossa ei ollut aiemmin tehty paineviemärilinjojen puhdistuksia, joten työ oli hyödyllinen kokemus myös kunnossapitoryhmälle. Puhdasvesipuolella vesilinjojen puhdistus ja desinfiointi kuuluu normaaliin toimintaan.

Possutus on vaahtomuovisin puhdistuselementein tehtävä puhdistusmenetelmä. Puhdistuselementti, eli possu, on aina halkaisijaltaan jonkin verran paineviemärilinjaa suurempi. Onnistunut puhdistus perustuu mekaaniseen hankaukseen ja ohivirtaukseen. (SPC Vesitekniikka Oy 2014).

Syy possutukselle on hyvin selkeä. Paineviemärilinjan seinämiin kertyy ajan saatossa kiintoainetta, mikä kaventaa putken sisähalkaisijaa. Kapeampaan painelinjaan mahtuu vähemmän jätevettä, joten pumppaamon tuotto laskee ja pumppauksien kesto pitenee. Painelinjojen puhdistus suoritettiin ennen JVP A:lla tehtyjä energiankulutusta mittaavia koeajojaksoja. Puhdistuksilla pyrittiin saamaan

pumppaamon tuotto mahdollisimman korkeaksi ja sitä kautta myös pumppujen toiminta mahdollisimman energiatehokkaaksi.

Pumppaamo A:n tapauksessa possutus suoritettiin kytkemällä paineviemäriinlinjan pumppaamon päähän kuvassa 16 näkyvä muunnoskappale. Muunnoskappaleen avulla linjaa suurempi puhdistuselementti saadaan paikalleen ja vedenpaineen avulla ajettua linjaan. Puhdistuksessa tarvittava vesi pumpattiin läheisestä järvestä.



KUVA 16. Elementtipuhdistuksessa käytetty muunnoskappale (Hepola 2023)

Puhdistuksen aikana käytössä olleen järvivesipumpun pumppauskapasiteetti oli noin 50 kuutiometriä tunnissa. Paineviemäriinlinjan halkaisijan ollessa 350 millimetriä, koko linjan tilavuudeksi tulee noin 190 kuutiometriä. Pelkän järvivesipumpun teholla puhdistuksen kestoksi voitaisiin näin ollen laskea lähes neljä tuntia. Pro-

sessia kuitenkin saatiin nopeutettua ajamalla elementin perään lisää vettä pump-  
paamon omilla jätevesipumpuilla. Yhteensä painelinjojen puhdistukseen kului ai-  
kaa noin viisi tuntia.

Ennen puhdistusta pumppaamon virtausmittarin lukema, eli pumppaamon tuotto  
pumppujen käydessä, kirjattiin ylös vertailuarvoksi. Linjojen puhdistuksen jälkeen  
havaittiin, että kun ylimääräinen kiintoaine ja muut tukokset saatiin poistettua,  
pumppaamon tuotto oli kasvanut noin kymmenen prosenttia. Kymmenen prosen-  
tin muutos pumppaamon tuotossa vaikuttaa varsinkin pidemmällä aikavälillä huo-  
mattavasti jätevesipumppaamon energiankulutukseen.

## 6 ENERGIANKULUTUKSEN OPTIMOINTI

### 6.1 Energiankulutus pumppaussovelluksissa

Erilaiset pumppaussovellukset ovat etenkin vesihuollon ja teollisuuden parissa erittäin merkittäviä energiankäyttäjiä, joten kyseisten sovellusten ja prosessien tehostamisella voitaisiin saavuttaa varsin suuria säästöjä energiankulutuksessa (Pulli 2016, 234). Tämän opinnäytetyön aikana pyrittiin optimoimaan jätevesipumppaamoilla käytössä olevien kuiva-asennettujen jätevesipumppujen energiankulutusta. Jätevesihuolto on yksi yhteiskunnan kriittisimmistä toiminnoista. Kirjassaan Vesihuoltotekniikan perusteet (Karttunen 1999, 25), Karttunen kertoo, että ”teollisuus on suurin vedenkäyttäjä Suomessa. Teollisuuden osuus kokonaisveden käytöstä on Suomessa noin 85 %”. Samalla voidaan kuitenkin todeta, että hyvin runsas veden käyttö on tietyille teollisuuden prosesseille välttämätöntä, vaikkei itse lopputuote sisältäisi lainkaan vettä.

Arvioiden mukaan sähkömoottorit käyttävät jopa 70 prosenttia kaikesta sähköstä Euroopassa, reilu viidennes sähkönkulutuksesta käytetään erilaisiin pumppaussovelluksiin. Erilaisilla laitteisiin ja säätötapoihin kohdistuvilla muutoksilla voitaisiin saavuttaa jopa 30–50 % säästö pumppaussovellusten sähkönkulutuksessa. (Pulli 2016, 234). Toisaalta Motiva kertoo oppaassaan (Energiatohokkaat pumput 2011, 5), että erilaisiin pumppuihin käytetään noin 10 % koko maailman sähköstä ja pumppausta optimoimalla voitaisiin saavuttaa jopa 4 % säästöt maailmanlaajuisessa sähkönkulutuksessa. Säästöpotentiaali on kuitenkin hyvin kohdekohtainen, eikä sitä voida suoraan yleistää esimerkiksi jokaiselle jätevesipumppaamolle.

Eräs tyypillinen ongelma pumppaussovelluksissa on pumppujen ylimitoittaminen. Jätevesipumppaamoilla yläkanttiin mitoitettut pumput ovat ilman muuta toimintavarmempia kuin juuri ja juuri riittävän kokoisiksi mitoitettut pumput, mutta ne kuluttavat automaattisesti myös enemmän energiaa. Pulli (2016) havainnollistaa tätä kirjassaan yksinkertaistetun esimerkin avulla, jossa hän toteaa varmuuden vuoksi tehdyn pumpun ylimitoituksen johtaneen noin 11 prosentin kasvuun energiankulutuksessa. Jos tämä noin 11 prosenttia lisättäisiin jokaiselle pumpulle,



mitä Tampereen Veden jätevesipumppaamoilla on käytössä, voitaisiin helposti huomata varsinkin vuositasolla erittäin merkittävät muutokset energiankulutuksessa. Toisaalta useiden varsinkin suurivetisten jätevesipumppaamojen toiminta ja veden virtaama ei ole lineaarista. Veden virtaamat vaihtelevat esimerkiksi vuorokauden ajankohdan, sademäärien ja vuodenajan mukaan. Jätevesipumppaamoilla on tämän takia oltava tietty ylimääräinen kapasiteetti pumpata suurempia-kin määriä jätevettä. Tämä tarkoittaa sitä, että energiankulutuksen optimointia tehtäessä on pyrittävä löytämään myös muita keinoja kuin pumppujen mitoitus suunnitteluvaiheessa.

## 6.2 Keskipakopumppujen säätötavat

Tässä kappaleessa käsiteltävillä pumppujen säätötavoilla tarkoitetaan virtauksen säätämistä, eikä sitä pidä sekoittaa aiemmassa luvussa kuvattuun pumpun juoksupyörävällyksen säätämiseen.

Pumppujen tyypillisiä säätötapoja on neljä:

- kierroslukusäätö taajuusmuuttajalla
- on-off-säätö
- kuristussäätö
- ohivirtaussäätö eli takaisinkieräytys.

Tässä työssä tarkastellaan kolmea ensin mainittua säätötapaa. Ohivirtaussäätö on erittäin epätaloudellista, koska pumppu kierrättää nestettä edestakaisin, jolloin osa pumpun tehosta muuttuu puhtaaksi häviöksi (Energiatehokkaat pumput 2011, 8). Kyseinen säätötapa ei siis ole tämän työn aikana oleellinen.

Kierroslukusäätö taajuusmuuttajalla on tämän opinnäytetyön suhteen kaikista oleellisin säätötapa. Kuten nimikin jo kertoo, säätötavalla muutetaan pumpun pyörimisnopeutta, jolloin mahdollistetaan pumpun toiminta uusilla toiminta-arvoilla. Taajuusmuuttajaohjatulla pyörimisnopeuden säädöllä päästään energiankulutuksen kannalta tehokkaisiin pumppausratkaisuihin. (Energiatehokkaat pumput 2011, 8). Pyörimisnopeuden muuttaminen vaikuttaa affiniteettisääntöjen mu-

kaan myös pumppauksen tärkeisiin suureisiin, eli tilavuusvirtaan, nostokorkeuteen ja pumpun ottamaan tehoon. Näille muutoksille voidaan esittää laskennallinen pohja kaavoilla 1, 2 ja 3:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (2)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (3)$$

jossa  $Q$  on tilavuusvirta,  $H$  on nostokorkeus,  $P$  on pumpun ottama teho ja  $n$  on pumpun pyörimisnopeus. (Höyrykattilatekniikka 2000, 224). Affiniteettisäännöillä tarkoitetaan pyörimisnopeuden vaikutusta pumpun suoritusarvoihin. Tilavuusvirran muutos on suoraan verrannollinen pyörimisnopeuteen, nostokorkeus muuttuu verrannollisena pyörimisnopeuden toiseen potenssiin ja pumpun ottama teho muuttuu verrannollisena pyörimisnopeuden kolmanteen potenssiin. (Voimalaitostekniikka 2008, 142). Pyörimisnopeuden säätö on käyttökustannuksiltaan hyvin edullinen, mutta laiteinvestoinneiltaan selvästi kalliimpi kuin kuristus- tai on-off-säätö.

On-off-säätö on etenkin jäteveden pumppaamisessa hyvin yleisesti käytetty säätötapa. Pois lukien tämän työn aiheena oleva JVP A, kaikki Tampereen Veden pumppaamot käyttävät tätä säätötapaa. Tyypillisesti kyseistä säätötapaa käytetään, kun pumpun portaaton säätö ei ole tarpeellinen ja tavoitteena on pitää veden pinta säiliössä ennalta määritettyjen rajojen sisällä (Energiatehokkaat pumput 2011, 8). Pumppaamologiikkaan määritellyt käynnistys- ja pysäytysrajat ohjaavat pumppujen toimintaa. On-off-säätö on hyvin yksinkertainen ja edullinen tapa käyttää pumppuja, mutta toisaalta sillä ei saavuteta muita ominaisuuksia kuin pumppujen käynnistäminen ja sammuttaminen.

Kolmas säätötapa on pumpun kuristussäätö. Tätä tapaa pidetään kaikista yksinkertaisimpana menetelmänä muuttua pumpun toimintapistettä. Käytännössä tämä tarkoittaa paineputken säätöventtiilin kuristamista, jolloin nostokorkeus kasvaa putkivastusten takia ja tilavuusvirta laskee. Kyseinen säätötapa on etenkin teollisuuden sovelluksissa erittäin tyypillinen, mutta varsin epätaloudellinen,

koska pumppu joutuu ottamaan tehoa huomattavasti enemmän, kuin nesteen siirtämiseen painelinjassa tarvittaisiin. (Voimalaitostekniikka 2008, 141–142).

### 6.3 Taajuusmuuttajaohjattu pumppaus

Tässä opinnäytetyössä pyritään optimoimaan jätevesipumppaamon energiankulutusta muuttamalla pumppujen pyörimisnopeutta taajuusmuuttajan avulla. Kolmivaiheverkkoon kytketyn oikosulkumoottorin pyörimisnopeuden ja taajuuden väliselle yhteydelle voidaan osoittaa kaava 4:

$$n = \frac{2 \cdot f \cdot 60}{p} \quad (4)$$

jossa  $f$  on verkkotaajuus ja  $p$  on moottorin napojen määrä. Tyypillisessä oikosulkumoottorissa on neljä napaa ja Suomessa sähköverkon taajuus on 50 hertsiä. Grundfos ilmoittaa tarkasteltavien pumppujen pyörimisnopeudeksi 50:n hertsin taajuudella 1451 kierrosta minuutissa. Esimerkkinä pumpun optimoidulle taajuudella voidaan käyttää 40:tä hertsiä. Näin ollen saadaan moottorin laskennallinen pyörimisnopeus.

$$n = \frac{2 \cdot 40 \text{ Hz} \cdot 60 \text{ s}}{4} = 1200 \text{ rpm} \quad (5)$$

Affiniteettisääntöjen kaavan 3 mukaan optimoidulla taajuudella pumpun laskennallinen tehonotto on:

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \quad (6)$$

johon sijoittamalla uusi pyörimisnopeus 1200 rpm,

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{1200}{1451}\right)^3 = P_1 \cdot 0,565 \quad (7)$$

saadaan laskettua pumpun ottama teho 40:n hertsin taajuudella. On syytä huomauttaa, että edellä esitetyt kaavat pätevät vain teoriassa, eikä niissä ole mahdollista ottaa huomioon kaikkia todellisessa tilanteessa tapahtuvia häviöitä. Käytännön sovelluksissa näin suuren muutoksen saavuttaminen pumppujen tehonotossa lienee mahdotonta.

## 7 KOEAJOKSOT

### 7.1 Koeajojaksojen tarkoitus

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin vesimäärältään suuren jätevesipumppaamon energiankulutuksen optimointia. Tutkimusmenetelmänä käytettiin kvantitatiivista, eli määrällistä tutkimusta. Määrälliselle tutkimukselle on tyypillistä laajojen, numeroihin perustuvien aineistojen käsittely. (Tutkijan ABC 2015). Tässä työssä pumppaukseen liittyvää mittausdataa on kerätty yhteensä neljän, kaksi viikkoa kestäneen, koeajojakson ajalta. Koeajojakson tulosten perusteella pyrittiin selvittämään mahdollisia eroja energiankulutuksessa, kun tyypillistä pinnansäätöjärjestelmää verrattiin energiankulutusta optimoivaan pumppausjärjestelmään. Energiatehokkaan pumppauksen taustalla on jätevesipumppujen taajuuden ja sitä kautta pyörimisnopeuden muuttaminen.

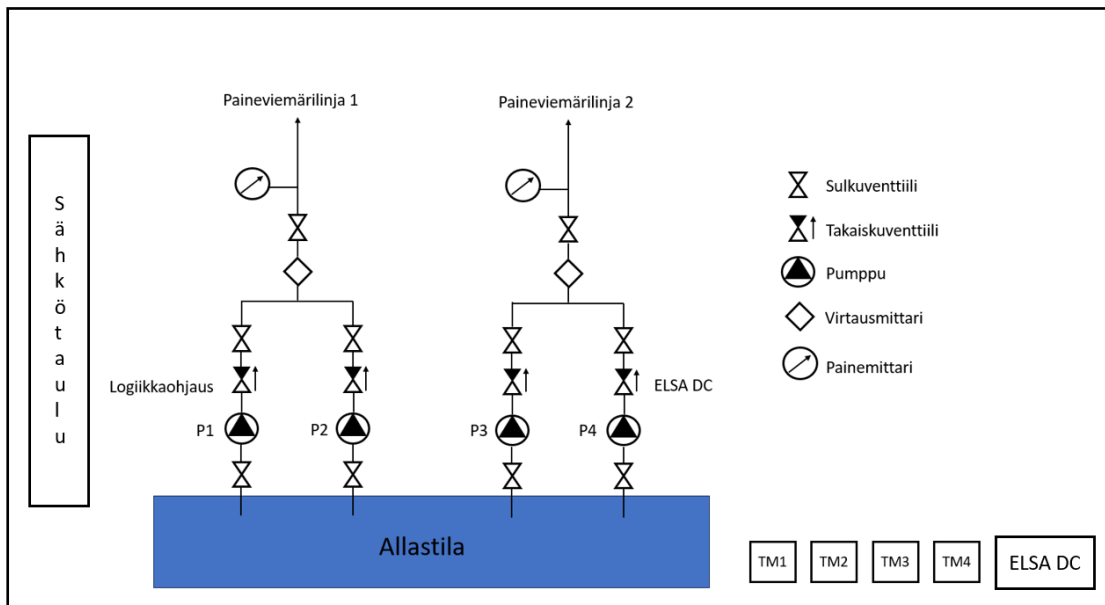
### 7.2 Koeajojaksojen toteutus

Koeajojaksoja suunniteltiin alun perin toteutettavaksi kesän 2023 aikana. Tavoitteena oli suorittaa koeajojaksot mahdollisimman kuivien kelien aikaan. Jätevesipumppaamoille päätyy aina myös sadevesiä, joten luotettavan mittausdatan kerääminen olisi syytä ajoittaa mahdollisimman vähäsateiseen ajankohtaan. Kesäkuukausina 2023 Tampereella koettiin kuitenkin erittäin rajuja vesisateita, joten koeajojaksojen aloitus siirrettiin myöhäisempään ajankohtaan. Varsinaiset koeajojaksot päästiin aloittamaan 11. syyskuuta.

Pumppujen toimintaa ohjaavien käynnistys- ja pysäytysrajojen avulla pumppaamolle muodostettiin kaksi pumppuparia. Toista pumppuparia ohjasi tavanomainen pumppaamologiikka ja toista puolestaan ELSA DC -pinnansäätöjärjestelmä. Pumppaamologiikan ja ELSA DC:n pintarajat säädettiin niin, että hieman suurempienkin vesimäärien aikana vain ensisijainen pumppupari olisi toiminnassa, ja mittausdata pysyisi vertailun kannalta mahdollisimman validina. Käytännössä tämä tarkoitti ensisijaisen pumppuparin käynnistysrajojen olevan selvästi matalammalla kuin varalla olevan pumppuparin. Ennen koeajojaksoja ELSA DC -järjestelmä suoritti automaattisen energiaoptimoidun pumppauksen opettelukakson.

Opettelujakson perusteella kyseiselle jätevesipumppaamolle energiatehokkain taajuus oli 38–40 hertsiä. ELSA DC -järjestelmä ajaa pumppuja optimoidulla taajuudella aina, kun se on mahdollista. Jos pumppaamolle tulee suuria vesimääriä eikä matalammalla taajuudella pystytä pumppaamaan vettä tarpeeksi nopeasti, pumput lähtevät pumppaamaan täydellä teholla.

Suunnitelman mukaisesti koeajojaksot toteutettiin kahden viikon osioissa niin, että ELSA DC -järjestelmän ohjaamat pumput 3 ja 4 olivat ensisijaisessa käytössä ensimmäisen osion aikana. Seuraavat kaksi viikkoa ensisijaisesti toimivat pumppaamologiikan ohjaamat pumput 1 ja 2. Pumppuparien ensisijaisuutta vaihdettiin kahden viikon välein yksinkertaisesti vaihtamalla päikseen käynnistysrajojen arvot. Kuvassa 17 havainnollistetaan pumppaamon mittausjärjestelyjä.



KUVA 17. Yksinkertaistettu kuvaus mittausjärjestelyistä

Yllä oleva kuva esittää tarkastelun kohteena olevan jätevesipumppaamon laitteiston ja mittausjärjestelyt ylhäältä katsottuna. Oikeassa laidassa on esitettynä taajuusmuuttajat sekä ELSA DC -järjestelmän käyttöpaneeli. Selkeyden vuoksi kuvaan ei ole lisätty sähkökytkentöjä. Jos tarkastellaan yksittäistä pumppulinjaa, laitteisto koostuu sulkuventtiilistä ennen pumppua, pumpusta, takaiskuventtiilistä sekä sulkuventtiilistä pumpun jälkeen. Paine- ja virtausmittarit on asennettu paineviemäriin jaan pumppulinjojen yhdistymisen jälkeen. Näin ollen saadaan mittausdataa, jolla voidaan suorittaa vertailua myös pumppuparien välillä.

Koeajojaksojen aikana kerättiin mittausdataa useasta eri suureesta kunkin pumpun osalta. Näitä suureita olivat muun muassa pumpun virran- ja tehonotto, pumpun tuotto, paineviemäriinlinjan paine ja virtaama sekä pumpun taajuus. Järjestelmä tallensi mittaus tietoja tuntikohtaisesti, eli tehonoton ja virtaaman suhteen mittausdata kuvasti kyseisten suureiden kertymää tunnissa, kun taas loput suureet esitettiin keskiarvona tunnin ajalta.

### 7.3 Koeajojaksojen tulokset

Ensimmäinen 11.9.–9.10. aikavälillä suoritettu koeajojakso onnistui mittausdatan kannalta melko hyvin. Koeajojen aikana jäteveden pumppaus pyrittiin suorittamaan vain ensisijaisessa käytössä olleella pumppuparilla. ELSA DC -järjestelmän pumppuparin ollessa ensisijaisessa käytössä, eivät pumppamologiikan pumpput käynnistyneet kertaakaan, kuten toivottua. Pumppamologiikan pumpujen ollessa ensisijaisessa käytössä, ELSA DC -järjestelmän pumpput käynnistyivät yhteensä 27 kertaa. Pumppujen käyntitiedoista voitiin kuitenkin nähdä pumppujen käyneen yhteensä vain noin 18 minuutin ajan, joka kahden viikon koeajojakson aikana on mittaus tulosten suhteen käytännössä merkityksetöntä. Pumppuparien sähkönkulutuksen vertailun kannalta koeajojakso oli näin ollen erittäin onnistunut. Ensimmäisen koeajojakson suurin haaste oli pumppukohtaisten taajuusmittausten epäonnistuminen.

Koeajojaksojen tulosten pohjaksi voidaan esittää paine-eron kaava 8 ja pumpun teoreettisen tehonoton kaava 9:

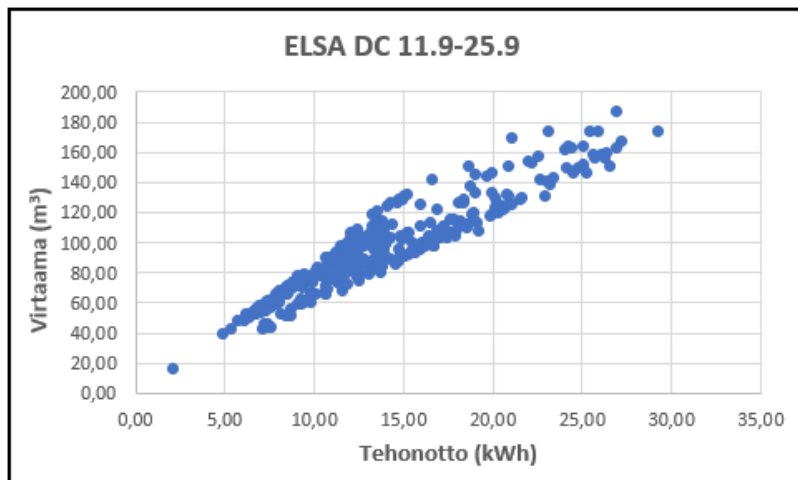
$$\delta p = \rho g H \quad (8)$$

joissa  $\rho$  on pumpattavan nesteen tiheys,  $g$  on putoamiskiihtyvyyden ja  $H$  on nesteen nostokorkeus. Kaavasta voidaan havaita paine-eron ja nostokorkeuden välinen yhteys, käytännössä paineviemäriinlinjassa esiintyvä paine tarkoittaa nostokorkeutta.

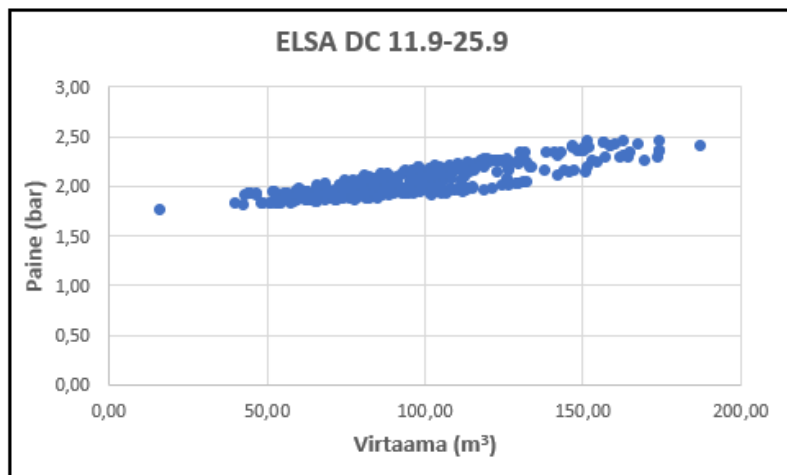
$$P_{teor} = \rho g H Q \quad (9)$$

Pumpun teoreettisen tehonoton kaavassa esiintyy edellä mainittujen suureiden lisäksi suure  $Q$ , joka on veden virtaama putkilinjassa. Teoreettisen tehonoton kaava olettaa täysin häviöttömän tilanteen, ja vertaamalla teoreettista arvoa mitaustulosten todelliseen tehonottoon, voidaan laskea pumppauksen hyötysuhde.

Erittäin kattavat mittaustulokset on syytä esittää osittain kuvaajina ja osittain taulukoituina lopputuloksina. Kuviot 1–4 esittävät mittaustulokset kuvaajamuotoisina.

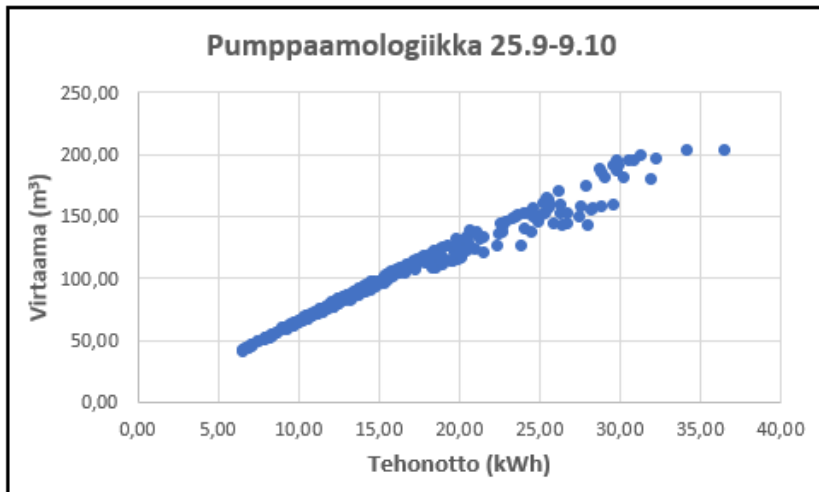


KUVIO 1. Jäteveden virtaama tehonoton funktiona

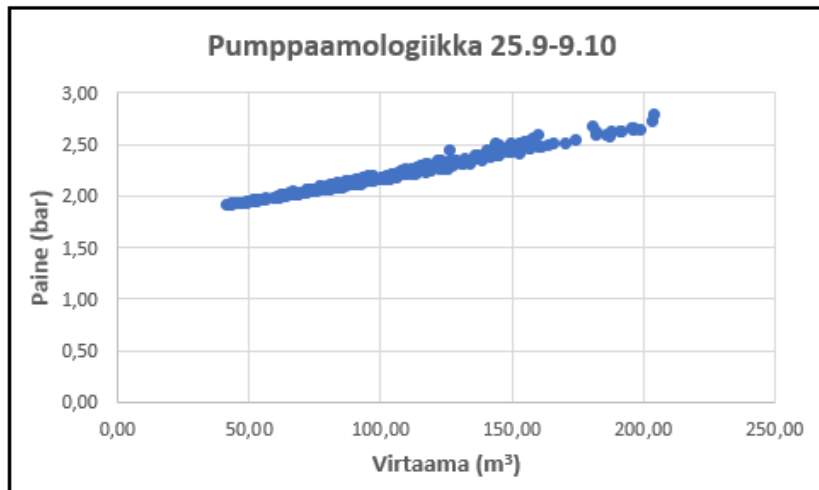


KUVIO 2. Linjan paine jäteveden virtaaman funktiona





KUVIO 3. Jäteveden virtaama tehonoton funktiona



KUVIO 4. Linjan paine jäteveden virtaaman funktiona

Kuvaajista voidaan helposti havaita jäteveden virtaaman ja tehonoton suora verrannollisuus. Sama verrannollisuus pätee myös paineen ja jäteveden virtaaman suhteen. Mitä enemmän jätevettä linjassa virtaa, sitä enemmän pumppu tarvitsee tehoa. Linjan paine nousee sitä mukaa, mitä enemmän linjaan jätevettä pumpataan. Tämä johtuu paineviemäriinlinjan tilavuudesta ja putkistovastuksista. Mitä enemmän linjaan pumpataan jätevettä, sitä enemmän vastuksia kertyy, ja paine linjassa kasvaa.

Kun verrataan ELSA DC -järjestelmän ja pumppaamologiikan kuvaajia, havaitaan ELSA DC -järjestelmän mittauksissa hieman enemmän hajontaa. Tämä selittyy taajuuden muutoksilla pumppauksen aikana. Molempien pinnansäätöjärjestelmien kuvaajissa on kuitenkin nähtävissä selkeä lineaarisuus.

Kun pumpun pyörimisnopeutta hidastetaan taajuusmuuttajan avulla, jäteveden virtausnopeus laskee. Virtausnopeuden ollessa pienempi, pienenevät myös putkistovastukset. Kun nostokorkeuden ja putkistovastusten aiheuttama paine-ero laskee, laskee myös pumpun tarvitsema teho, jolloin sähkönkulutus on vähäisempää. Edellä mainitut kaavat 8 ja 9 osoitetaan näin ollen päteviksi.

Koeajojaksojen pohjalta voidaan laskea ja taulukoida joitain pumppaamon energiankulutukseen liittyviä suureita. Luvut ovat koko koeajojakson ajalta kerätyn mittausdatan keskiarvoja. Ensimmäisen koeajojakson tärkeimmät suureet esitetään taulukossa 2.

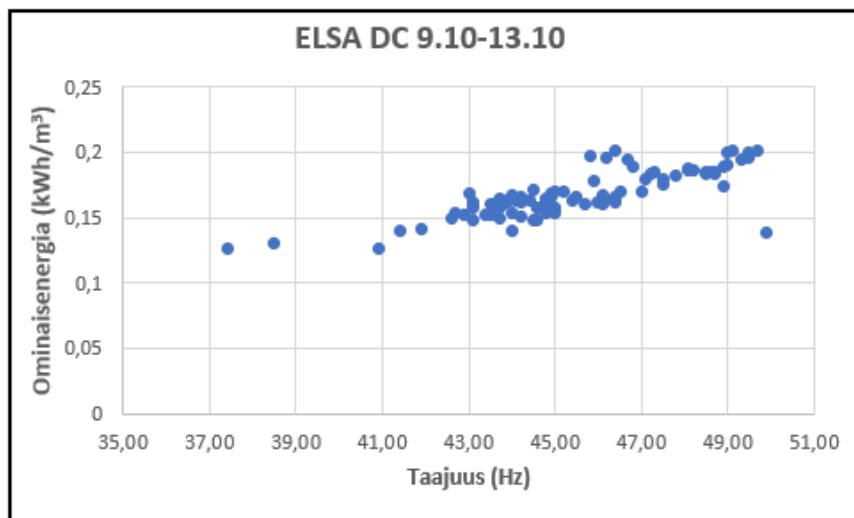
TAULUKKO 2. Koeajojakson tärkeimmät tulokset

	Pumppaamologiikka	ELSA DC	Muutos
<b>Ominaisenergiankulutus (kWh/m<sup>3</sup>)</b>	0,15657	0,14330	<b>-0,01327</b>
<b>Pumppauksen hyötysuhde <math>\eta</math> (%)</b>	38,1	39,7	<b>+1,6</b>
<b>Pumppujen tehonotto (kWh)</b>	5202	4683	<b>-519</b>
<b>Jäteveden virtaama (m<sup>3</sup>)</b>	32943	32775	<b>-168</b>
<b>Sähkönkulutus vuodessa (kWh)</b>	134105	122113	<b>-11992</b>

Taulukoiduista arvoista voidaan havaita eroavaisuudet pumppaamologiikan ja ELSA DC -järjestelmän välillä. ELSA DC -järjestelmän optimoitu pumppaus on energiatehokkaampi usean suureen suhteen. Pumppauksen hyötysuhteessa ei saavuteta suuria muutoksia energiaoptimoidulla pumppauksella.

Neljän viikon aikana kerätyn mittausdatan pohjalta voidaan esittää laskennallinen vuosittainen säästö sähkönkulutuksessa. On syytä huomioida laskennallisten tulosten olevan optimaalisten olosuhteiden aikana mitattujen suureiden keskiarvojen tulos. Todelliset vuosittaiset lukemat voivat olla selvästikin korkeampia tai matalampia. Vuosittainen laskennallinen sähkönkulutus saatiin kertomalla kahden viikon koeajojakson ominaisenergiankulutus sekä jäteveden virtaamalla että 26:lla. Prosentuaalisesti säästö sähkönkulutuksessa ELSA DC -järjestelmän energiaoptimoitua pumppausta käyttämällä oli noin 9 prosenttia. Taajuuden vaikutus sähkönkulutuksen säästöihin on suuri. Mittausdatan perusteella energiaoptimoidun pumppauksen keskiarvoinen taajuus oli noin 45 hertsiä. Tämä tarkoittaa huomattavasti tavoiteltua pienempää taajuuden muutosta.

Toinen koeajojakso aloitettiin välittömästi ensimmäisen jakson jälkeen. Mittausdataa kerättiin aikaväliltä 9.10.–6.11. Toisen koeajojakson aikana jäteveden virtaama pumppaamalla on ollut pääsääntöisesti niin suurta, että vertailukelpoista mittausdataa oli käytettävissä erittäin vähän. Energiaoptimoidun pumppauksen keskiarvollinen taajuus oli myös tässä jaksossa noin 45 hertsiä. Aivan koeajojakson alusta saatiin mittausdataa (KUVIO 5), jonka pohjalta voidaan tarkastella taajuuden vaikutusta ominaisenergiankulutukseen. Lyhyestä otoksesta huolimatta, kuvaajassa voidaan nähdä lineaarinen verrannollisuus ominaisenergiankulutuksen ja taajuuden välillä.



KUVIO 5. Ominaisenergiankulutus taajuuden funktiona

Jälkimmäisen koeajojakson vähäisiä tuloksia ei ole syytä lähteä erikseen taulukoimaan. Tuloksista voidaan todeta niiden olevan liian epäselviä, monimutkaisia tai puutteellisia tulkittavaksi tämän opinnäytetyön aikana.

## 7.4 Kannattavuuslaskelma

Koeajojaksojen tulosten ja pumppaamon kehitysprojektiin liittyvien investointien pohjalta voitiin suorittaa yksinkertainen kannattavuuslaskelma projektille. Energiankulutuksen optimointi oli osa suurempaa kehitysprojektia. Tampereen Vesi on erotellut tämän osion yhteensä 55 000 euron alkuinvestointeja seuraavasti:

- Grundfosin toimittamat laitteet yhteensä 15 000 €
- Muut laitehankinnat yhteensä 15 000 €
- Suunnittelu ja asennukset yhteensä 25 000 €.

Grundfosin toimitukseen kuuluivat ELSA DC -järjestelmä, neljä taajuusmuuttajaa, neljä turvakytkintä pumpuille sekä väylämoduulit ja muut sähkötarvikkeet. Muut laitehankinnat koostuivat paineviemärijoihin asennetuista paine- ja virtausmittareista, pinnanmittauslaitteistosta ja hätäkäyttövipasta.

Sähkön hinta on vaihdellut runsaasti muutaman viime vuoden aikana. Tampereen Vesi on käyttänyt omassa, sähkönkulutusta ja jäteveden virtaamaa seuraavassa järjestelmässään, suuntaa antavaa hinnoittelua 0,3 €/kWh. Tässä kannattavuuslaskelmassa käytetään samaa sähkön hintaa.

Kun edellä mainittu vuosittainen sähkönkulutuksen säästö 11992 kilowattituntia muunnetaan euromääräiseksi säästökseksi, saadaan vuositasolla noin 3600 euron säästöt. Pelkkää sähkönkulutuksen säästöä verratessa alkuinvestointeihin, takaisinmaksuaika olisi peräti yli 15 vuotta. On syytä kuitenkin huomauttaa, että energiaoptimoitu pumppaus pidentää pumppujen elinkaarta ja vähentää niiden huoltotarvetta. Tämän työn puitteissa on mahdotonta arvioida edellä mainittujen seikkojen rahallista arvoa.

## 8 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin Tampereen Veden jätevesihuoltoa ja etenkin jätevesipumppaamojen toimintaa sekä yleisellä tasolla että käytännön esimerkein. Työn aikana perehdyttiin yksityiskohtaisesti jätevesipumppaamon rakentamiseen ja laitteistoon kunnossapidon näkökulmasta. Työn ensimmäinen osa luo hyvän pohjan jälkimmäisessä osassa tehdyille jätevesipumppaamon energiankulutuksen optimoinnille.

Jätevesipumppaamon energiankulutuksen optimoinnin taustalla oli Tampereen Veden tekemä laajempi kehitysprojekti tarkastelun kohteena olevalla pumppaamolla. Projektin aikana haluttiin lisätä pumppauksesta saatavan tiedon määrää ja selvittää sähkönkulutuksen vähentämisen mahdollisuuksia. Työn aikana pumppaamolla verrattiin tyypillisen, on/off-säätötavan, ja taajuusmuuttajasäädön välistä eroa energiankulutuksessa.

Työ suoritettiin kvantitatiivisena eli määrällisenä tutkimuksena, jonka tutkimusaineistona käytettiin pumppaamolla suoritettujen neljän, kahden viikon mittaisen, koeajojakson aikana kerättyä laajaa mittausdataa. Mittausdatan pohjalta voitiin tehdä laskennallisia arvioita sähkönkulutuksen vuosittaisissa säästöissä.

Koeajojaksojen aikana kerätyn mittausdatan tulokset osoittivat selvän eron sähkönkulutuksessa kahden eri säätötavan välillä. Taajuusmuuttajasäädöllä voitaisiin saavuttaa vuositasolla noin 12 000:n kilowattitunnin säästöt, mikä vastaa noin yhdeksää prosenttia kokonaissähkönkulutuksesta. Jätevesipumppaamon vuosittaista vesimäärää ja sen pumppaamiseen tarvittavaa energiaa on kuitenkin hankala arvioida melko lyhyiden koeajojaksojen perusteella.

Työn lopussa suoritettu kannattavuuslaskelma tarkastelee työn merkitystä ja arvoa puhtaasti taloudellisesta näkökulmasta. Selvistä säästöistä sähkönkulutuksessa huolimatta, laskelma osoittaa projektin alkuinvestointien takaisinmaksuajan hyvinkin pitkäksi.

## 9 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön päättävässä pohdintaosiossa on syytä keskittyä työn oleellisiin osiin, eli jätevesipumppaamon energiankulutuksen optimointiin. Tarvittavat laiteasennukset oli tehty kyseiselle pumppaamolle jo ennen tämän työn aloittamista. Pumppaamolle asennettu uusi pinnansäätöjärjestelmä ELSA DC ja sen automaattinen energiaoptimoidun pumppauksen opetteluajankohta poisti kokonaan tarpeen määrittää pumppujen optimitaajuus mittaamalla. Näin ollen työssä voitiin keskittyä nimenomaan mittaustulosten analysointiin.

Koska kyseessä on vesimäärältään suurikokoinen pumppaamo, eikä veden virtaama ole läheskään lineaarista, pumppauksen optimoinnilla saavutetut säästöt eivät olleet itsestään selviä. Pilottikohteen haasteina voidaan pitää myös uusien laitteiden korkeita hankintahintoja sekä optimoinnin ja muutostöiden toistettavuutta muilla jätevesipumppaamoilla. JVP A:ta voidaan kutsua kokoavaksi pumppaamoksi, sen kautta pumpataan useiden muidenkin lähistöllä olevien pumppaamojen jätevedet. Käytännössä tämä tarkoittaa erittäin suuria vaihteluja jäteveden virtaamaan. Tämän tyyppinen pumppaamo ei sovellu ns. tasapinta-ajoon, jossa pumppuja ajettaisiin matalammalla taajuudella lähes ympäri vuorokauden.

Kehitysprojektin laitteiston ja järjestelmän asentaminen muille jätevesipumppaamoille olisi varmasti hyödyllistä etenkin pidemmällä aikavälillä. Taajuusmuuttaja-ohjatut pumput tuovat säästöjä myös pidemmän elinkaarensa ja vähäisemmän huoltotarpeensa kautta. On kuitenkin tärkeää huomioida laitehankintojen ja asennusten suuret kulut. Toisaalta voisi olla hyödyllistä selvittää ELSA DC -järjestelmän soveltuminen myös pienemmille pumppaamoille. Pienemmän pumppaamon laitteiston alkuinvestoinnit voisivat olla matalampia, mutta suhteelliset säästöt jopa isomman kokoluokan pumppaamoja suurempia.

Jätevesipumppaamo A:n paineviemäriinjojen puhdistuksella saatiin nostettua pumppaamon tuottoa noin kymmenellä prosentilla. Käytännössä tämä tarkoittaa linjassa esiintyvien putkistovastusten vähenemistä, mikä puolestaan parantaa

pumppujen toimintaa niin energiankulutuksen kuin myös niiden elinkaaren näkökulmasta. Etenkin suurten vesimäärien ja pitkien paineviemäriinjojen pumppaamoilla säännöllisillä puhdistuksilla voitaisiin saavuttaa merkittäviäkin säästöjä.

Kenties edullisin tapa hyödyntää ELSA DC -järjestelmää ja taajuusmuuttajaohjattuja pumppuja, olisi suunnitella ja asentaa ne kokonaan uudelle pumppaamolle jo rakennusvaiheessa. Jälkiasennuksena tehty kehitystyö syö selvästi projektin kannattavuutta. Sopivin pumppaamokohde kyseiselle järjestelmälle voisi olla suurivetinen pumppaamo, jossa jäteveden virtaama on mahdollisimman tasaista. Jätevesipumppujen tehon tarve vaihtelee hyvin paljon riippuen pumpattavan nesteen laadusta, tarvittavasta nostokorkeudesta sekä paineviemäriinjan koosta, eikä sopivinta pumppaamokohdetta voi näin ollen yksiselitteisesti määrittää.

## 10 LÄHTEET

ABB. 2011. Pehmökäynnistinopas. PDF-dokumentti. Viitattu 16.10.2023.

[https://library.e.abb.com/public-d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12\\_01.pdf](https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf)

Etusivu. 2023. Tampereen Vesi. Verkkosivu. Viitattu 20.7.2023.

<https://www.tampereenvesi.fi/tampereen-vesi/>

Etusivu. 2016. Turun Seudun Puhdistamo. Verkkosivu. Viitattu 9.8.2023.

<https://www.turunseudunpuhdistamo.fi/>

Fonselius, J., Laitinen, E., Pekkola, K., Sampo, A. & Välimaa, T. 1994. Koneautomaatio. Anturit. Helsinki: Painatuskeskus Oy.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab.

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

Juuti, P. & Katko, T. 1998. Ernomane vesitehras: Tampereen kaupungin vesilaitos 1835–1998. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Jäteveden käsittely. n.d. Promisti. Verkkosivu. Viitattu 7.8.2023.

<https://www.promisti.fi/jateveden-kasittely/>

Jätevesien käsittely. 2021. Tampereen Vesi. Verkkosivu. Viitattu 7.8.2023.

<https://www.tampereenvesi.fi/tampereen-vesi/jatevesien-kasittely/>

Karttunen, E. 1999. Vesihuoltotekniikan perusteet. Helsinki: Hakapaino Oy.



Motiva. 2011. Energiatehokkaat pumput. Opas energiatehokkaiden pumppujen hankintaan ja pumppausjärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseen. PDF-dokumentti. Viitattu 20.9.2023. [https://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat\\_pumput.pdf](https://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat_pumput.pdf)

Oy Grundfos Pumput Ab. n.d. Yleisimmät juoksupyörätyypit. PDF-dokumentti. Viitattu 26.10.2023. <file:///C:/Users/K%C3%A4ytt%C3%A4j%C3%A4/Downloads/fi-36-module-3-yleisimm%C3%A4t-juoksupy%C3%B6r%C3%A4tyypit.pdf>

Oy Grundfos Pumput Ab. 2020. Hinnasto. [*esite*].

Possutus. 2014. SPC Vesitekniikka Oy. Verkkosivu. Viitattu 27.9.2023. <https://www.spcvesitekniikka.fi/putkienpuhdistus/possutus>

Pulli, M. 2016. Virtaustekniikka: Vedensiirtojärjestelmien toiminnallinen suunnittelu nykyaikaisin menetelmin. Tampere: Tammertekniikka.

Toiminta. 2016. Turun Seudun Puhdistamo. Verkkosivu. Viitattu 9.8.2023. <https://www.turunseudunpuhdistamo.fi/toiminta>

Tulopumppaus. 2016. Turun Seudun Puhdistamo. Verkkosivu. Viitattu 9.8.2023. <https://www.turunseudunpuhdistamo.fi/tulopumppaus>

Tutkijan ABC. 2015. RajatOn. Verkkosivu. Viitattu 4.11.2023 <https://rajatontatiedekasvatusta.wordpress.com/tutkijan-abc/>

## 11 LIITTEET

Liite 1. Jätevesipumppaamon trendikuvaaja

