

# KARINIEMEN JÄTEVEDENPUHDISTAMON ENERGIANMITTAUSJÄRJESTELMÄ

## Tiivistelmä

Tekijä(t) Meiseri, Anni	Julkaisun laji Opinnäytetyö, YAMK	Valmistumisaika Kevät 2019
	Sivumäärä 51	Liitteet 9
Työn nimi <b>Kariniemen jätevedenpuhdistamon energianmittausjärjestelmä</b>		
Tutkinto Insinööri (YAMK), Kestävä Kaupunkiympäristö		
Tiivistelmä <p>Tämä opinnäytetyö käsittelee Lahden Kariniemen jätevedenpuhdistamon energiankulutuksen jakautumista toteutetun energianmittausjärjestelmän tulosten pohjalta. Työn tarkoituksena on selvittää Kariniemen jätevedenpuhdistamon merkittävimmät energiankulutuskohteet osaprosessi- ja laitetasolla.</p> <p>Toteutettu energianmittausjärjestelmä koostuu kuuteentoista osaprosessiin jaotelluista 132 mittauskohteesta, joista energiankulutustiedot mitataan järjestelmään minuutin välein. Tässä työssä energianmittausjärjestelmän tietoja tarkasteltiin aikavälillä 1.6. – 31.12.2018. Tarkasteluajanjaksolle ajoittuneesta saneerauksesta johtuen yksi energianmittauskeskus ei ollut käytössä ja lisäksi yhtä osaprosessia ei oltu kytketty järjestelmään. Näistä syistä johtuen kokonaiskulutuksesta noin 44 %:a ei voitu osittaa osaprosessitasolle.</p> <p>Valitun tarkasteluajanjakson perusteella merkittävimmät energiankulutuksen osaprosessit olivat ilmastus ja tuloilma, jotka yhdessä kattoivat keskimäärin noin 42 % laitoksen kokonaisenergiankulutuksesta. Merkittävin yksittäinen laite oli tuloilmapuhallin, jonka osuus kokonaiskulutuksesta tarkasteluajanjaksolla oli keskimäärin noin 13 %. Ilmastuksen ja tuloilman säästöpotentiaalitarkastelut osoittivat, että Kariniemen jätevedenpuhdistamolla on mahdollisuus merkittäviin energiantehokkuustoimenpiteisiin.</p> <p>Tässä työssä energianmittausjärjestelmää hyödynnettiin ainoastaan osaprosessien ja laitteiden vertailussa ja priorisoinnissa, mutta järjestelmää voi hyödyntää myös muun muassa prosessinohjauksen, ennakoivan kunnossapidon sekä investointiprosessien työkaluna. Kehittämällä energianmittausjärjestelmän Grafana seurantatyökalua järjestelmää olisi mahdollista hyödyntää työkaluna laitoksen eri toiminnoissa.</p>		
Asiasanat energianmittausjärjestelmä, energiatehokkuus, jätevedenpuhdistus, säästöpotentiaali		

## Abstract

Author(s) Meiseri, Anni	Type of publication Master's thesis	Published Spring 2019
	Number of pages 51	Appendices 9
Title of publication <b>The energy measurement system of Kariniemi waste water plant</b>		
Name of Degree Master of Engineering, Urban Sustainability		
Abstract <p>This thesis focuses on energy consumption based on the measurements provided by a newly installed energy measurement system in Kariniemi waste water plant in city of Lahti. The main purpose of this thesis is to find out which treatment processes and devices are most significant from the aspect of energy consumption.</p> <p>The energy measurement system contains 132 measurement units which are divided into 16 groups based on different treatment processes. Energy consumption data is measured in the system continuously. In this thesis energy consumption data was reviewed over the period 1.6 – 31.12.2018.</p> <p>During the data collection period, due to a construction project on site one of the energy measurement units was out of order. In addition to that, one of the processes was not connected to the energy measurement system. For these reasons approximately 44 % of the total energy consumption was left unpartitioned.</p> <p>During the chosen examination period the most significant treatment processes are the aeration and the air intake to the cave. These two processes covered an average of 42 % of the total energy consumption. The most significant device was the air intake blower, which accounted for an average of 13 % of the total energy consumption. The saving potential study shows that there are opportunities to improve energy efficiency considerably.</p> <p>In this thesis the energy measurement system was only used for determining energy consumption. The energy measurement system can also be a tool for process control, preventive maintenance and investment processes. By further developing the energy measurement tool Grafana it would be possible to support the different functions of the waste water treatment plant even better.</p>		
Keywords Energy measurement system, energy efficiency, waste water treatment, saving potential		

## SISÄLLYS

SANASTO .....	1
1 JOHDANTO .....	2
2 TAVOITTEET JA TARKOITUS .....	3
3 KOHDEORGANISAATIO LAHTI AQUA OY -KONSERNI .....	4
4 KARINIEMEN JÄTEVEDENPUHDISTAMO .....	6
4.1.1 Luolan tuloilma .....	7
4.1.2 Esi-ilmastus .....	8
4.1.3 Ilmastus .....	9
5 ENERGIATEHOKKUUS .....	11
5.1 Energiatehokkuus jätevedenpuhdistuksessa .....	11
5.2 Kariniemen jätevedenpuhdistamon tulosten vertailu kirjallisuuteen .....	16
6 ENERGIANMITTAUSJÄRJESTELMÄ .....	18
6.1 Järjestelmän tekninen toteutus .....	18
6.2 Järjestelmän laajuus .....	20
6.3 Järjestelmän datan oikeellisuuden arviointi .....	21
7 MERKITTÄVIMMÄT OSAPROSESSIT .....	23
7.1 Ilmastus .....	24
7.2 Tuloilma .....	28
7.3 Esi-ilmastus .....	28
8 MERKITTÄVIMMÄT PROSESSILAITTEET .....	30
8.1 Tuloilmapuhallin 201TK2_TP2_Ti513.2 .....	32
8.1.1 Säästöpotentiaali .....	34
8.2 Ilmastuskompressorit E1.3 ja E1.4 .....	36
8.2.1 Säästöpotentiaali .....	38
8.3 Esi-ilmastuskompressorit C1.2 ja C1.3 .....	40
8.3.1 Säästöpotentiaali .....	42
9 TULOKSET .....	43
10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	45
LÄHTEET .....	48
LIITTEET .....	

## SANASTO

### **AVL**

Asukasvastineluku. Luvulla ilmaistaan yhden henkilön keskimääräistä jätevesikuormitusta vuorokaudessa, mikä vastaa BHK<sub>7</sub> (seitsemän vuorokauden biologinen hapenkulutus) arvoa 70 grammaa happea. Asukasvastineluku lasketaan yhdyskuntajätevesiasetuksen (888/2006) mukaan käyttämällä BHK<sub>7</sub> arvoa 70 grammaa happea sekä laitoksen vuoden maksimiviikkokuormituksen vuorokausikeskiarvoa.

### **kWh/(AVL<sub>COD,120</sub>\*a)**

Energiatohokkuuden yksikkö, joka kuvaa energiankulutusta kWh:ssa suhteessa asukasvastinelukuun, joka on laskettu 120 g/d pohjautuvaan COD (kemiallinen hapenkulutus) -kuormaan.

### **kWh/m<sup>3</sup>**

Energiatohokkuuden yksikkö, joka lasketaan energiankulutuksen ja käsitellyn jätevesimäärän vuosittaisista keskiarvoista.

### **Anoksinen**

Hapettomat olosuhteet, jossa ei ole läsnä liuennutta vapaata happea.

## 1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta energiatehokkuudella on keskeinen ja merkittävä rooli. Euroopan unioni on asettanut energiatehokkuustavoitteet ilmasto- ja energiapaketti lainsäädäntökokonaisuuteen, jonka keskeinen osa on energiatehokkuusdirektiivi. Suomessa direktiivi on laitettu täytäntöön kansallisella energiatehokkuuslailla. (Syke, 2019.) Ilmastonmuutoksen näkökulmasta on tärkeä tähdätä hyvä laatuisiin päästöihin energiatehokkaasti jätevedenpuhdistamoilla (Vaccari, Foladori & Vitali, 2018).

Energiakustannukset ovat merkittävä osa jätevedenpuhdistamoiden kokonaiskustannuksia. Kariniemen jätevedenpuhdistamolla kokonaisenergiankulutuksen osuus käyttökustannuksista on noin 30 %. Lahti Aqua Oy:n strategian yhtenä painopisteenä on prosessien kehittäminen, johon tämä työ kytkeytyy vahvasti. Kariniemen jätevedenpuhdistamon energianseurantajärjestelmä on nostettu vuodelle 2018 tuotantoprosessien tehostamista osittamalla ajavien Smart Aqua kehitysohjelmahankkeiden joukkoon.

Optimoitaessa jätevedenpuhdistamon energiatehokkuutta merkittävään rooliin nousee energiankulutuksen jakautuminen eri prosessiosien ja laitteiden välillä. Jotta voidaan tunnistaa merkittävimmät kulutus- ja tätä kautta kehityskohteet, tarvitaan laajaa energiankulutusdataa laitokselta. Aiemmin Kariniemen jätevedenpuhdistamon energiankulutusta on pystytty seuraamaan ainoastaan päämittarin kokonaiskulutuksen kautta. Lisäksi ilmastuskompressoreiden kulutusta on seurattu kuukausitasolla.

Energianseurannan ja -tehokkuuden tehostamiseksi Kariniemen jätevedenpuhdistamolle toteutettiin energianseurantajärjestelmä. Seurattavat energiankulutuskohteet on määritelty kohdeorganisaation toimesta 132 mittauskohteeseen. Energianseurantajärjestelmän avulla mittauskohteista kerätään energiankulutustiedot sähkökeskuksista erillisiin mittauskeskuksiin. Energianseurantajärjestelmään kertyvät mittaustiedot siirtyvät tietokantaan, jossa mittaustietoja käsitellään seurantatyökalulla.

Itse toimin kohdeorganisaatio Lahti Aqua Oy:n tytäryhtiön Aqua Palvelu Oy:n käyttöpäällikkönä ja vastaan prosessit ja kunnossapito yksiköstä. Vastuualueeseeni kuuluu muun muassa yksikön toiminnan kehittäminen, johon tämä opinnäytetyö kytkeytyy vahvasti laitoksen energiatehokkuuden ja energiatietoisuuden parantamisen kautta.

## 2 TAVOITTEET JA TARKOITUS

Hankkeen tarkoituksena on selvittää Kariniemen jätevedenpuhdistamon energiankulutuksen kannalta merkittävimmät prosessinosat ja yksittäiset laitteet. Hankkeen kannalta merkittävin tutkimuskysymys on: mitkä ovat Kariniemen jätevedenpuhdistamon merkittävimmät energiankulutuskohteet prosessiosa ja -laite tasolla? Tavoitteena on löytää energiankulutuksen kannalta kohteet, joihin energiatehokkuustoimenpiteet kannattaa kohdistaa.

Kariniemen jätevedenpuhdistamolla energiankulutuksen seurannan työkaluksi valittiin automaatiotoimittaja Insta Automation Oy:n toimittama energianseurantajärjestelmä. Energiaseurantajärjestelmässä laitoksen energiankulutus on ositettu 132:een mittauskohteeseen, joista tiedot tallentuvat seurantajärjestelmään minuutin välein. Mittauskohteet on jaoteltu 16:sta osaprosessiin. Mittauskohteiden määrittelystä vastasi Lahti Aqua Oy:n silloinen projektipäällikkö.

Tämän opinnäytetyön taustaksi on valittu energiatehokkuus jätevedenpuhdistuksessa. Taustatiedoksi olen kerännyt tietoa artikkeleista ja kirjallisuudesta yleisesti jätevedenpuhdistuksen energiankulutuksesta ja sen jakautumisesta eri käsittelyprosessien välillä. Lisäksi tähän työhön on kerätty suomalaisten vertailujätevedenpuhdistamoiden energiatehokkuuslukemia kWh/m<sup>3</sup> tasolla. Kariniemen jätevedenpuhdistamon energiankulutustietoja on vertailtu saatuun tausta-aineistoon.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää valitun tarkasteluajanjakson merkittävimmät energiankulutuskohteet. Tarkasteluajanjaksoksi valittiin aikaväli 1.6 – 31.12.2018. Optimaalisin tilanne olisi ollut tarkastella energiankulutusta koko vuoden ajanjaksolta, jolloin tarkastelu olisi kattanut kaikki vuodenajat ja niiden vaikutukset energiankulutukseen, mutta se ei ollut mahdollista tämän opinnäytetyön aikataulun puitteissa.

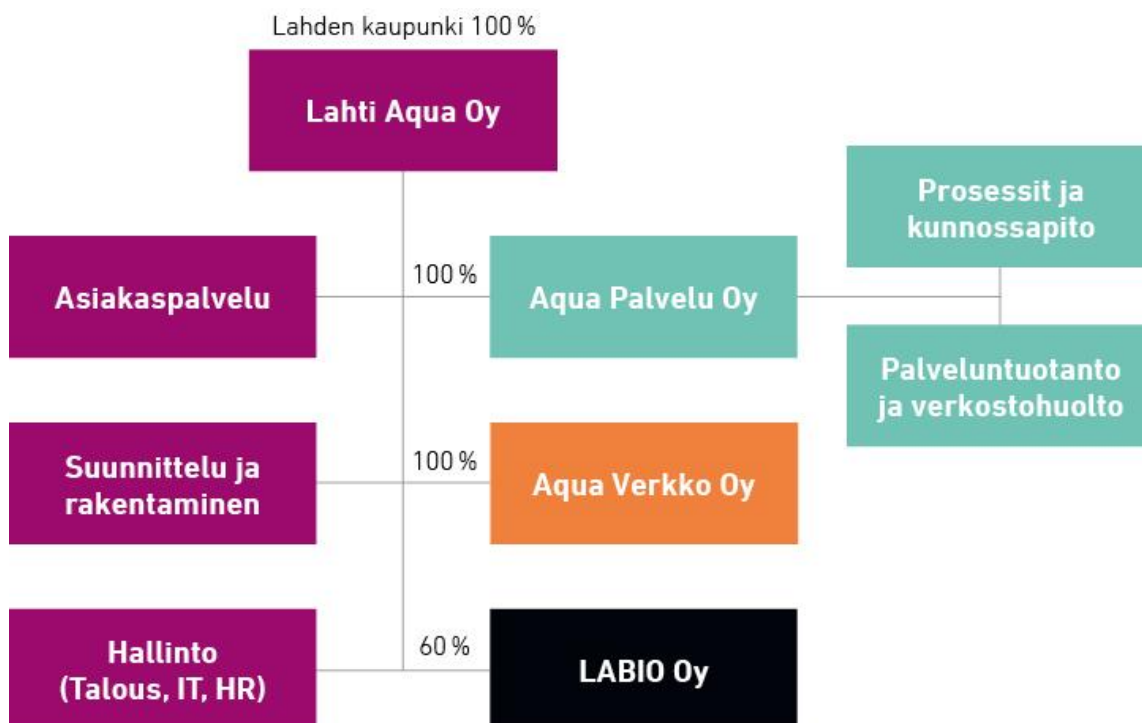
Osaprosessien ja laitteiden osalta energiankulutuksia tarkasteltiin kuukausitason keskiarvoina kW/h tasolla. Kuukausitason tarkastelun ja tulosten pohjalta valittiin energiankulutuksen kannalta kolme merkittävintä osaprosessia ja viisi merkittävintä prosessilaitetta tarkempaan tarkasteluun. Osaprosessien osalta tässä opinnäytetyössä on esitetty energiankulutustiedot tarkasteluajanjaksolta ja energiankulutuksen jakautuminen osaprosessin sisällä laitetasolle. Merkittävimpien prosessilaitteiden osalta on esitetty energiankulutustiedot tarkasteluajanjaksolta sekä säästöpotentialitarkastelu energiatehokkuuden osalta.

### 3 KOHDEORGANISAATIO LAHTI AQUA OY -KONSERNI

Lahti Aqua Oy on Lahden kaupungin omistama 145 000:n asukkaan vesihuoltopalveluista vastaava seudullinen vesihuolto-yhtiö. Konserni rakentuu Lahti Aqua Oy emoyhtiöstä sekä tytäryhtiöistä Aqua Palvelu Oy, Aqua Verkko Oy ja LABIO Oy. (Lahti Aqua Oy 2018.) Organisaatiokaavio on esitetty kuviossa 1.

Emoyhtiö Lahti Aqua Oy:n vastuulle kuuluu vesihuoltotoiminnan vastuu- ja kehittämistehtävät sekä konsernin hallinnon ja asiakaspalvelun hoitaminen. Suunnittelu ja rakennuttaminen ovat osana emoyhtiön toimintaa. (Lahti Aqua Oy 2018.)

Tytäryhtiöistä Aqua Verkko Oy omistaa Lahden vesihuoltotoiminnan tuotantolaitokset, verkostot ja omaisuuden ja vastaa niihin liittyvistä investoinneista. Lahti Aqua Oy 60 %:n omistusosuuden myötä LABIO Oy liittyi osaksi Lahti Aqua -konsernia 1.10.2013. LABIO Oy on maan suurin kuivämädätystekniikalla toimiva biokaasulaitos. Aqua Palvelu Oy vastaa vedentuotannon ja jätevedenpuhdistuksen tuotantolaitosten ja verkostojen operatiivisista käyttö- ja kunnossapitopalveluista. (Lahti Aqua Oy 2018.)



KUVIO 1. Lahti Aqua Oy -konsernin rakenne (Lahti Aqua 2018)



Lahti Aqua Oy -konsernin tytäryhtiö Aqua Palvelu Oy huolehtii konsernin operatiivisista käyttö- ja kunnossapitopalveluista Lahden alueella ja konsessiosopimuksella Hollolan alueella sekä Lahden ja Hollolan vesilaitoskuntayhtymän kohteissa. Yhtiö vastaa talousveden tuotannosta ja jakelusta sekä jäteveden puhdistuksesta ja viemäröinnistä. Aqua Palvelussa operointi- ja kunnossapitotyötehtävissä työskentelee yhteensä 55 henkilöä. (Lahti Aqua Oy 2018.)

Vedentuotanto Lahden alueella perustuu valtakunnallisestikin merkittäviin pohjavesiesiintymiin. Vuonna 2017 talousvettä tuotettiin Lahden, Hollolan ja Vesilaitoskuntayhtymän yhdeksällätoista vedenottamalla asiakkaille yhteensä 9,4 milj. m<sup>3</sup>. Lahti Aqua Oy:n toiminta-alueella on neljä jätevedenpuhdistamoa: Ali-Juhakkala, Kariniemi, Nastola ja Hämeenkoski. Ali-Juhakkalan ja Kariniemen puhdistamoilla on yhteinen purkupiste ja ympäristölupa. Lupaehdot on esitetty taulukossa 1. Ali-Juhakkalan ja Kariniemen jätevedenpuhdistamoilla käsiteltiin vuoden 2017 aikana yhteensä 11,8 milj.m<sup>3</sup> jätevettä. Nastolan jätevedenpuhdistamolla käsiteltiin 1,0 milj.m<sup>3</sup> ja Hämeenkosken puhdistamolla 59 000 m<sup>3</sup> jätevettä vuoden 2017 aikana. (Lahti Aqua Oy 2018.)

TAULUKKO 1. Kariniemen jätevedenpuhdistamon lupaehdot (Anni Meiseri)

LUPAEHDOT  
KARINIEMI JA ALI-JUHAKKALA

	Pitoisuus, mg/l	Reduktio, %
<i>BOD</i>	10	95
<i>Fosfori</i>	0,3	96
<i>Ammoniumtyppi</i>	4	80
<i>Typpi</i>	20*	70
<i>COD</i>	125	75
<i>Kiintoaine</i>	35	90
<i>Fekaaliset koliformit ja enterokokit</i>		90**

\* kun ilmastuksen lämpötila >12 °C

\*\* aikavälillä 1.4 – 30.11

## 4 KARINIEMEN JÄTEVEDENPUHDISTAMO

Kariniemen jätevedenpuhdistamo on Suomen vanhin käytössä oleva luolapuhdistamo. Puhdistamo on rakennettu vuonna 1975 ja se käsittelee Lahden Salpausselän harjun pohjoispuolisten alueiden sekä Hollolan Kukkilan alueen jätevedet. Vuonna 2017 laitoksella käsiteltiin jätevesiä 6,3 milj.m<sup>3</sup>. Jätevedenpuhdistamon vesiprosessi sijaitsee maan alla luolassa ja osia lietteenkäsittelystä sijaitsee maan pinnalla. Luolastolla on tilavuutta 120 000 m<sup>3</sup> ja tunnelirakenteita on yhteensä kahden kilometrin verran. (Meiseri 2010.)

Kariniemen jätevedenpuhdistamo on tyypiltään rinnakkaissaostuslaitos, eli jätevesiä käsitellään puhdistusprosessissa sekä kemiallisesti että biologisesti. (Mäki-Petäjä & Meiseri 2011). Ensimmäinen jäteveden käsittelymenetelmä on välppäys, jossa jätevedestä poistetaan karkeat, kuitumaiset ja muoviset epäpuhtaudet (Karttunen 2004, 499). Kariniemen jätevedenpuhdistamolla on kaksi pääkäytössä olevaa levynauhavälppää. Lisäksi varalla on yksi porrasvälppä. Välpillä poistetut epäpuhtaudet johdetaan välpepesurin kautta siirtolavalle poiskuljetusta varten. (Mäki-Petäjä & Meiseri 2011.) Hiekanerotuksessa jätevedestä poistetaan hiekka, sora ja kivet virtausnopeutta pienentämällä, jolloin jakeet laskeutuvat altaan pohjalle (Karttunen 2004, 503). Kariniemen jätevedenpuhdistamolla on kaksi hiekanerotusallasta, josta laskeutunut hiekka kaavitaan altaan pohjalta laahoilla pumpattavaksi hiekanpesurin kautta siirtolavalle (Mäki-Petäjä & Meiseri 2011).

Hiekanerotuksen jälkeen jätevesi jaetaan jakoaltaan kautta kolmelle identtiselle käsittelylinjalle. Kukin käsittelylinja kattaa esi-ilmastuksen, esiselkeytyksen, ilmastuksen ja jälkiselkeytyksen (Mäki-Petäjä & Meiseri 2011). Esi-ilmastuksella parannetaan jäteveden happitilannetta, vähennetään viemäriverkostossa syntynyttä hajua, edistetään selkeytyksen toimintaa sekä tehostetaan rasvan ja öljyn erottumista vedestä (Karttunen 2004, 505). Esi-selkeytyksessä jätevedestä poistetaan laskeutuvia aineita, öljyä, rasvaa sekä osa orgaanisesta kuormituksesta (Karttunen 2004, 506). Ilmastusaltaissa aktiivilietteen biomassan mikrobit puhdistavat jätevettä. Mikrobin elintoimintojen ylläpitämiseksi tarvittava happi tuotetaan ilmastuksella (Karttunen 2004, 517). Jälkiselkeytyksessä puhdistetusta jätevedestä erotellaan laskeuttamalla aktiivilietteen biomassaa ja orgaaninen aines (Karttunen 2004, 77–79). Fosfori poistetaan jätevedestä kemiallisesti saostamalla (Karttunen 2004, 540). Kariniemen jätevedenpuhdistamolla fosforin saostamiseen käytetään ferrosulfaattia ja pH:n säätökemikaalina käytetään lipeää sekä soodaa (Mäki-Petäjä & Meiseri 2011).

Jälkiselkeytyksen jälkeen jätevedet johdetaan Kariniemen jätevedenpuhdistamolta neljä kilometriä pitkän purkutunnelin kautta Nikulan tasausaltaalle. Tasausaltaan jälkeen puhdistetut jätevedet johdetaan UV-hygienisoinnin läpi purkuvesistö Porvoonjokeen. (Mäki-Petäjä & Meiseri 2011.) UV-laitteiden tehokkaat veden desinfiointiominaisuudet perustuvat ultraviolettisäteilyn mikrobeja tuhoavaan vaikutukseen (Karttunen 2004, 159).

Lietteen tiivistyksen ja kuivauksen tarkoituksena on poistaa lietteestä vettä (Karttunen 2004, 560). Kariniemessä etuselkeytyksestä pumpattava sekaliete tiivistetään kahdella rumputiivistimellä. Veden erottumista lietteestä tehostetaan sekä tiivistyksessä että kuivauksessa polymeerikemikaalilla. Kariniemen jätevedenpuhdistamolla lietteenkuivaukseen käytetään kahta linkoa. Liette pumpataan lietteen kuivaukseen mädättämöstä ilmastetun metaaninkatkaisualtaan kautta. (Mäki-Petäjä & Meiseri 2011.)

Lietteen mädätys on anaerobinen eli hapeton käsittely, jossa metaanibakteerit muuttavat veden orgaaniset ainekset mineraalisuoloiksi, vedeksi, hiilidioksidiksi ja metaaniksi (Karttunen 2004, 571). Kariniemen jätevedenpuhdistamolla liete käsitellään kahdessa mädätysreaktorissa. Mädätysprosessin tuotteena syntyvä biokaasu hyödynnetään kiinteistön lämmöksi polttamalla ja ylijäämälämpö myydään Lahti Energia Oy:n kaukolämpöverkoon. (Mäki-Petäjä & Meiseri 2011.)

Kariniemen jätevedenpuhdistamon prosessikaavio on esitetty liitteessä 1.

Seuraavissa kappaleissa on käsitelty tarkemmin tämän työn kannalta merkittäviä osaprosesseja.

#### 4.1.1 Luolan tuloilma

Luolan ilmanvaihdon tuloilmasta vastaavat tuloilmapuhaltimet 201TK2\_TP2\_Ti513.2 ja 201TK1\_TP1\_Ti513.1, joista toinen on käytössä jatkuvasti toisen ollessa varapuhaltimena. Ohjelma käynnistää automaattisesti toisen puhaltimen, mikäli käyntivuorossa oleva puhallin pysähtyy. Käytössä oleva tuloilmapuhallin määräytyy aikaohjatun vuorotteluperiaatteen pohjalta. Tuloilmapuhaltimet ovat taajuusmuuttajakäyttöisiä ja niiden käyntitehoja ohjataan aikaohjelman perusteella. Tuloilmapuhaltimia ajetaan joko täyden tehon pyörimisnopeudella tai osateholla aikaohjatusti. Kummallakin tuloilmapuhaltimella on kolme kappaletta tuloilmapeltejä, jotka ovat auki tuloilmapuhaltimen käydessä. Tuloilma suodattetaan kolmen eri suodattimen läpi, ensimmäisenä ulkoilma esisuodatetaan rullasuodattimien läpi, tämän jälkeen vuorossa on kova laajapintainen suodatin ja lopuksi tuloilma suodatin. Kiertoilmapuhaltimet jakavat ilman luolan eri osiin. Ilmastuskompressoreiden kompressoritilan ilma tuotetaan erillisellä tuloilmapuhaltimella, TK3. Tuloilma ohjataan siis

jälkiselkeytykslinjoille, huoltokäytävälle ja ilmastuskompressoreille, joista se jaetaan kiertoilmapuhaltimilla muihin prosessiosiin, kuten välppäämään. Ilma ohjautuu prosessin virtaus-suuntaa vastaan, eli puhtaasta likaisempaan. Luola pidetään alipaineisena (10 Pa) ohjaamalla poistoilmapuhaltimien pyörimisnopeutta. Luolan tuloilma pidetään vakiona 15 °C:ssa. (Siemens 2009.)

Luolaston ilmanvaihdon toimintakaavio on esitetty liitteessä 2.

#### 4.1.2 Esi-ilmastus

Kariniemen jätevedenpuhdistamo on kolmilinjainen ja jokaisen linjan alkupäässä on esi-ilmastusosuus ennen etuselkeytysallasta. Kukin esi-ilmastusosuus on pituudeltaan 5,5 m ja leveydeltään 12,7 m. Esi-ilmastusosuus on pinta-alaltaan 70 m<sup>2</sup> ja tilavuudeltaan 244 m<sup>3</sup>. Altaan vesisyvyys on 3,5 m. Altaassa on putki-ilmastimet ja kaikkien kolmen linjan ilmastusilma tuotetaan kahdella kompressorilla C1.2 ja C1.3. Samoilla kompressoreilla tuotetaan ilma myös metaaninkatkaisuprosessiin. Esi-ilmastuksessa on myös rasvakaivo. (Mäki-Petäjä & Meiseri 2011.)



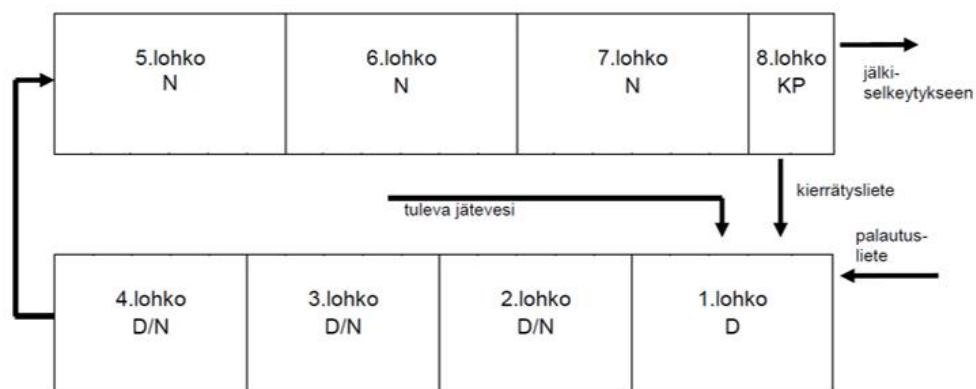
KUVA 1. Linja 3, osa esi-ilmastusaltaasta (Anni Meiseri)

### 4.1.3 Ilmastus

Kariniemen jätevedenpuhdistamolla on käytössä kolme ilmastuslinjaa. Kussakin ilmastusaltaassa on kahdeksan lohkoa. Vesi virtaa ilmastusaltaan keskellä kulkevan kävelysillan alla kulkevan tulokanavan kautta ilmastuslinjan ensimmäiseen lohkoon, josta se virtaa kaikkien lohkojen kautta viimeiseen kahdeksanteen lohkoon. Viimeisestä lohkosta osa jätevedestä kierrätetään takaisin ensimmäiseen lohkoon kierrätyslietteenä. Ilmastusaltaan molemmat linjat ovat 7,4 metriä leveitä ja 50 metriä pitkiä. Yksi ilmastuslinja on tilavuudeltaan 3680 m<sup>3</sup> ja sen vesisyvyys on 5 metriä. Lohkojako ja perustiedot lohkoista on esitetty kuviossa 2. (Mäki-Petäjä & Meiseri 2011.)



KUVA 2. Linja 3, ilmastusallas (Anni Meiseri)



lohko	tyyppi	ilmas-timet	sekoitin	happi-anturi	muuta	osuus allas-tilavuudesta
1.lohko	D		x			12,5 %
2.lohko	D/N	x	x			12,5 %
3.lohko	D/N	x	x	x		12,5 %
4.lohko	D/N	x	x	x		12,5 %
5.lohko	N	x		x		14,5 %
6.lohko	N	x		x		14,5 %
7.lohko	N	x		x		14,5 %
8.lohko	D		x		kierrätys-pumppu	6,5 %

KUVIO 2. Ilmastuslinjan lohkojako ja lohkojen perustiedot (Mäki-Petäjä & Meiseri 2011)

Ilmastuksessa kuluu merkittävästi energiaa ilman tuottamiseen ilmastuskompressoreilla. Prosessi kuluttaa energiaa kahdessa merkittävässä vaiheessa: orgaanisen aineen poistossa sekä typenpoistossa. (Mäki-Petäjä & Meiseri 2011.)

Jäteveden orgaaninen aine hapetetaan ilmastuksen hapellisissa olosuhteissa vedeksi ja hiilidioksidiksi sekä uudeksi biomassaksi (Kemira 2019, 10–11). Kariniemen jätevedenpuhdistamolla kokonaistypenpoistossa on käytössä denitrifikaatioon ja nitrifikaatioon perustuva biologinen DN- typenpoistoprosessi (Mäki-Petäjä & Meiseri 2011). Kokonaistypenpoisto koostuu kahdesta erillisestä vaiheesta: nitrifikaatiosta ja denitrifikaatiosta. Nitrifikaatiossa ammoniumtyppi hapetetaan nitraatiksi ja prosessin aikana kuluu merkittävä määrä happea. (Gerardi 2010, 51.) Denitrifikaatiossa nitraatti pelkistetään typpikaasuksi anoksisissa olosuhteissa (Karttunen 2004, 213).



## 5 ENERGIATEHOKKUUS

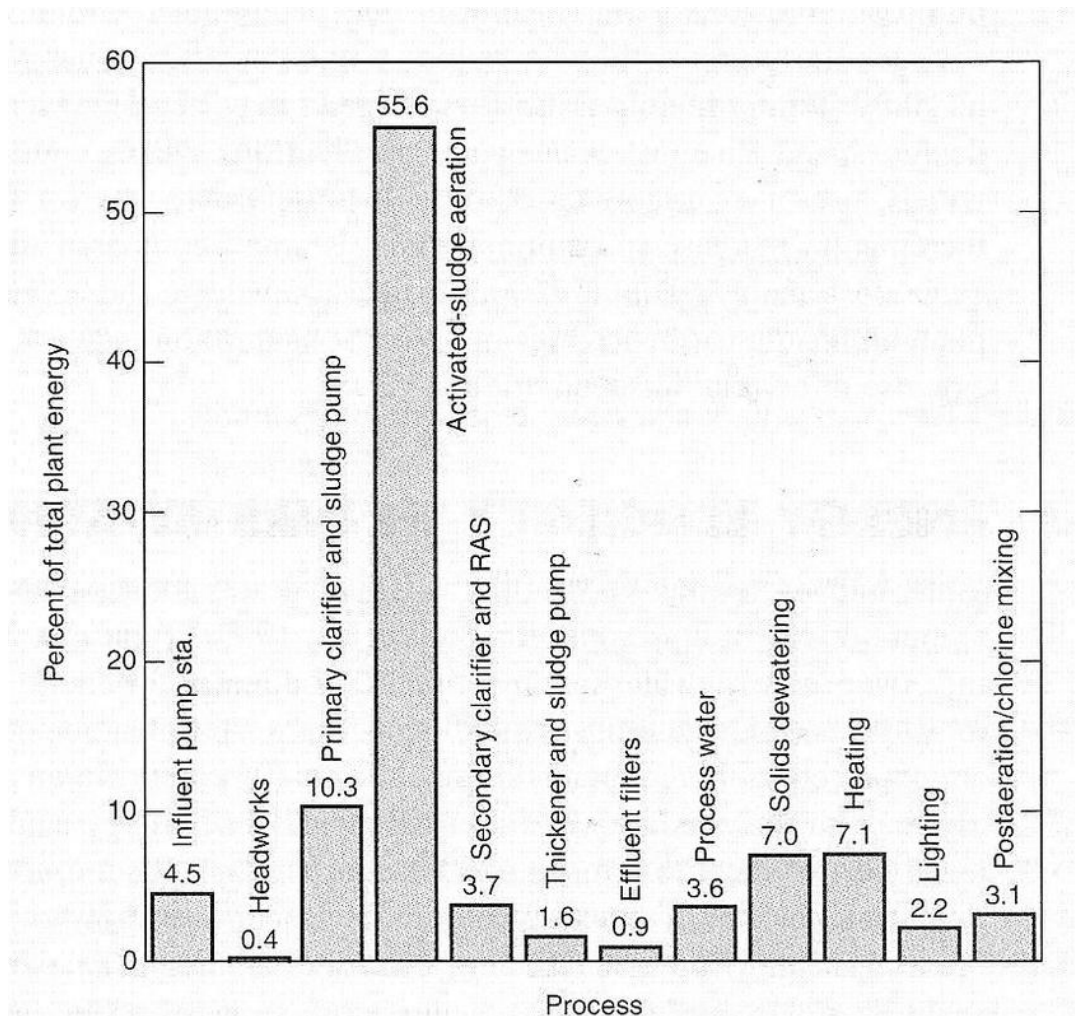
Energiaviraston määritelmän mukaisesti energiatehokkuus tarkoittaa energian tehokasta käyttöä ja kasvihuonepäästöjen vähentämistä kustannustehokkaalla tavalla (Energiavirasto 2018).

Vaikuttavimmaksi kasvihuonekaasujen vähentämiskeinoksi on kansainvälisesti arvioitu energiatehokkuuden parantaminen. Energiansäästökeinot ovat usein myös toteuttajalleen kustannustehokkaita ja taloudellisesti kannattavia. Euroopan unionissa yhdessä asetetut tavoitteet ohjaavat pääasiallisesti Suomen energiatehokkuuden edistämistä ja sitä tukevia toimenpiteitä. (Motiva 2018.) Euroopan unionin tavoitteena on saavuttaa 27 %:n parannus energiatehokkuudessa vuodesta 2007 vuoteen 2030 mennessä (Syke, 2019).

Suomea sitovat energiansäästöavoitteet on esitetty 4.12.2012 voimaan tullessa Energiatehokkuusdirektiivissä (EED). Tehostamistavoitteiden saavuttamisen kannalta vapaaehtoiset energiatehokkuussopimukset ovat tärkeä keino Suomessa. (Motiva 2018.) Lahden kaupunki on mukana energiatehokkuussopimuskaudella 2017 – 2025 ja tämän myötä kaupungin omistamana yhtiönä Lahti Aqua Oy on myös mukana omalta osaltaan.

### 5.1 Energiatehokkuus jätevedenpuhdistuksessa

Tyypillisesti jätevedenpuhdistamoiden käyttökustannuksista 30 % budjetoidaan energiankulutukseen ja aktiivilietelaitoksella ilmastuksessa kuluu noin 50 % kokonaisenergiankulutuksesta (Tchobanoglous, Burton & Stensel 2003, 1703–1704). Aktiivilietteeseen perustuvan jätevedenpuhdistamon energiankäytön tyypillinen jakauma on esitetty kuviossa 3. Energiankulutus vaihtelee yleisesti laitoksen koon ja käsittelyprosessin mukaan (Tchobanoglous, Burton & Stensel 2003, 1704–1705). Aktiivilieteprosessi vaatii sähköenergiaa noin 1100 – 2400 MJ (1200 – 2500 kWh / Mgal) prosessoidakseen 1000 m<sup>3</sup> jätevettä (Tchobanoglous, Burton & Stensel 2003, 1704). Tämän pohjalta yhden kuutiometrin käsittelyyn sähköenergiaa vaaditaan siis 0,32 – 0,66 kWh.



KUVIO 3. Energiankäytön jakautuminen tyypillisessä aktiivilielaitoksessa (Tchobanoglous, Burton & Stensel 2003, 1704)

Kirjallisuudessa jätevedenpuhdistamoiden energiatehokkuutta kuvataan yleisemmin kolmella eri tunnusluvulla kWh/m<sup>3</sup>, kWh/kgCOD ja kWh/AVL (Vaccari, Foladori & Vitali, 2018). Tässä työssä keskitytään kWh/m<sup>3</sup> -lukemien vertailuun, sillä muita tunnuslukuja oli huomattavasti saatavilla kotimaisilta vertailupuhdistamoilta. Tunnuslukua on kuitenkin kritisoitu muun muassa siitä, että siihen vaikuttavat muun muassa vuotovesimäärät. kWh/m<sup>3</sup> -tunnusluku lasketaan käsitellyn jätevesimäärän ja energiankulutuslukemien vuosittaisista keskiarvoista (Vaccari, Foladori & Vitali, 2018). Taulukkoon 2 on koottu sähköenergiankulutuslukemia kWh/m<sup>3</sup> maittain (Sihvonen, 2018).



TAULUKKO 2. Sähköenergiankulutus maittain (Sihvonen, 2018)

Maa	kWh/m <sup>3</sup>
Kiina	0,27
Alankomaat	0,36
Australia	0,39
Suomi	0,45
USA	0,45
Singapore	0,56
Iso-Britannia	0,64
Saksa	0,67

Sähköenergiankulutus käsiteltyä jätevesikuutiometriä kohden voi vaihdella riippuen jätevedenpuhdistamon koosta, iästä, käsittelyprosesseista ja laitoksen kuormasta riippuen keskimäärin 0,26 – 0,84 kWh/m<sup>3</sup>. Keskimääräinen energiankulutus esimerkiksi Saksassa on 0,67 kWh/m<sup>3</sup>, Yhdysvalloissa 0,45 kWh/m<sup>3</sup> ja Iso-Britanniassa 0,64 kWh/m<sup>3</sup>. (Guerrini, Romano & Indipenza 2017, 1.) EPRI:n (Electric Power Research Institute) mukaan energiankulutus vaihtelee 0,413 – 0,87 kWh/m<sup>3</sup> välillä riippuen laitoksen koosta (Gandiglio, Lanzini, Soto, Leone & Santarelli, 2017). Italian 241:n jätevedenpuhdistamon energiankulutuksen vertailututkimuksessa energiankulutuslukemat vaihtelivat välillä 0,14 – 0,71 kWh/m<sup>3</sup> laitoksilla, joiden AVL oli yli 100 000 (Vaccari, Foladori & Vitali, 2018). Taulukon 2 mukaan Suomi sijoittuu keskimääräisten energiankulutuslukemien keskivaiheille. Taulukon 3 on koottu tarkemmin suomalaisten jätevedenpuhdistamoiden sähköenergiankulutuslukemia kWh/m<sup>3</sup>.

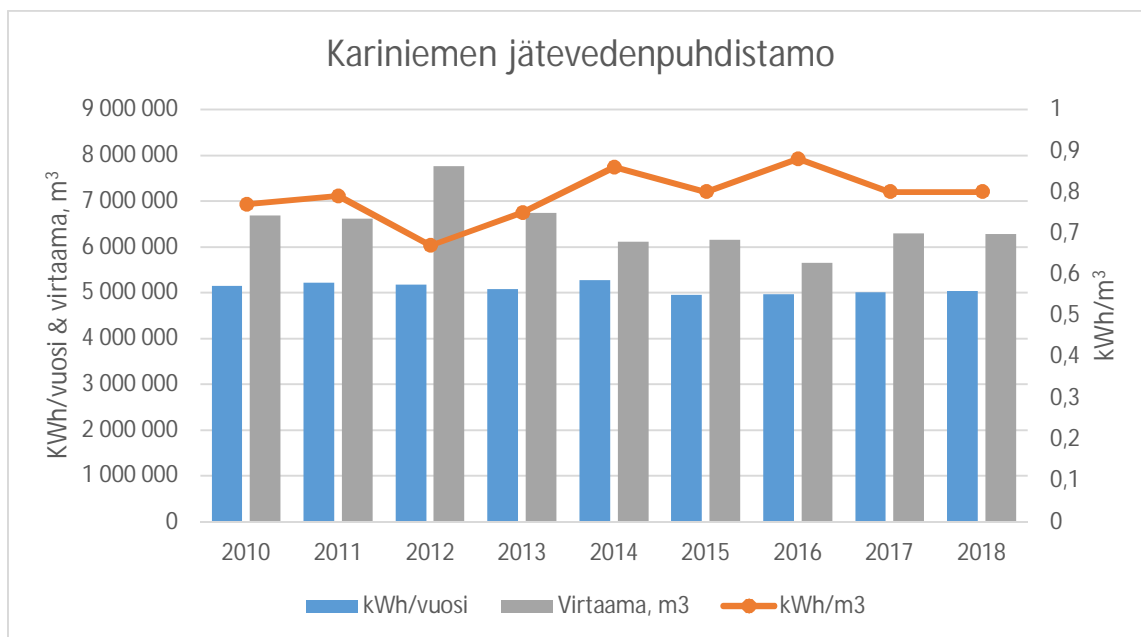
TAULUKKO 3. Suomalaisen jätevedenpuhdistamoiden energiatehokkuus kWh/m<sup>3</sup> (Anni Meiseri)

Jätevedenpuhdistamo	Vuosi	kWh/m <sup>3</sup>	Lähde
<b>Kakolanmäki, Turku</b>	2017	0,35	Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus, 2019
<b>Hermanninsaari, Porvoo</b>	2016	0,35	Sihvonen, 2019
<b>Klaukkala, Nurmijärvi</b>	2016	0,74	Sihvonen, 2019
<b>Viinikanlahti, Tampere</b>	2017	0,34	Tampereen vesi, 2019
<b>Viikinmäki, Helsinki</b>	2017	0,38	HSY, 2018
<b>Suomenoja, Espoo</b>	2017	0,31	HSY, 2018
<b>Parainen, Hämeenlinna</b>	2017	0,63	HS-Vesi, 2019
<b>Kariniemi, Lahti</b>	2018	0,80	Lahti Aqua, 2018
<b>Ali-Juhakkala, Lahti</b>	2018	0,70	Lahti Aqua, 2018

Kirjallisuuden perusteella yksi merkittävimmistä energiankulutuskohteista aktiivilietelaitoksen jätevedenpuhdistusprosesseissa on ilmastus. Suomalaisista jätevedenpuhdistamoista löydetyn tiedon perusteella Tampereen Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon kokonaisenergiankulutuksesta 51 % eli noin 4,8 GWh kuluu ilmastuskompressoreilla (Luomanen, 2015). Helsingin Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla ilmastuskompressorit kuluttivat vuonna 2013 sähköenergiaa 12,15 GWh, mikä vastaa noin 31 % laitoksen kokonaissähkökulutuksesta (Lallukka, 2014). Vastaavasti vuonna 2010 Espoon Suomenojan jätevedenpuhdistamolla ilmastuskompressorit kuluttivat noin 6,4 GWh, eli noin 44 % laitoksen sähköenergiankulutuksesta (Taipale, 2012). Turun seudun Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla vuonna 2014 ilmastusprosessiin kului 6,1 GWh, eli 48 % kokonaisenergiankulutuksesta ja ilmastukseen 14 %, eli noin 1,8 GWh (Levomäki 2015). Biologisten prosessien osuudet kokonaisenergiankulutuksesta on Ruotsissa keskimäärin 42,9 % ja Iso-Britanniassa 40,5 – 65,3 % (Gandiglio, Lanzini, Soto, Leone & Santarelli, 2017).

Yli 100 000:n AVL:n laitoksilla Ruotsin energiankulutus oli 42 kWh/AVL ja vastaavasti mediaaniarvo Itävallan jätevedenpuhdistamoilla oli 23 kWh/AVL. Energiankulutusarvon laskennassa AVL:n laskennan perusteena oli käytetty arvoa 110 g COD per päivä per henkilö. Tulokset perustuivat vuosina 2005 Itävallasta ja 2006 Ruotsista kerättyyn aineistoon. Saksassa tavoitearvo jätevedenpuhdistamoiden energiankulutukselle on 23 kWh/AVL. Itävallan tulokset saavuttavat Saksan tavoitearvon, mutta Ruotsin tulos jää huomattavasti tavoitearvosta. Erot Itävallan ja Ruotsin energiankulutusarvoissa johtuvat Itävallan pitkäaikaisesta energiavertailutyöstä ja sen pohjalta saavutetuista vähennyksistä energiankulutuksessa sekä jäteveden laatuominaisuuksien vaikutuksista. Ruotsissa on vaativampi päästölainsäädäntö herkästä vesiympäristöstä johtuen, minkä vuoksi käsittelyvaatimusten saavuttaminen kuluttaa energiaa enemmän. Lisäksi Ruotsin jätevedet sisältävät vähemmän ulkoista hiiltä ja ovat laimeampia kuin Itävallassa. (Jonasson, 2007.)

## 5.2 Kariniemen jätevedenpuhdistamon tulosten vertailu kirjallisuuteen



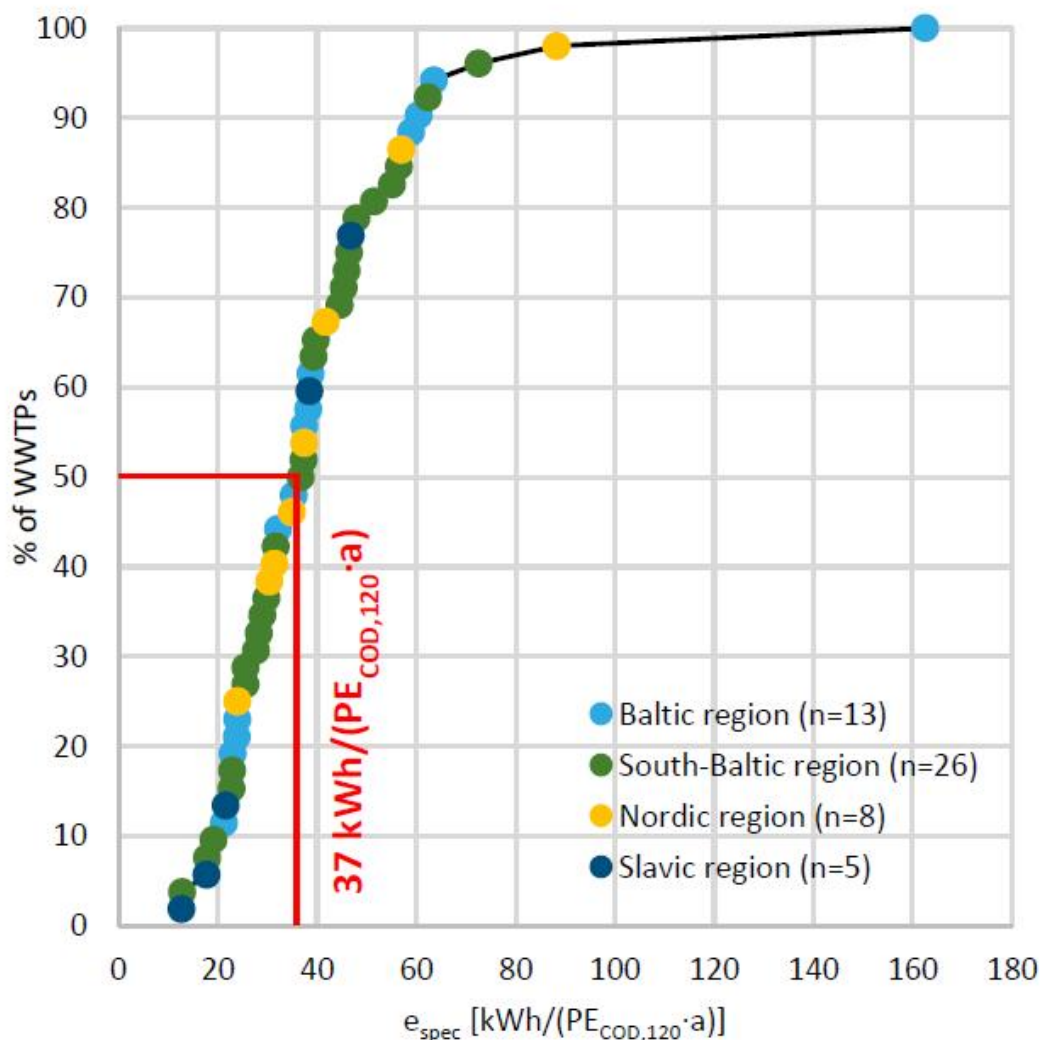
KUVIO 4. Kariniemen jätevedenpuhdistamon energiankulutus 2010 – 2018 (Anni Meiseri)

Kariniemen jätevedenpuhdistamon energiankulutus kWh/m<sup>3</sup> on vaihdellut vuosien 2010 – 2018 aikana 0,67 – 0,88 kWh/m<sup>3</sup> ollen keskiarvillisesti 0,79 kWh/m<sup>3</sup>. Vertailtaessa Kariniemen jätevedenpuhdistamon arvoja taulukossa 3 esitettyjen muiden Suomen jätevedenpuhdistamoiden arvoihin, ovat Kariniemen laitoksen arvot selkeästi korkeampia. Vertailussa on otettava huomioon, että Kariniemen jätevedenpuhdistamo sijaitsee luolassa, jolloin energiankulutusta nostaa muun muassa luolaston lämmityksen, valaistuksen ja ilmanvaihdon energiankulutukset verrattuna maanpinnalla sijaitseviin laitoksiin, sekä teollisuudesta tulevat väkevät vedet. Kakolanmäen ja Viikinmäen jätevedenpuhdistamot sijaitsevat Kariniemen tavoin luolassa, mutta ovat huomattavasti isomman kokoluokan laitoksia.

AVL:n arvon 110 g COD/vrk/hlö pohjalta laskettu Kariniemen jätevedenpuhdistamon energiankulutusarvo oli vuoden 2018 tiedoilla 37 kWh/AVL, mikä jää selvästi esimerkiksi Saksan tavoitearvosta, mutta on samaa tasoa kun Ruotsin Jonassonin vertailututkimuksessa.

IWAMA (Interactive Water Management) hankkeesta saadun yksilöllisen palauteraportin tulosten pohjalta Lahden jätevedenpuhdistamoiden energiankulutus on 41,8 kWh/(AVL-COD<sub>120</sub>\*a). Raportin perusteella Itämeren alueen mediaaniarvo on 36,0 kWh/(AVL-COD<sub>120</sub>\*a). Tulokset on esitetty kuviossa 5. IWAMA -hankkeen energiakulutusdatan tulokset perustui-

vat 52:n jätevedenpuhdistamon tuloksiin. Tulosten pohjalta Lahden jätevedenpuhdistamoiden energiankulutus on keskimääräistä korkeampi. IWAMA -hankkeen tulokset ovat vuodelta 2015 ja hankkeeseen osallistui yhteensä 66 laitosta Itämeren alueelta Ruotsista, Suomesta, Venäjältä, Virossa, Latviasta, Liettuasta, Puolasta, Valko-Venäjältä ja Saksasta. Lahden tuloksissa on huomioitu Kariniemen ohella myös Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamon tulokset. Pelkästään ilmastuksen osalta Lahden jätevedenpuhdistamoiden energiankulutus on raportissa  $11,8 \text{ kWh}/(\text{AVL}_{\text{COD},120} \cdot \text{a})$ , kun mediaanitulos oli  $12,8 \text{ kWh}/(\text{AVL}_{\text{COD},120} \cdot \text{a})$ , eli ilmastusosaprosessin osalta energiankulutus oli keskimääräistä matalampaa. Tulokset perustuivat 25:n laitoksen vastauksiin.



KUVIO 5. IWAMA -hankkeen energiankulutustulokset (Rettig, Schulz, Barjenbruch & Al-Zreiqat, 2018)

## 6 ENERGIANMITTAUSJÄRJESTELMÄ

Kariniemen jätevedenpuhdistamolle toteutettu energianmittausjärjestelmä on Insta Automation Oy:n toteuttama järjestelmä.

### 6.1 Järjestelmän tekninen toteutus

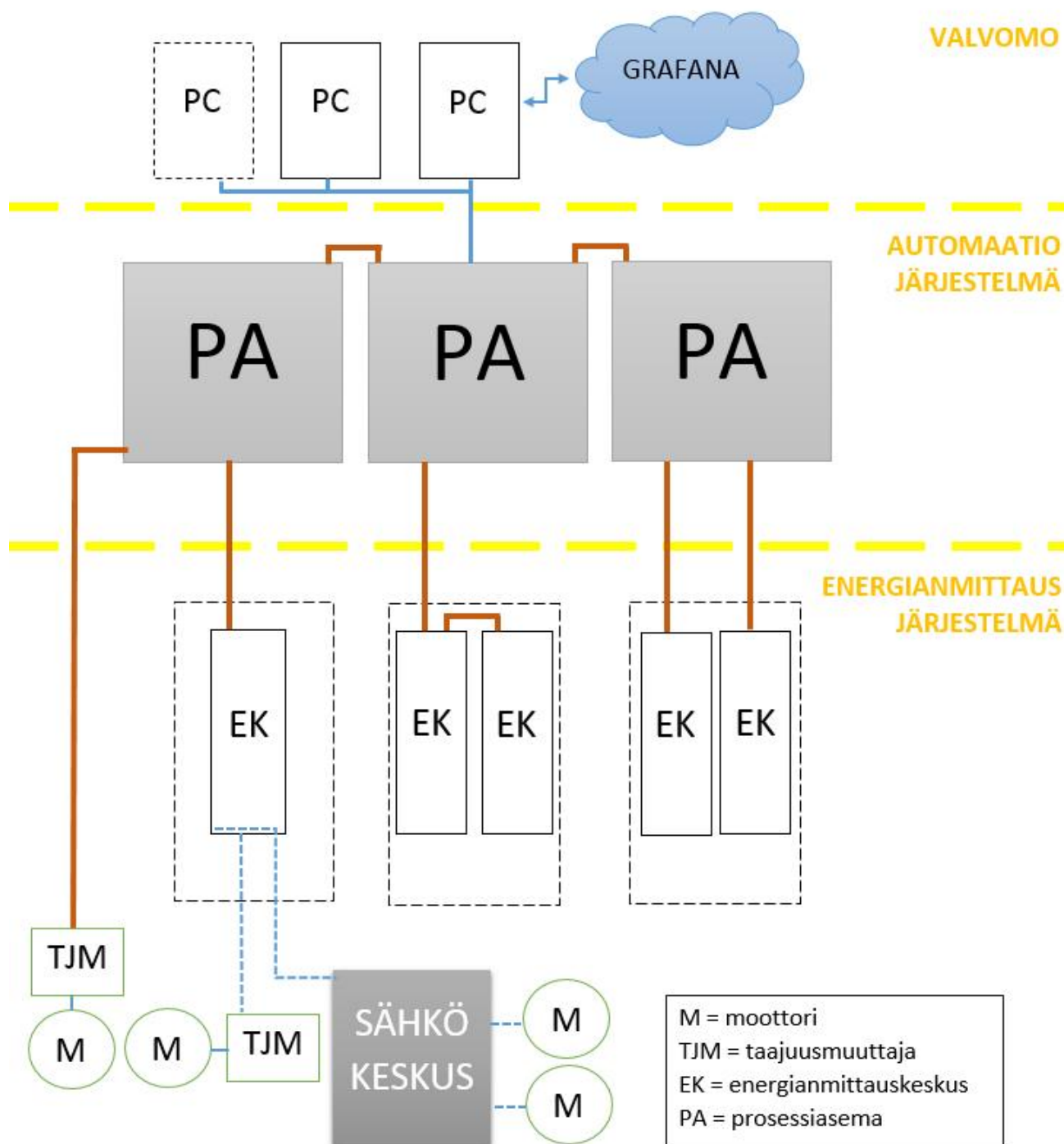
Kariniemen jätevedenpuhdistamon energianmittausjärjestelmä on toteutettu lisäämällä laitoksen prosessi- ja kiinteistökeskuksiin virtamuuntajia, joilla mitataan halutun laitteen tai sähkökeskuksen virrankulutusta (Insta Automation Oy 2017).

Automaatiojärjestelmän moottoreista, joiden taajuusmuuttajat olivat kytkettyinä Profibus-väylään, saatiin energiankulutus suoraan väylän kautta. Virtamuuntajilta mittaustieto siirretään energianmittauskeskuksiin. Keskuksina toimivat Siemensin ET200SP- mallin hajautusyksiköt, joihin on liitetty mm. "AI Energy Meter 400VAC ST" -energianmittauskortteja. Hajautukset on kytketty S7-1513 -logiikkaan, joka suorittaa energianhallintaa ja sen laskentaa. Energiamittauskeskukset ovat yhdistettynä toisiinsa ja automaatiojärjestelmän prosessiasemiin valokuidulla. (Insta Automation Oy 2017.) Energianmittauskeskus esitetty kuvassa 3.

Mitatut energiatiedot kerätään tietokantaan. Mittaustietoa käsitellään energiankulutuksen hallinnan seurantatyökalulla. Grafana -seurantatyökalulla prosessin energiankulutusta voidaan seurata esimerkiksi yksikköprosesseittain tai jätevedenpuhdistamon puhdistuslinja-kohtaisesti. Energiankulutuslukemia pystytään tarkastelemaan seurantatyökalulla minuuttitasolta lähtien. (Insta Automation Oy 2017.) Energianmittausjärjestelmän periaatekaavio on esitetty kuviossa 6.



KUVA 3. Energianmittauskeskus (Anni Meiseri)



KUVIO 6. Energiainmittausjärjestelmän periaatekaavio (Anni Meiseri)

## 6.2 Järjestelmän laajuus

Energianmittausjärjestelmä koostuu 132:sta mittauskohteesta, joista laitteita on 99 kappaletta ja sähkö- tai prosessikeskuksia 33 kappaletta. Profibus-väylän kautta 43:n laitteen energiankulutustiedot saatiin suoraan taajuusmuuttajilta. Muiden laitteiden energiankulutustiedot saatiin järjestelmään virtamuuntimien ja energianmittauskeskusten kautta. Virtamuuntimia lisättiin laitokselle projektin myötä 88 kappaletta. Mittauspisteitä järjestelmässä on yhteensä 179 kappaletta, näistä 143 kappaletta on i/o -tason mittauksia ja 43 kappaletta taajuusmuuttaja perusteisia mittauksia. Mittauspisteistä i/o -tason mittaukset koostuvat yksittäisistä laitemittauksista ja kolmivaiheisten sähkökeskusten kolmesta mittaustiedosta. Energianmittausjärjestelmä sisältää seitsemän energianmittauskeskusta, jotka on sijoitettu jätevedenpuhdistamon sähkökeskustiloihin. (Insta Automation Oy 2019.)

Kaikille mitattaville laitteille on määritelty mihin osaprosessiin ne kuuluvat. Laitteille on tehty myös ositus linjakohtaisesti, mikä mahdollistaa jätevedenpuhdistamon prosessilinjojen vertailun keskenään seurantatyökälulla. Laitteet on jaoteltu kuuteentoista osaprosessiin, jotka on esitelty taulukossa 4. (Insta Automation Oy 2019.) Mittauslaajuus on esitetty liitteessä 3.

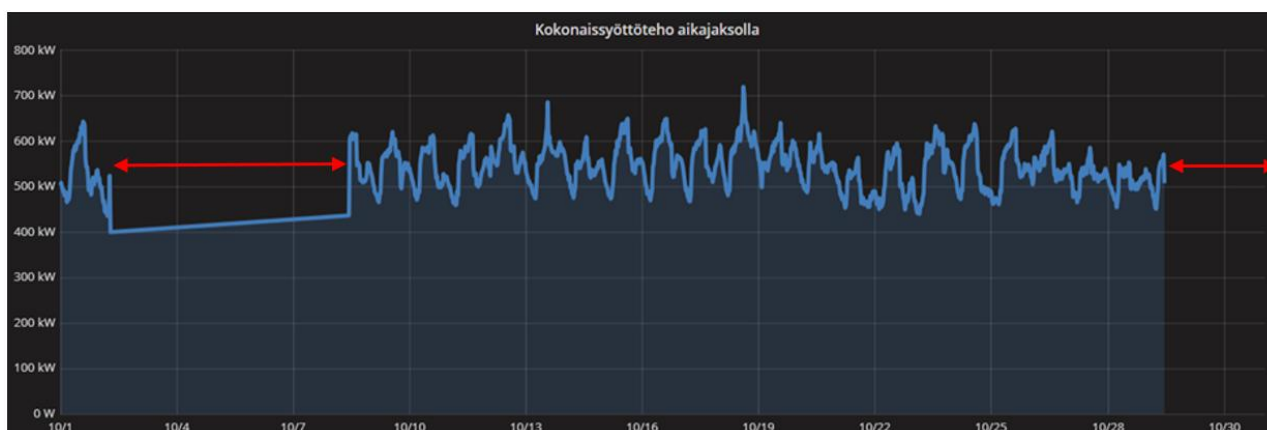
TAULUKKO 4. Energianmittausjärjestelmän osaprosessijaottelu (Insta Automation Oy 2019)

1. Tuloilma	9. Luola keskiosa
2. Luola alkupää	10. Tekninen vesi
3. Esikäsitteily	11. Poistoilma
4. Hiekanerotus	12. Tiivistämö
5. Esi-ilmastus	13. Mädätys
6. Etuselkeyty	14. Metaaninkatkaisu
7. Ilmastus	15. Kuivaus
8. Jälkiselkeyty	16. Huoltorakennus



### 6.3 Järjestelmän datan oikeellisuuden arviointi

Energianmittausjärjestelmässä Kariniemen jätevedenpuhdistamon kokonaissyöttöteho muodostuu neljän pääsyöttökeskuksen (2PK1, 2PK2, 5PK4 JA PK-V009) kulutuksista. Tarkasteluajanjaksolla 1.6 – 31.12.2018 ainoastaan kesäkuu oli kuukausitason kulutuksissa vertailukelpoinen Lahti Energian onlinepalvelun kautta saadun laitoksen kokonaisenergiankulutuksen kanssa. Lahti Energian onlinepalvelun data koostuu Kariniemen jätevedenpuhdistamon sähkönkulutuksen päämittarin kulutusdatasta. Muiden kuukausien osalta energianmittarointijärjestelmän datassa oli katkoksia ja puutteita, minkä vuoksi datat eivät olleet suoraan vertailukelpoisia kuukausitasolla. Esimerkiksi lokakuun kuukausitason kuvaaja kokonaissyöttötehosta on esitetty kuviossa 7. Kuvan kuvaajasta huomaa, että lokakuun alkupuolella datassa on virheellinen jakso ja loppukuusta puuttuu tiedot muutaman päivän osalta.



KUVIO 7. Kariniemen jätevedenpuhdistamon kokonaissyöttöteho (Grafana 2019)

Taulukkoon 5. on kerätty tarkastelujakson kuukausilta mahdollisimman pitkät yhtäjaksoiset ehjät jaksot tarkasteluun, sillä kuukausitason tarkastelu ei ollut mahdollista datan puutteiden vuoksi. Datan oikeellisuuden tarkastelu on tehty ainoastaan laitoksen kokonaissyöttötehon osalta, sillä siihen löytyy vertailudataa Lahti Energian onlinepalvelusta. Tarkastelujaksolla energianhallintajärjestelmä Grafanasta saadut tulokset poikkesivat Lahti Energian onlinepalvelun tuloksista 2,2 %, eli keskimäärin erotus oli noin 312 kWh/vrk. Korkeimmillaan järjestelmien väliset lukemat erosivat toistaan 2,6 % ja matalimmillaan 2,1 %. Erot olivat todella pieniä, eikä eri kuukausien välillä eroissa ollut merkittävää eroa, joten energianhallintajärjestelmästä saatu data vastaa hyvin Lahti Energian dataa.

TAULUKKO 5. Energianmittausjärjestelmän datan vertailu Lahti Energian onlinepalvelun dataan (Anni Meiseri)

	GRAFANA		LAHTI ENERGIA		Erotus *	Erotus kWh/vrk	Erotus %
	kWh/vrk	kWh	kWh	kWh/vrk			
22–30.9.2018	12 888	115 992	118 665	13 185	2 673	297	2,3 %
13–31.12.2018	12 600	239 400	245 871	12 941	6 471	341	2,6 %
25–30.11.2018	13 320	79 920	81 637	13 606	1 717	286	2,1 %
10–28.10.2018	13 104	248 976	254 910	13 416	5 934	312	2,3 %
1-25.7.2018	14 376	359 400	366 947	14 678	7 547	302	2,1 %
11–17.6.2018	15 672	109 704	112 167	16 024	2 463	352	2,2 %
11.7.2018	13 728	13 728	14 023	14 023	295	295	2,1 %
					KA	312	2,2 %

\* Lahti energian onlinepalvelun tulos - energianmittausjärjestelmän tulos

## 7 MERKITTÄVIMMÄT OSAPROSESSIT

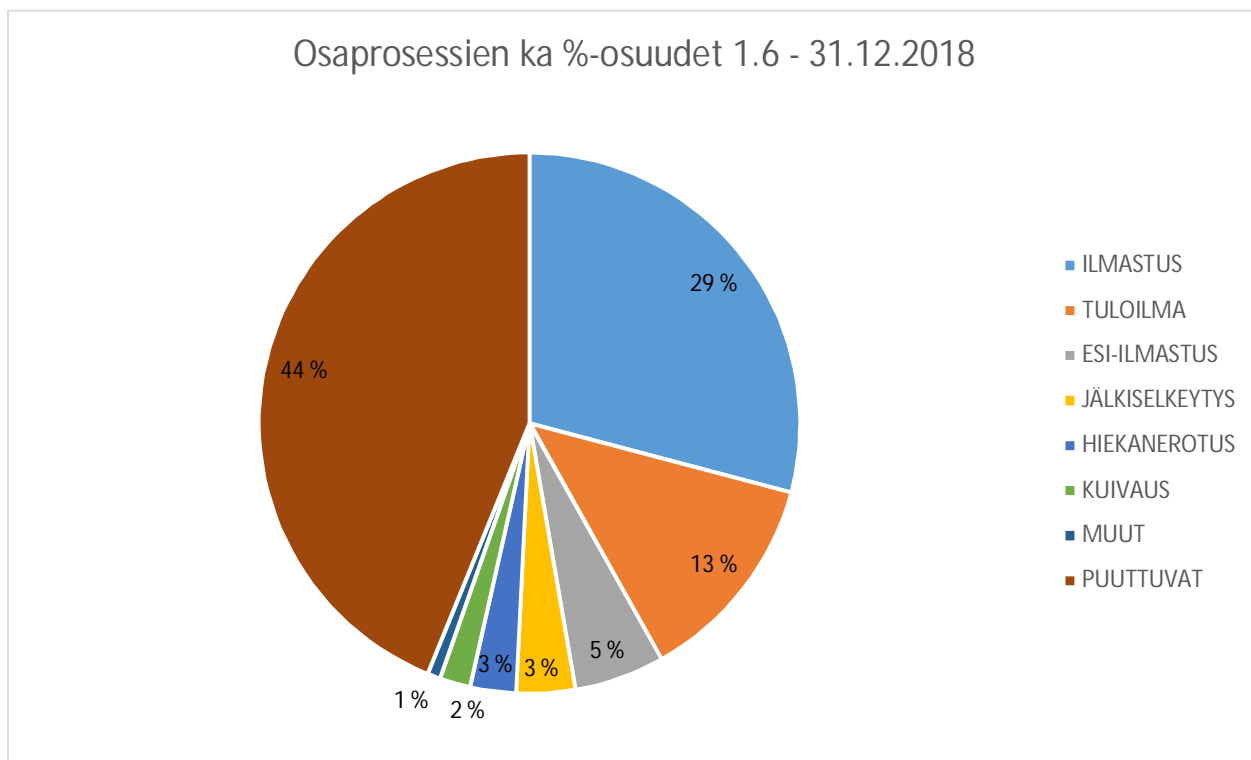
Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että datan tarkastelujaksolla mittaava keskus 9EK1 oli pimeänä, minkä vuoksi tarkastelujaksolla ei ole huomioitu kaikkien osaprosessien kulutuksia. Esimerkiksi mädätyksen, metaaninkatkaisun ja huoltorakennuksen kulutuksia ei tästä johtuen ole mukana tarkastelussa. Tarkastelussa ei myöskään ole huomioitu luolaston poistoilman osuutta kokonaiskulutuksesta, sillä osaprosessin kulutusta ei ole tuotu vielä järjestelmään erillisenä osaprosessina. Tarkasteluajanjaksolla puuttuvat tiedot kattoivat keskimäärin noin 44 % kokonaiskulutuksesta.

Datan tarkasteluajanjaksolla 1.6 – 31.12.2018 selkeästi kaksi merkittävintä osaprosessia energiankulutuksen kannalta olivat ilmastus ja tuloilma. Osaprosesseista ilmastus oli tarkasteluajanjaksolla joka kuukausi merkittävin energiankuluttaja ja tuloilma toiseksi merkittävin. Kuukausitason tarkastelussa kolmanneksi merkittävimäksi osaprosessiksi nousi esi-ilmastus kesä-, heinä-, syys- ja lokakuun osalta. Marras- ja joulukuussa kolmanneksi merkittävin osaprosessi oli jälkiselkeytys. Tarkasteltaessa koko vertailuajanjaksoa esi-ilmastuksen osuus kokonaiskulutuksesta oli 5,4 % ja jälkiselkeytyksen 3,5 %. Tarkastelun perusteella osaprosesseista ilmastus, tuloilma ja esi-ilmastus valikoituvat kolmen merkittävimmän osaprosessin jatkotarkasteluun. Tarkasteluajanjakson kolme merkittävintä osaprosessia kuukausitasolla on esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. TOP 3 merkittävimmät osaprosessit tarkasteluajanjaksolla (Anni Meiseri)

	OSAPROSESSIT		
	1	2	3
6/2018	Ilmastus	Tuloilma	Esi-ilmastus
7/2018	Ilmastus	Tuloilma	Esi-ilmastus
8/2018	Tietoja ei saatavilla		
9/2018	Ilmastus	Tuloilma	Esi-ilmastus
10/2018	Ilmastus	Tuloilma	Esi-ilmastus
11/2018	Ilmastus	Tuloilma	Jälkiselkeytys
12/2018	Ilmastus	Tuloilma	Jälkiselkeytys

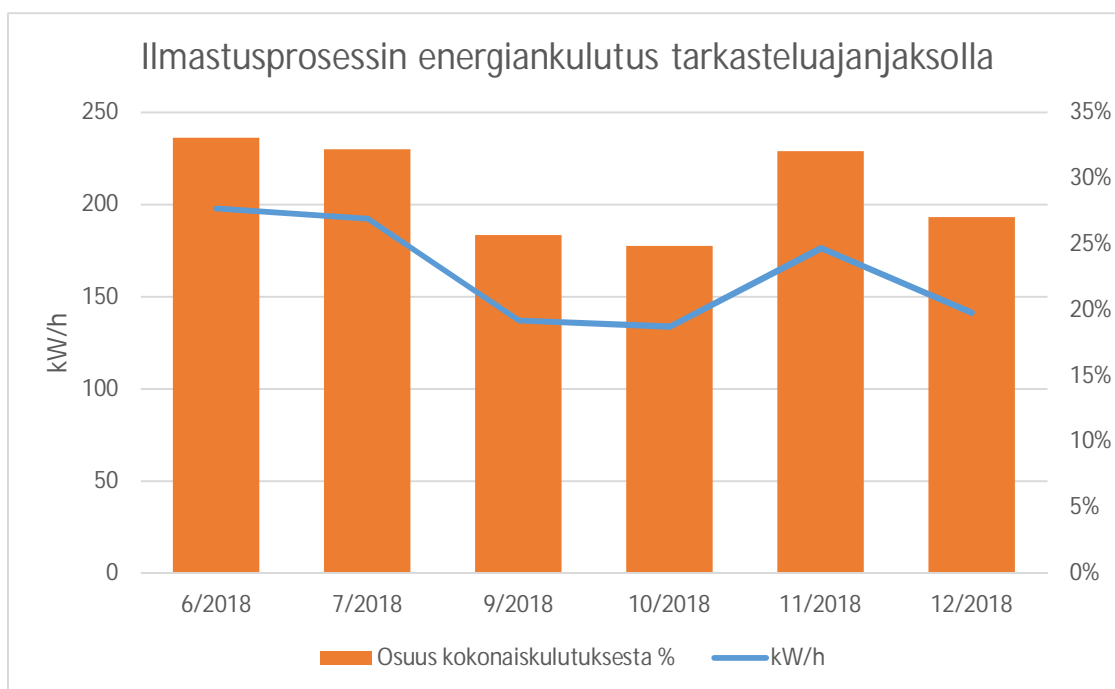
Tarkasteluajanjakson osaprosessien keskiarvokulutuksen prosenttiosuuksia vertailevan kuvaajan perusteella ilmastuksen osuus oli 29 % kokonaiskulutuksesta ja tuloilman 13 %. Tarkasteluajanjakson osaprosessien keskimääräiset prosenttiosuudet on esitetty kuviossa 8.



KUVIO 8. Osaprosessien prosenttiosuudet tarkastelujaksolla (Anni Meiseri)

## 7.1 Ilmastus

Ilmastusprosessin energiankulutus oli tarkasteluajanjaksolla kuukausitasolla keskimäärin 163 kW/h ja kattoi keskimäärin noin 29 % laitoksen kokonaisenergiankulutuksesta. Energiankulutus oli pienimmillään lokakuussa 134 kW/h ja korkeimmillaan kesäkuussa 198 kW/h. Osaprosessin osuus kokonaiskulutuksesta vaihteli tarkasteluajanjaksolla 25 – 33 %:n välillä. Kuukausitason tulokset on esitetty kuviossa 9.



KUVIO 9. Ilmastuksen energiankulutus tarkasteluajanjaksolla (Anni Meiseri)

Ilmastuksen osaprosessi sisältää eri laitekokonaisuuksien energiankulutuksen. Laitekoko-  
naisuudet voidaan karkeasti jakaa neljään eri kokonaisuuteen; kompressoreihin, kierrätys-  
lietepumppeihin, sekoittimiin ja ferrosulfaatin syöttöpumppeihin.

Kompressorikokonaisuus koostuu kolmesta ilmastuskompressorista, joista kaksi on tyypil-  
tään Sulzeri HST 9500-200-1-L-4 ja yksi HST Integral 600-1-L4 (Sulzer 2019). Lisäksi ko-  
konaisuus sisältää kompressoritilan tuloilmapuhaltimen energiankulutuksen. Kokonaisuus-  
den energiankulutuslukemat on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Ilmastuksen kompressorikokonaisuuden energiankulutustiedot (Anni Mei-  
seri)

LAITE POSITIO	ILMASTUSKOMPRESSORIT, KW/H				Yhteensä
	kompressori	kompressori	kompressori	kompressoreiden puhallin	
6/2018	83,52	78,79	0,02	9,94	172
7/2018	83,05	73,96	0,04	9,93	167
9/2018	59,59	45,32	0,08	10,07	115
10/2018	48,11	49,88	1,26	10,14	109
11/2018	66,83	73,92	0,08	10,06	151
12/2018	48,37	53,31	1,51	10,35	114

Kierrätyslietepumppukokonaisuus koostuu jokaisen puhdistuslinjan WILO EMU RZP 25-2.145-4/24 K3 tyyppin kierrätyslietepumpuista (Insta Automation Oy 2019). Kokonaisuuden energiankulutuslukemat on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Kierrätyslietepumppukokonaisuuden energiankulutustiedot (Anni Meiseri)

KIERRÄTYSLIETEPUMPUT, KW/H				
LAITE	Kierrätysliete- pumppu 3	Kierrätysliete- pumppu 2	Kierrätysliete- pumppu 1	Yhteensä
POSITIO	3J1	2J1	1J1	
6/2018	3,58	3,49	3,03	10,1
7/2018	3,52	3,59	3,1	10,2
9/2018	3,51	3,46	3,09	10,1
10/2018	3,51	3,46	3,06	10,0
11/2018	3,42	3,41	2,98	9,8
12/2018	3,5	3,48	3,03	10,0

Jokaisella puhdistuslinjalla on neljä kappaletta ITT Flygt Pumput Oy:n tyyppin 4410.011 sekoittimia (Insta Automation Oy 2019). Sekoitinkokonaisuus koostuu kahdentoista sekoittimen yhteiskulutuksesta. Kokonaisuuden energiankulutuslukemat on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Sekoitinkokonaisuuden energiankulutustiedot (Anni Meiseri)

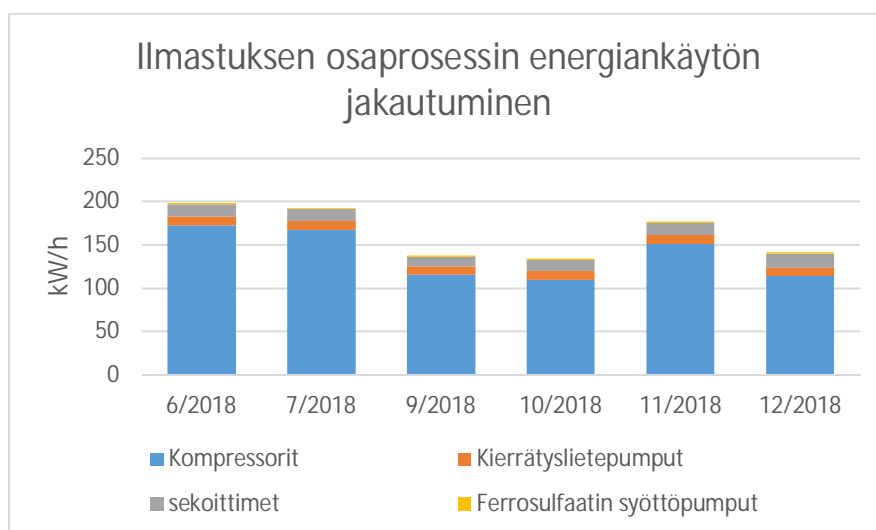
SEKOITTIMET, KW/H													
LAITE	Sekoi- tin	Sekoi- tin	Sekoi- tin	Sekoi- tin	Sekoi- tin	Sekoi- tin	Sekoi- tin	Sekoi- tin	Sekoi- tin	Sekoi- tin	Sekoi- tin	Sekoi- tin	Yh- teensä
POSITIO	211	3I1	1I2	1I3	2I3	2I2	3I2	3I3	1I1	1I4	2I4	3I4	
6/2018	2,04	2,04	1,94	1,79	1,52	1,35	1,29	1,16	0,75	0,16	0,05	0,04	14
7/2018	2,04	2,01	1,99	1,81	1,62	1,40	1,22	0,98	0,76	0,04	0,04	0,02	14
9/2018	2,01	2,01	1,55	0,35	0,82	1,44	1,36	0,14	0,75	0,09	0,00	0,00	11
10/2018	2,02	2,02	2,06	1,39	1,60	1,45	1,37	0,11	0,75	0,15	0,13	0,00	13
11/2018	1,99	1,99	2,03	2,19	1,96	1,42	1,35	0,72	0,74	0,00	0,00	0,00	14
12/2018	2,02	2,01	2,07	2,22	2,01	1,45	1,38	1,06	0,75	0,64	0,47	0,23	16

Ferrosulfaatin syöttöpumppukokonaisuus koostuu jokaisen puhdistuslinjan SERA valmistajan RF 409,2 - 115e -tyypin annostelupumpuista (Insta Automation Oy 2019). Kokonaisuuden energiankulutuslukemat on esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Ferrosulfaatin syöttöpumppukokonaisuuden energiankulutustiedot (Anni Meiseri)

FERROSULFAATIN SYÖTTÖPUMPUT, KW/H				
LAITE	Syöttöpumppu	Syöttöpumppu	Syöttöpumppu	Yhteensä
POSITIO	1M1	2M1	3M1	
6/2018	0,48	0,45	0,45	1,4
7/2018	0,47	0,45	0,43	1,3
9/2018	0,51	0,48	0,47	1,5
10/2018	0,50	0,48	0,48	1,5
11/2018	0,49	0,47	0,47	1,4
12/2018	0,50	0,48	0,48	1,5

Eri kokonaisuuksien osuus kW/h ja kuukausitasolla on esitetty kuviossa 10. Selvästi merkittävin osa ilmastuksen kokonaiskulutuksesta kului kompressoreilla, joiden keskimääräinen osuus koko tarkasteluajanjaksolla oli noin 84 %. Kierrätyslietepumppujen keskimääräinen osuus oli 6,3 %, sekoittimien 8,6 % ja ferrosulfaatin syöttöpumppujen 0,9 %.



KUVIO 10. Ilmastuksen energiankäytön jakautuminen (Anni Meiseri)

## 7.2 Tuloilma

Tuloilman osaprosessin kokonaisuus koostuu laitoksen kahdesta tuloilmapuhaltimesta. Puhaltimet ovat KOJA:n FGMM 125 -tyypin keskipakopuhaltimia (KOJA 2019). Tuloilmapuhaltimen moottorit ovat Defour Lufttechnik BL-125 110 kW -moottoreita (Defour Lufttechnik 2019). Tarkasteluajanjaksolla käytössä oli ainoastaan tuloilmapuhallin 201TK2\_TP2\_Ti513.2 toisen puhaltimen automaatio-ohjauksen häiriön vuoksi. Tuloilman osaprosessin energiankulutus oli tarkasteluajanjaksolla kuukausitasolla keskimäärin 71 kW/h ja kattoi keskimäärin noin 13 % laitoksen kokonaisenergiankulutuksesta. Osaprosessin energiankulutuksessa ei ollut vaihtelua, sillä tuloilmapuhallin kävi koko tarkasteluajanjakson automaatioon asetetun käyntiohjelman vakiokäyntitehojen perusteella. Osaprosessin osuus kokonaiskulutuksesta vaihteli tarkasteluajanjaksolla 12 – 14 %:n välillä. Kuukausitason tulokset on esitetty taulukossa 11.

TAULUKKO 11. Tuloilmakokonaisuuden energiankulutustiedot kW/h (Anni Meiseri)

	6/2018	7/2018	9/2018	10/2018	11/2018	12/2018
201TK2_TP2_Ti513.2 Tuloilmapuhallin	71	71	70	71	70	72
201TK2_TP1_Ti513.1 Tuloilmapuhallin	0,070	0,070	0,069	0,070	0,069	0,070
Yhteensä	71	71	70	71	70	72
KOKONAISKULUTUS	599	598	534	539	551	523
Osaprosessin osuus kokonaiskulutuksesta %	12 %	12 %	13 %	13 %	13 %	14 %

## 7.3 Esi-ilmastus

Esi-ilmastuksen osaprosessin kokonaisuus koostuu esi-ilmastuksen kahdesta ilmastuskompressorista. Molemmat ilmastuskompressorit ovat Aerezenerin valmistamia GLA 13,8 tyypin kiertömäntäkompressoreita, joissa on Strömbergin valmistamat HXUR 452 G2 / 3 B3 -tyypin moottorit (Insta Automation Oy 2019). Esi-ilmastuksen osaprosessin energiankulutus oli tarkasteluajanjaksolla kuukausitasolla keskimäärin noin 30 kW/h ja kattoi keskimäärin noin 5,4 % laitoksen kokonaisenergiankulutuksesta. Osaprosessin osuus kokonaiskulutuksesta vaihteli tarkasteluajanjaksolla välillä 2,8 – 6,8 %. Kuukausitason tulokset on esitetty taulukossa 12.



TAULUKKO 12. Esi-ilmastuksen kokonaisuuden energiankulutustiedot kW/h (Anni Meiseri)

	6/2018	7/2018	9/2018	10/2018	11/2018	12/2018
C1.3 Esi-ilmastuskompressori	20	19	19	19	0	0
C1.2 Esi-ilmastuskompressori	19	19	18	18	16	17
	38,09	38,01	36,55	36,27	15,63	16,83
KOKONAISKULUTUS	599	598	534	539	551	523
Osaprosessin osuus kokonaiskulutuksesta %	6,4 %	6,4 %	6,8 %	6,7 %	2,8 %	3,2 %

## 8 MERKITTÄVIMMÄT PROSESSILAITTEET

Tarkastelujakson viisi merkittävintä laitetta energiankulutuksen osalta kattoivat keskimäärin noin 41 % koko laitoksen kokonaiskulutuksesta. Viiden merkittävimmän laitteen sijoitukset tarkasteluajanjaksolla on esitetty taulukossa 13.

TAULUKKO 13. Tarkasteluajanjaksos merkittävimmät laitteet energiankulutuksen osalta (Anni Meiseri)

	LAITTEET				
	1	2	3	4	5
6/2018	E1.4	E1.3	201TK2_TP2_Ti513.2	C1.3	C1.2
7/2018	E1.4	E1.3	201TK2_TP2_Ti513.2	C1.3	C1.2
8/2018	Tietoja ei saatavilla				
9/2018	201TK2_TP2_Ti513.2	E1.4	E1.3	C1.3	C1.2
10/2018	201TK2_TP2_Ti513.2	E1.3	E1.4	C1.3	C1.2
11/2018	E1.3	201TK2_TP2_Ti513.2	E1.4	C1.2	C1.1
12/2018	201TK2_TP2_Ti513.2	E1.3	E1.4	C1.2	C1.1
	Positio	Laite			
	E1.4	Ilmastuskompressori			
	201TK2_TP2_Ti513.2	Tuloilmapuhallin			
	E1.3	Ilmastuskompressori			
	C1.3	Esi-ilmastuskompressori			
	C1.2	Esi-ilmastuskompressori			
	C1.1	Hiekkanerotuskompressori			

Tarkasteluajanjaksolla kolme merkittävintä laitetta olivat selvästi tuloilmapuhallin 201TK2\_TP2\_Ti513.2 sekä ilmastuksen ilmastuskompressorit E1.4 ja E1.3. Näiden kolmen laitteen keskimääräinen osuus kokonaiskulutuksesta oli 35,4 %. Tarkasteluajanjaksolla nämä kolme laitetta olivat joka kuukausi kolme merkittävintä laitetta energiankulutuksen osalta. Tarkasteluajanjaksolla neljänneksi ja viidenneksi merkittävimpien laitteiden joukkoon nousivat esi-ilmastuksen ilmastuskompressorit C1.2 ja C1.3 sekä hiekkanerotuksen kompressori C1.1. Tarkasteluajanjaksolla näiden laitteiden keskimääräiset kulutukset olivat esi-ilmastuskompressorilla C1.3 19 kW/h, esi-ilmastuskompressorilla C1.2 18 kW/h ja hiekkanerotuksen C1.1 kompressorilla 15 kW/h, joten viiden merkittävimmän laitteen lähempään energiatarkeeluun valikoitui esi-ilmastuksen ilmastuskompressorit C1.2 ja C1.3.

Merkittävin yksittäinen laite oli tuloilmapuhallin 201TK2\_TP2\_Ti513.2, jonka keskimääräinen kulutusosuus kokonaiskulutuksesta oli 12,7 % kokonaiskulutuksesta. Viiden merkittävimmän laitteen kulutusosuudet on esitetty taulukossa 14.

TAULUKKO 14. Laitteiden keskimääräiset osuudet kokonaiskulutuksesta (Anni Meiseri)

Laite	Osuus kokonaiskulutuksesta %
201TK2_TP2_Ti513.2	12,7 %
E1.4	11,5 %
E1.3	11,1 %
C1.3	3,4 %
C1.2	3,1 %

Energianmittarointijärjestelmässä laitteiden energiankulutusta tarkastellaan aina kWh -ta-solla valitulla ajanjaksolla. Dataa tarkasteltaessa on huomioitava, että laitteiden ollessa pois päältä järjestelmään kirjautuu matalaa kulutusta. Esimerkiksi lietteen kuivauksen osa-prosessissa lietteen kuivauksen lingon ollessa päällä pätöteho vaihteli syyskuun 2018 energiankulutusdatan osalta noin 11 kWh:n ja 15 kWh:n välillä ja lingon ollessa pois päältä pätöteho oli noin 200 W. Lietteiden kuivauksessa on käytössä kaksi linkoa ja näiden syyskuun kokonaiskulutuksen keskiarvo oli 8,47 kWh, eli selvästi vähemmän kuin mitä laitteet kuluttavat ollessaan käytössä. Vaikka huomioitaisiin ainoastaan kulutuslukemat lingon ollessa käynnissä, niin sillä ei ole vaikutusta tässä työssä merkittävimpien laitteiden tarkasteluun, sillä viiden merkittävimmän laitteen tarkasteluun nostettujen laitteiden keskiarvokulutukset olivat selkeästi yli 15 kWh. Energianmittausjärjestelmään kirjautuva kulutus laitteiden ollessa pois päältä ei ole virheellistä, sillä laitteilta kirjautuu matalaa kulutusta myös lepotilassa, esimerkiksi laitteen logiikalta tai taajuusmuuttajan puhaltimelta. Kirjautuva matala taustakulutus on huomioitava, jos halutaan vertailla laitteiden käyntiajan energiankulutuksia, sillä käyntitiedot eivät näy suoraan energianseurantajärjestelmästä.

## 8.1 Tuloilmapuhallin 201TK2\_TP2\_Ti513.2



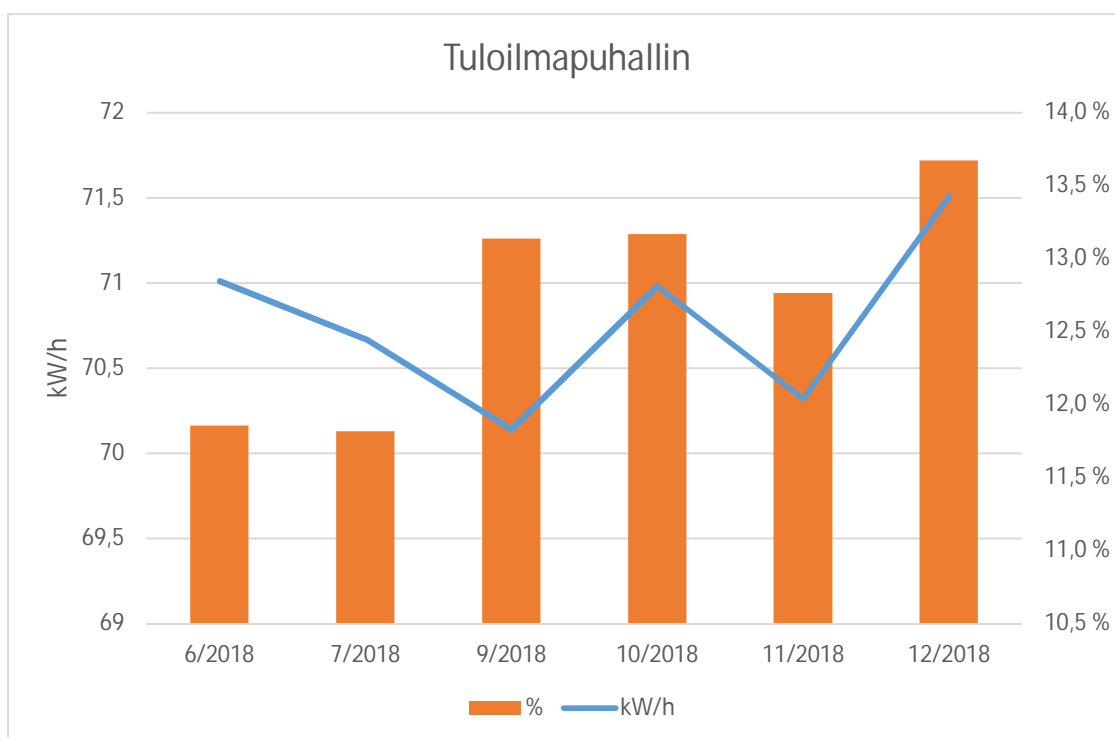
KUVA 4. Tuloilmapuhallin 201TK2\_TP2\_Ti513.2 (Anni Meiseri)

Tuloilmapuhallin 201TK2\_TP2\_Ti513.2 on KOJA:n FGMM 125 -tyypin keskipakopuhallin (KOJA 2019). Tuloilmapuhaltimen moottori on Defour Lufttechnikin BL-125 110 kW -tyypin moottori (Defour Lufttechnik 2019).

Tuloilmapuhaltimen tilavuusvirta on 100 000 m<sup>3</sup>/h ja puhaltimen tehontarve on 80 kW (Maa ja Vesi Oy 1983). Tuloilmapuhallin käy koko ajan 68:n prosentilla vakionopeudella, mikä tuottaa ilmavirtaaman 19,3 m<sup>3</sup>/s. Luolastossa ilma vaihtuu karkeasti kerran tunnissa. Laitoksella on tuloilmapuhaltimen 201TK2\_TP2\_Ti513.2 lisäksi toinen identtinen tuloilmapuhallin. Tuloilmapuhaltimet käyvät normaalisti automaatio-ohjauksella vuorotellen viikon ajanjakson kerrallaan. Tarkastelujaksolla käytössä oli tuloilmapuhaltimista ainoastaan 201TK2\_TP2\_Ti513.2 toisen puhaltimen ohjauksenvian vuoksi. Tästä syystä tuloilmapuhallin 201TK2\_TP2\_Ti513.2 on ollut manuaalikäytöllä, eikä vuorottelu ole ollut päällä. Manuaalikäytöstä johtuen käytössä ei ole myöskään ollut automaattinen tehon pudotus ilta- ja yöjaksolla. Automaattisella käytöllä tuloilmapuhaltimen tehot lasketaan kello 15:30 – 6:00 väliseksi ajaksi 68:sta prosentista 55:een prosenttiin. Luolassa työskennellään pääasiassa

kello 7-15:30 välillä, joten tehon pudotuksella haetaan energiasäästöjä pitämällä luolan ilmanvaihto työskentelyn kannalta kuitenkin turvallisella tasolla. (Siemens 2019.)

Tuloilmapuhallin 201TK2\_TP2\_Ti513.2 oli tarkasteluajanjaksolla merkittävin laite energiankulutuksen osalta. Keskimäärin sen osuus laitoksen kokonaisenergiankulutuksesta oli 12,7 % koko tarkasteluajanjaksolla, mikä on vähän yli prosentin enemmän kuin laitoksen kannalta toiseksi merkittävimmän laitteen ilmastuskompressorin E1.4 kulutus. Tuloilmapuhaltimen osuudet kokonaiskulutuksesta vaihtelivat kuukausitasolla välillä 11,8 – 13,7 % koko tarkasteluajanjakson aikana. Keskimääräinen kulutus tarkasteluajanjaksolla oli noin 71 kW/h kuukausitason tulosten vaihdellessa välillä 70 – 72 kW/h. Kulutus on ollut siis tarkasteluajanjaksolla lähes vakio, mikä selittyy sillä, että tuloilmapuhallinta on käytetty koko tarkasteluajanjakson ajan vakioteholla. Tuloilmapuhaltimen kuukausitason energiankulutuksen keskiarvot ja osuudet kokonaiskulutuksesta on esitetty kuviossa 10.



KUVIO 10. Tuloilmapuhaltimen kulutus kW/h ja prosentiosuus kokonaiskulutuksesta (Anni Meiseri)

### 8.1.1 Säästöpotentiaali

Säästöpotentiaalilaskennassa on käytetty Lahti Energian Kariniemen jätevedenpuhdistamon vuoden 2018 syyskuun laskutuksen todellista sähkön hintaa. Käytetty hinta 6,39 senttiä/kWh (Alv 0 %) muodostuu siirtomaksusta, energiaverosta, huoltovarmuusmaksusta ja energiamaksusta. Hinnassa ei ole huomioitu teho- ja loistehomaksuja eikä kuukausittaista perusmaksua. (Lahti Energia 2018.)

Tuloilmapuhaltimen osalta säästöpotentiaalin lähtökohtana on käytetty, että nykyinen moottori Defour Luftteknikin BL-125 ja hihnaveto korvattaisiin uudentyypisellä suorakäyttöisellä kestopagneettimoottorilla. Laskenta on tehty Nidec Leroy-Somerin kestopagneettimoottorin Dyneo 1500 LSRPM 315SP1 175 kW ja saman valmistajan taajuusmuuttajan Powerdrive MD2 tietojen pohjalta.

Kestopagneettimoottorissa roottorin, eli moottorin pyörivän osan magnetointi on hoidettu kestopagneettien avulla, muuten kestopagneettimoottorin runko ja käämitys on samanlainen kuin oikosulkumoottorissa. Kestopagneettimoottori on hyötysuhteeltaan huomattavasti parempi kuin oikosulkumoottori ja on täten huomattavasti energiatehokkaampi. Esimerkiksi hitaalla nopeudella 100 rpm oikosulkumoottorin hyötysuhde on alle 50 %, kun taas kestopagneettimoottorin hyötysuhde on noin 80 %. Energiatehokkuudesta kertoo myös sähkömoottoreiden energiatehokkuutta kuvaavat energialuokat. Kestopagneettimoottorilla päästään luokkaan IE4 ja tulevaan IE5, kun taajuusmuuttajakäyttöinen oikosulkumoottori jää luokkaan IE2 tai IE3. (SolFox Oy 2018.) Sähkömoottoreiden energialuokat on esitetty taulukossa 15.

TAULUKKO 15. Sähkömoottoreiden energialuokat (Motiva 2009)

IE1	Standard efficiency
IE2	High efficiency
IE3	Premium efficiency
IE4	Super premium efficiency

Säästöpotentiaalin laskennan pohjana on käytetty tuloilmapuhaltimien automaattista ajotapaa, eli vuorokaudesta konetta käytetään täydellä teholla 35 % ja osateholla 65 % ajasta. Laskennassa on käytetty oletuksena, että muutostyöt (uusi kestromagneettimoottori ja taa-juusmuuttaja) tehtäisiin vain toiselle tuloilmapuhaltimelle. Laskennassa käytettyjen laitteiden lähtötiedot ja hinta-arviot on esitetty liitteessä 4 ja 5. Laskennallinen energiansäästö ja takaisinmaksuajat on laskettu kolmella eri vaihtoehtoisella ajotavalla:

- **Vaihtoehto 1**  
Nykyinen ajotapa; molemmat tuloilmapuhaltimet käyvät automaatio-ohjauksen vuorotteluvälillä, eli uudistettu tuloilmapuhallin kävisi 50 % ajasta vuodessa.
- **Vaihtoehto 2**  
Uudistettua tuloilmapuhallinta käytettäisiin 100 % ajasta ja vanhanmallinen jätettäisiin varakäyttöön.
- **Vaihtoehto 3**  
Uudistettu tuloilmapuhallin kävisi kahden viikon sykleissä 13 päivän ajan ja vanhaa käytettäisiin yhden päivän ajan, jotta vanhanmallisen tuloilmapuhaltimen käyttövarmuus säilyisi.

Uudistetun tuloilmapuhaltimen säästöpotentiaali on esitetty taulukossa 16.

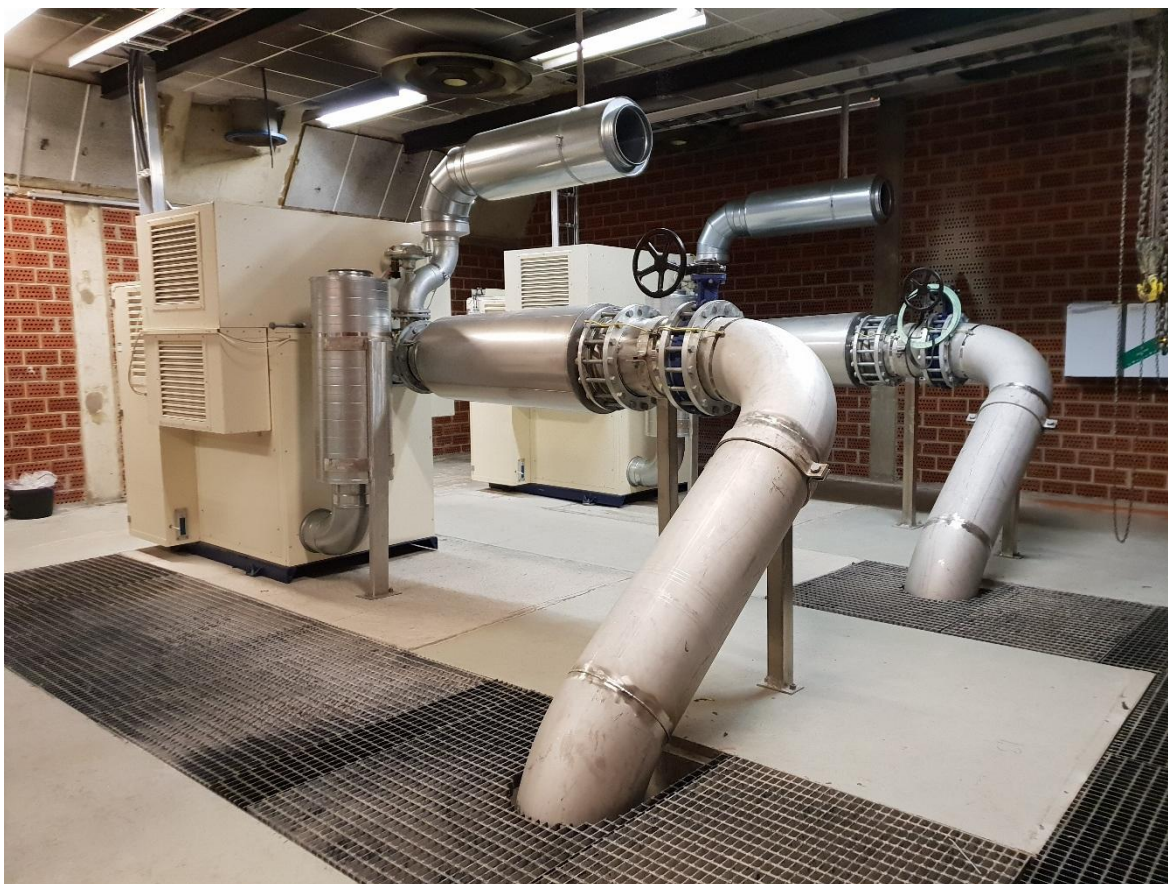
TAULUKKO 16. Tuloilmapuhaltimen säästöpotentiaali (Anni Meiseri)

Kestomagneettimoottorilla varustetun tuloilmapuhaltimen säästöpotentiaali				
	Käyntiaika vuodessa %	Energiasäästö kWh/vuosi	Säästö euroa/vuosi	Takaisinmaksuaika vuotta
Vaihtoehto 1	50	51 604	3 297	8,6
Vaihtoehto 2	100	103 208	6 595	4,3
Vaihtoehto 3	93	95 983	6 133	4,6

Vaihtoehtoisista ajotavoista vaihtoehto kolme olisi paras vaihtoehto energiansäästön ja käyttövarmuuden näkökulmasta, sillä ajotavalla varmistettaisiin toisen tuloilmapuhaltimen käyttövarmuus ja maksimoitaisiin energiansäästö. Tällä ajotavalla laskennallinen energiansäästö vuodessa olisi noin 96 000 kWh ja vuosittainen säästö noin 6 000 euroa. Tällä ajotavalla muutosinvestoinnin laskennallinen takaisinmaksuaika olisi 4,6 vuotta.



## 8.2 Ilmastuskompressorit E1.3 ja E1.4



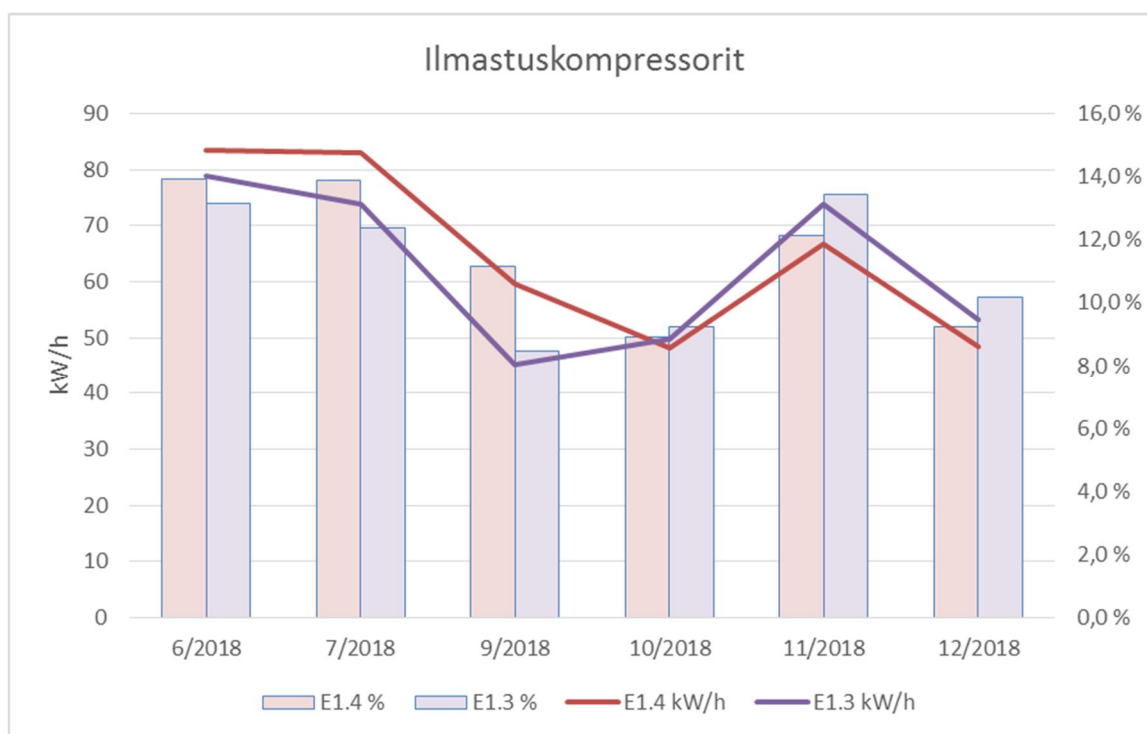
KUVA 5. Ilmastuskompressorit E1.3 ja E1.4 (Anni Meiseri)

Ilmastuskompressorit E1.3 ja E1.4 ovat Sulzerin HST 9500-200-1-L-4 -tyypin kompresso-reita (Sulzer 2019). Ilmastuskompressoreiden säätö tapahtuu ilmaputken runkopaineen mukaan, eli paine pyritään pitämään asetellussa tavoitepaineessa. Runkoputken tavoite-paineelle on asetettu automaatiojärjestelmään nimipaineeksi 51 kPa ja maksimipaineeksi 57 kPa. Runkoputken tavoitepaine on riippuvainen ilmastuksen ilmaputken lohko-kohtai-sien säätöventtiilien asennosta. Runkoputken tavoitepaine on sitä korkeampi mitä enem-män säätöventtiilit ovat auki ja päinvastoin. Ohjauksessa käytetty säätöventtiilien kes-kiarvo on kaikkien ilmastettujen lohkojen säätöventtiilien asentojen keskiarvo. Pääsääntöi-sesti toinen ilmastuskompressoreista E1.3 tai E1.4 on käytössä. Automaatio-ohjelmaan on aseteltu näille kahdelle kompressorille vuorotteluväli, joka on 24 tuntia. Ohjauksessa on



käytössä myös tehon lisäys- ja vähennysohjaukset aseteltavien tehon lisäys- ja vähennysrajojen sekä viiveiden kautta. (Kariniemen jätevedenpuhdistamon automaatiojärjestelmä, 2019.)

Ilmastuskompressorin E1.4 energialukemat vaihtelivat tarkasteluajanjaksolla kuukausitason keskiarvoina välillä 48,11 – 83,52 kW/h. Keskimäärin kompressorin osuus laitoksen kokonaiskulutuksesta oli 11,54 %. Osuus kokonaiskulutuksesta vaihteli välillä 9 – 14 %. Ilmastuskompressorin E1.3 energialukemat vaihtelivat tarkasteluajanjaksolla kuukausitason keskiarvoina välillä 45,32 – 78,79 kW/h. Keskimäärin kompressorin osuus laitoksen kokonaiskulutuksesta oli 11,1 %. Osuus kokonaiskulutuksesta vaihteli välillä 8 – 13 %. Ilmastuskompressoreiden energiankulutukset ja osuudet kokonaiskulutuksesta on esitetty kuviossa 11.



KUVIO 11. Ilmastuskompressoreiden energiankulutus ja osuudet kokonaiskulutuksesta tarkastelujaksolla (Anni Meiseri)

### 8.2.1 Säästöpotentiaali

Säästöpotentiaalilaskennassa on käytetty Lahti Energian Kariniemen jätevedenpuhdistamon vuoden 2018 syyskuun laskutuksen todellista sähkön hintaa. Käytetty hinta 6,39 senttiä/kWh (Alv 0 %) muodostuu siirtomaksusta, energiaverosta, huoltovarmuusmaksusta ja energiamaksusta. Hinnassa ei ole huomioitu teho- ja loistehomaksuja eikä kuukausittaista perusmaksua. (Lahti Energia 2018.)

Kariniemen ilmastuskompressorit on uusittu laitoksen ilmastuksen saneerauksen yhteydessä vuonna 2012, joten laitteina ilmastuskompressorit ovat niin uudet, ettei niiden uusiminen ole kustannustehokkaasti järkevää. Lisäksi, kuten kohdassa 5.2 esitetyistä IWAMA-hankkeen tuloksista käy ilmi, on Lahden jätevedenpuhdistamoiden ilmastuksen osaprosessin energiankulutus alle keskimääräisen tason mukana olleiden Itämeren alueen jätevedenpuhdistamoiden tulosten osalta.

Aqua Palvelu Oy:n prosessi-insinööri Tapio Kilposen työn alla olevassa diplomityössä Lahden Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamolle toteutettiin ammoniumtyppiohjaus ilmastuksen säätöön. Ohjaustavassa ilmastuslinjalle asennetaan ammoniumtyppianturi ja ammoniumtyppimittaukselle asetellaan ala- ja ylärajat. Rajojen ylityksen tai alituksen sekä aseteltavan reagoitiviiveen jälkeen automaattinen ohjaus ohjaa ilmastuslinjan lohkoja joko anoksiseksi tai ilmastetuksi. Ilmastuslinjan lohkojen happipitoisuudet määräytyvät ammoniumtyppimittauksen liukuvan keskiarvon mukaan ja eri lohkojen happipitoisuus määräytyy aseteltavan kertoimen mukaan. Ammoniumtyppiohjaustapa otettiin käyttöön myös Kariniemen jätevedenpuhdistamolla 18.12.2018. (Automaatiojärjestelmä 2019.)

Koska laiteinvestoinnit eivät ole Kariniemen jätevedenpuhdistamolla järkevä säästöpotentiaalilähde suhteellisen uusien laiteinvestointien vuoksi, on tässä työssä selvitetty millaisia säästöjä joulukuussa 2018 käyttöönotetulla ammoniumtyppiohjaustavalla on saavutettu aikaisempaan ohjaustapaan nähden.

Takaisinmaksuajoissa on huomioitu ammoniumtyppiantureiden hankintahinta 17 781 euroa. Hankintahinta pitää sisällään lähettimen, kolme kappaletta ammoniumtyypen mittaustantureita asennustarvikkeineen sekä kaapelit. Takaisinmaksuajoissa ei ole huomioitu muun muassa asennusten ja automaatio-ohjelman muutostöiden kustannuksia. (Christian Berner Oy 2018.)

Säästöpotentiaalilaskelmat on esitetty taulukossa 17. Säästöpotentiaalilaskelmia on tarkasteltu sekä viikko- että kuukausitason tulosten pohjalta.

TAULUKKO 17. Ammoniumtyppiohjauksen säästöpotentiaali (Anni Meiseri)

	NH <sub>4</sub> -N ohjaus käytössä	Ilmastus	
		Osaprosessi kW/h	Ilmastuskompressorit kWh
Tarkastelu 1, viikko			
10 - 16.12.2018		156	119
7 - 13.1.2019	x	139	103
Erotus, kW/h		17	16
NH-N <sub>4</sub> ohjaus, säästö kWh/vuosi		148 570	143 772
Säästö, euroa/vuosi		9 494	9 187
Takaisinmaksuaika, vuotta		1,9	1,9

	NH <sub>4</sub> -N ohjaus käytössä	Ilmastus	
		Osaprosessi kW/h	Ilmastuskompressorit kWh
Tarkastelu 2, kuukausi			
16.11 - 16.12.2018		160	124
1.1 - 31.1.2019	x	132	95
Erotus, kW/h		28	28
NH-N <sub>4</sub> ohjaus, säästö kWh/vuosi		245 806	248 958
Säästö, euroa/vuosi		15 707	15 908
Takaisinmaksuaika, vuotta		1,1	1,1

Ammoniumtyppiohjaukseen perustuvalla happipitoisuuden säätelyllä ilmastuksessa voidaan saavuttaa 10 – 15 %:n säästö (Sihvonen 2018). Sekä viikon että kuukauden tarkastelujakson tulosten pohjalta ammoniumtyppiohjauksella saavutetaan huomattavat energiasäästöt. Viikon tarkastelujaksolla energiansäästö oli noin 11 % osaprosessin kokonaisenergiankulutuksen osalta sekä noin 13 % ilmastuskompressoreiden energiankulutuksen osalta. Kuukausitason tarkastelussa osaprosessin energiansäästö oli noin 18 % ja ilmastuskompressoreiden osalta noin 23 %. Näillä tarkastelujaksolla saadut tulokset vastaavat melko hyvin esitettyä 10 – 15 %:n arviota.

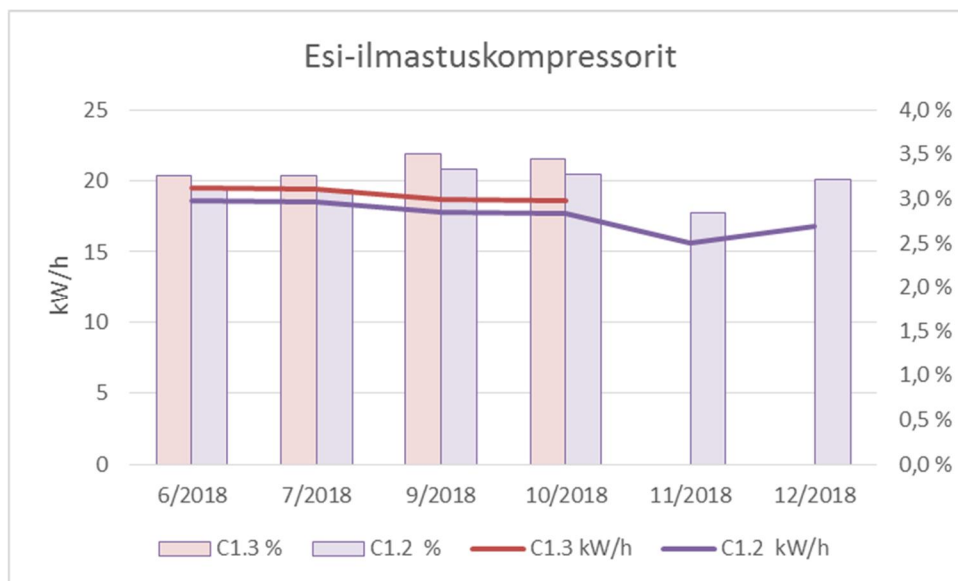
Nitrifikaatio on lämpötilariippuvainen prosessi ja hidastuu alhaisissa lämpötiloissa (Karttunen 2004, 212). Tämä vaikuttaa suoraan ilmastuksen osaprosessin energiankulutukseen. Esimerkiksi lämpimien vesien aikana ilmastuksessa on enemmän anoksisia lohkoja verrattaessa kylmien vesien tilanteeseen, eikä ilmastusprosessiin tarvitse tällöin tuottaa niin paljon ilmaa ilmastuskompressoreilla. Tämän vuoksi todellisia energiasäästöjä ammoniumtyppiohjauksen osalta kannattaa tarkastella vuositasolla, jolloin eri vuodenaikojen vaikutukset tulee huomioida.

### 8.3 Esi-ilmastuskompressorit C1.2 ja C1.3



KUVA 6. Esi-ilmastuskompressori (Anni Meiseri)

Esi-ilmastuskompressorit ovat Aerzenerin valmistamat ja malliltaan GLA13,8. Moottoreina ovat Strömbergin HXUR 452 G2 / 3 B3 -tyypin moottorit (Insta Automation Oy 2019). Esi-ilmastuskompressori on esitetty kuvassa 6. Tarkasteluajanjaksolla esi-ilmastuskompressoreita on ajettu vakioteholla ja vuorottelulla kesäkuusta lokakuun loppuun ja marras-kuusta joulukuulle kompressoreita on ohjattu käsikäytöllä ferrosulfaatin liukenemisen tehostamiseksi. Tarkasteluajanjakson energiankulutukset ja osuudet kokonaiskulutuksesta on esitetty kuviossa 12.



KUVIO 12. Esi-ilmastuskompressoreiden kulutus tarkastelujaksolla (Anni Meiseri)

Esi-ilmastuskompressori C1.3 oli tarkasteluajanjaksolla käytössä kesäkuusta lokakuuhun. Keskimääräinen energiankulutus tarkasteluajanjaksolla oli 19,07 kW/h vaihdellen välillä 18,59 – 19,51 kW/h. Esi-ilmastuskompressorin C1.3 kulutus oli tarkastelujaksolla todella tasaista ja keskimääräisten minimi- ja maksimikulutusten erotus oli alle 1 kW/h. Esi-ilmastuskompressorin C1.3 osuus kokonaiskulutuksesta oli tarkasteluajanjaksolla keskimäärin 3,4 %. Esi-ilmastuskompressori C1.2 oli käytössä koko tarkasteluajanjakson. Keskimääräinen energiankulutus tarkasteluajanjaksolla oli 17,52 kW/h vaihdellen välillä 15,63 – 18,58 kW/h. Esi-ilmastuskompressorin C1.2 kulutus ei ollut yhtä tasaista kuin C1.3:sen ja sen keskimääräisten minimi- ja maksimikulutusten erotus oli 2,95 kW/h. Esi-ilmastuskompressorin C1.2 osuus kokonaiskulutuksesta oli tarkasteluajanjaksolla keskimäärin 3,1 %. Ero kompressorien C1.3 ja C1.2 kulutusten välillä selittyy loka- ja marraskuun välillä tehdyllä ajotavan muutoksella, jolloin kompressoria C1.3 ajettiin käsikäytöllä marras-joulukuun välinen ajanjakso.

### 8.3.1 Säästöpotentiaali

Esi-ilmastuskompressorit ovat alkuperäiset kiertomäntäkompressorit ja täten säästöpotentiaalia lähdettiin tarkastelemaan laiteinvestointien kautta. Koska kiertomäntäkompresso-reita ajetaan tällä hetkellä vakioteholla, ei säästöpotentiaalia tarkastellulla laiteinvestoinnilla käytännössä saavutettu. Tästä johtuen säästöpotentiaalilaskelmia ei esitellä tässä työssä.

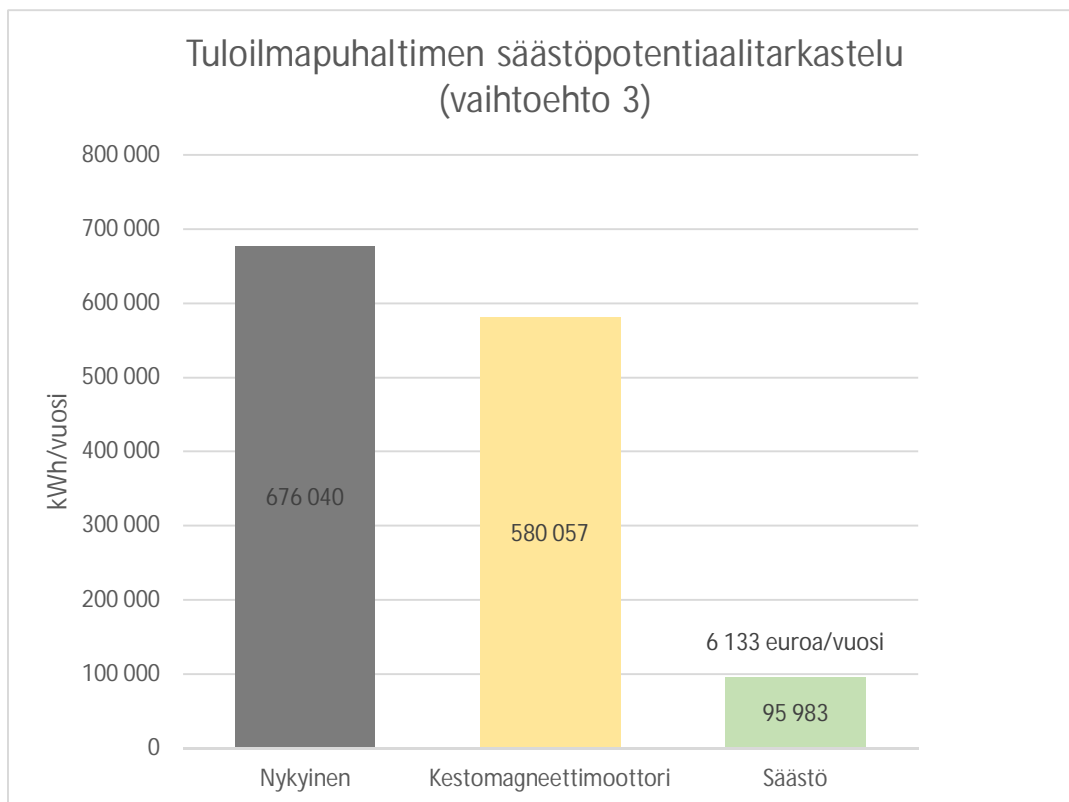
Esi-ilmastuksen osalta säästöpotentiaalia pitäisi pohtia osaprosessin ohjauksesta lähtien, jolloin saavutettavissa voisi olla säästöpotentiaalia. Prosessista tulisi tehdä todellisen ilmamäärätarpeen selvitystyö ja kartoittaa voidaanko ilmamäärää säädellä esimerkiksi vuorokausitason aikaprofiililla tai happimittauksen perusteella. Esi-ilmastuksen merkittävin rooli on vahvistaa ferrosulfaatin hapettumista reaktiiviseksi ferrisulfaatiksi. Laitoksella säädellään ferrosulfaatin annostelua, mutta esi-ilmastuksen ilmastuskompressoreita ei säädellä, vaikka käytössä olisi taajuusmuuttajaohjaus, joten on mahdollista, että esi-ilmastusta yli-ilmastetaan ainakin osan aikaa vuorokaudesta.

## 9 TULOKSET

Tämän työn päätavoitteena oli selvittää Kariniemen jätevedenpuhdistamon merkittävimmät energiankulutuskohteet uuden energianmittausjärjestelmän avulla. Tarkasteluajanjaksoilla yksi energianmittausjärjestelmän mittauskeskuksista ei ollut toiminnassa saneeraus-hankkeen johdosta. Lisäksi poistoilman osaprosessia ei ollut vielä kytketty järjestelmään tarkasteluajanjaksolla. Näistä syistä johtuen, työssä ei ole saatu pilkottua laitoksen kokonaisenergiankulutusta kaikkiin suunniteltuihin osaprosesseihin. Tarkemman osaprosessi-tarkastelun ulkopuolelle jäi noin 44 % tarkasteluajanjakson kokonaisenergiankulutuksesta.

Tarkasteluajanjakson perusteella erityisen merkittäväksi nousivat osaprosessien osalta ilmastuksen ja tuloilman osaprosessit, jotka yhdessä kattoivat 42 % laitoksen kokonais-energiankulutuksesta. Ilmastuksen osuus tästä oli 29 % ja tuloilman 13 %. Kolmanneksi merkittävin osaprosessi oli esi-ilmastus 5,4 % osuudella kokonaisenergiankulutuksesta. Merkittävimmät laitteet kokonaisenergiankulutuksen osalta tarkasteluajanjaksolla olivat tuloilmapuhallin ja ilmastuksen kaksi isoa ilmastuskompressoria. Nämä kolme merkittävintä laitetta kattoivat noin 35 % tarkasteluajanjakson kokonaiskulutuksesta. Tuloilmapuhaltimen osuus oli tästä noin 13 % ja ilmastuskompressoreiden osuudet olivat noin 11 % per ilmastuskompressori. Neljänneksi ja viidenneksi merkittävimmät prosessilaitteet olivat esi-ilmastuksen esi-ilmastuskompressorit, joista esi-ilmastuskompressorin C1.3 osuus kokonaisenergiankulutuksesta oli noin 3,4 % ja esi-ilmastuskompressorin C1.2 osuus noin 3,1 %.

Työssä selvitettiin saatujen tulosten pohjalta merkittävimpien laitteiden energiankulutuksen mahdollisia säästöpotentiaaleja. Tuloilmapuhaltimen osalta säästöpotentiaalia selvitettiin ohjaustavan muutoksella hihnavetoisesta moottorista suoravetoiseen kestopagneettimoottoriin. Säästöpotentiaalia tarkasteltiin kolmella vaihtoehtoisella ajotavalla, joista käyttövarmuuden ja energiansäästöpotentiaalın kannalta parhaalla ajotavalla saavutettaisiin vuositasolla noin 96 000 kWh:n energiansäästöt ja vaadittavien investointien takaisinmaksuaika olisi vajaa viisi vuotta. Tämän vaihtoehdon ja nykyisen järjestelmän energiankulutukset kWh/vuosi tasolla ja saavutettavat säästöt on esitetty kuviossa 13.



KUVIO 13. Tuloilmapuhaltimen säästöpotentiaalitarkastelu (Anni Meiseri)

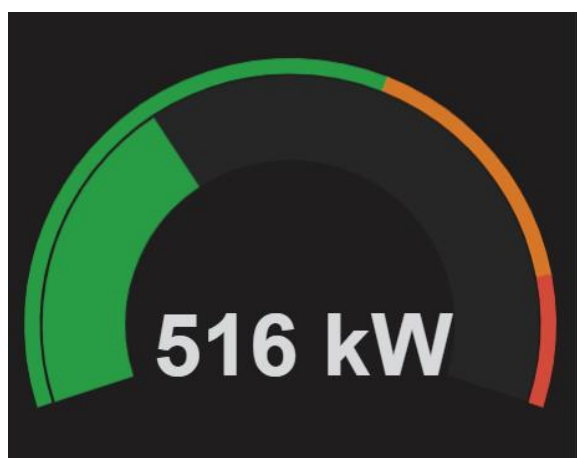
Kariniemen jätevedenpuhdistamolla on toteutettu ilmastuksen saneeraus kymmenen vuoden sisällä kattaen ilmastuskompressoreiden uusinnan, joten ilmastuskompressoreiden säästöpotentiaalitarkastelussa ei ollut kustannustehokasta pohtia uusia laitehankintoja. Säästöpotentiaalia tarkasteltiin joulukuussa 2018 käyttöönotetun ilmastuksen ammoniumtyyppiohjauksen näkökulmasta. Ammoniumtyyppiohjauksen säästöpotentiaalin toteutumista tarkasteltiin viikko- ja kuukausitason tulosten pohjalta ja saatu energiansäästö vaihteli 11 – 18 % koko ilmastusosaprosessin osalta. Näiden tulosten pohjalta energiansäästö olisi noin 150 000 – 250 000 kWh vuositasolla. Todelliset energiansäästöt ammoniumtyyppiohjauksen osalta tulee tarkastella kuitenkin vuositasolla, jolloin vuodenaikojen vaikutukset typenpoistoon sekä ilmastuksen ohjaukseen tulee huomioitua.



## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tehdyn työn pohjalta voidaan todeta, että Kariniemen jätevedenpuhdistamolla on paljon energiansäästöpotentiaalia toteutettavaksi. Tässä työssä keskityttiin vain merkittävimpien laitteiden säätöpotentiaaliin, mutta energiansäästöpotentiaalia on varmasti myös energiankulutuksen kannalta pienempien osaprosessien kohdalla. Erityisen kiinnostavaa olisi tehdä tarkastelu uudelleen, kun nyt saneerauksen vuoksi käytöstä poissa ollut mittauskeskus saadaan käyttöön ja poistoilman osaprosessi kytkettyä energianmittausjärjestelmään, jolloin saadaan tarkasteltua koko laitoksen todellinen energiankulutuksen jakauma.

Toteutettu energianmittausjärjestelmä on melko laaja. Energianmittausjärjestelmää suunniteltaessa jätevedenpuhdistamolle, kannattaa laajuus miettiä tulevan käyttötarkoituksen mukaan ja valita seurattavat kohteet sen pohjalta. Energiankulutuslukemia voi seurata useasta näkökulmasta, esimerkiksi kustannustehokkuuden, prosessinohjauksen tehostamisen tai laitteiden kunnossapidon näkökulmasta. Laitteiden kunnossapidon osalta energianmittausjärjestelmää voisi käyttää ennakkohuollon työkaluna seuraamalla esimerkiksi identtisten laitteiden energiankulutuksia, jolloin mahdolliset tehonlaskut voisivat indikoida laitteen vikaantumista. Järkevintä olisi kartoittaa kaikki laitosta palvelevat näkökulmat ja luoda näiden pohjalta omia päänäkymiä Grafana -seurantatyökaluun, jolloin kuhunkin käyttötarkoitukseen tarvittavat tiedot olisi jäsennelty valmiiksi. Grafana -seurantatyökalussa on tällä hetkellä esitetty esimerkiksi laitoksen kokonaiskulutus niin sanotulla nopeusnäytöllä, jossa värikoodit vihreä, keltainen ja punainen indikoivat energiatehokkuutta. Nopeusnäyttö on esitetty kuviossa 14.



KUVIO 14. Grafana -seurantatyökalun nopeusnäyttö (Grafana 2019)

Nopeusnäyttönäkymiä voisi hyödyntää eri päänäkymissä. Kunnossapidon osalta nopeusnäyttöön kannattaisi valita huoltojen tai vikaantumisen kannalta merkittävät laitteet ja luoda värikoodeilla rajat, jotka indikoisivat mahdollista vikaantumista tai huollontarvetta. Prosessinohjauksen näkökulmasta nopeusnäytöt voisivat toimia prosessinohjausta ohjaavina mittareina. Kun energianmittausjärjestelmään on saatu tarpeeksi historiadataa, voitaisiin datan pohjalta värikoodeilla kertoa, ollaanko energiankulutuksen osalta keskimääräisellä alueella, vai sen yli tai ali. Näytöillä voitaisiin vertailla esimerkiksi yksittäisen osaprosessin linjakohtaisia energiankulutuslukemia, jolloin prosessinohjausta voitaisiin optimoida havaintojen pohjalta.

Energianmittausjärjestelmän dataa voisi tarkastella myös energiankäytön jakautumisen näkökulmasta vuorokausitasolla sekä arki- että pyhäpäivien välillä. Tarkastelussa voitaisiin kartoittaa toistuvat energiapiikit ja pohtia voitaisiinko laitoksen prosessinohjauksella tasoittaa laitoksen energiankulutuksen jakaumaa.

Energianmittausjärjestelmän avulla pystytään seuraamaan energiankulutusta reaaliajassa, mikä lisää laitoksen ajosta vastaavien operaattoreiden työn mielekkyyttä, sillä tehtyjen muutosten vaikutukset ovat heti nähtävillä ja vertailtavissa. Aikaisemmin ajotapamuutosten vaikutuksia energiankulutukseen on ollut lähes mahdotonta osoittaa, joten energianmittausjärjestelmä mahdollistaa ajotapojen optimoinnin energiatehokkuuden näkökulmasta. Jatkokehityksenä olisi mielenkiintoista valita yksi laite tai osaprosessi tarkempaan energiankulutustarkasteluun ja hakea säästöpotentiaalia testaamalla jotain käytännössä, esimerkiksi kartoittaa palautuslietteen eri palautussuhteiden vaikutukset energiankulutukseen.

Energianmittausjärjestelmää voidaan hyödyntää myös investointiprosessin työkaluna. Järjestelmään kerääntyviä tietoja pystytään hyödyntämään investointien takaisinmaksuaikalaskemissa, jolloin energiansäästöinvestoinnit pystytään perustelemaan.

Kariniemen jätevedenpuhdistamon osalta olisi mielenkiintoista toteuttaa energianmittausjärjestelmää hyödyntäen laaja energiatehokkuusvertailu AVL:n, kuormituksen, prosessien ja olosuhteiden osalta mahdollisimman samankaltaisen laitoksen kanssa, jolloin energiankulutuslukemat olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia.

Grafana -seurantatyökalua voisi kehittää lisäämällä valitun ajanjakson minimi- ja maksimikulutukset kokonaissyöttöteholle, jolloin rajoituksia tekemällä pystyisi tarkastelemaan valitulta ajanjaksolta esimerkiksi yksittäisen laitteen tai yhden osaprosessin minimi- ja maksimikulutuksia. Lisäksi olisi mielenkiintoista, jos järjestelmään saisi tuotua määriteltyjen laitteiden käyttötunnit, jolloin energiankulutuslukemia pystyisi vertailemaan suhteessa käyttötunteihin. Hyödynnettävyyttä parantaisi myös eri käyttötarkoituksiin suunnitellut päänäkyvät. Lisäksi prosessikaavioon pohjautuva energiankulutusnäkyvä voisi olla tarpeellinen.

## LÄHTEET

### **Painetut lähteet**

Gerardi, M. H. 2010. Troubleshooting the sequence batch reactor: wastewater microbiology. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey.

Karttunen, E. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Kemira. 2019. Vedenkäsittelyn käsikirja. Kemira.

### **Elektroniset lähteet**

Energiavirasto. 2018. Energiatehokkuus [viitattu 13.3.2018]. Saatavissa:

<https://www.energiavirasto.fi/energiatehokkuus>.

Gandiglio, M., Lanzini, A., Soto, A., Leone, P. & Santarelli, M. 30.10.2017. Enhancing the energy efficiency of wastewater treatment plants through co-digestion and fuel cell systems [viitattu 20.2.2019]. Saatavissa: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2017.00070/full>

Guerrini, A., Romano, G. & Indipendenza, A. 27.6.2017. Energy Efficiency Drivers in Wastewater Treatment Plants: A Double Bootstrap DEA Analysis [viitattu 20.2.2019]. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/7/1126>

HS-Vesi. 2019. HS-Vesi vuosikertomus 2017 [viitattu 15.3.2019]. Saatavissa:

[file:///C:/Users/meiseri\\_a/Downloads/HS-Vesi\\_Toimintakertomus\\_2017.pdf](file:///C:/Users/meiseri_a/Downloads/HS-Vesi_Toimintakertomus_2017.pdf)

HSY – Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. 2018. Jätevedenpuhdistus pääkaupunkiseudulla 2017 [viitattu 15.3.2019]. Saatavissa: [https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Julkaisusarja/1\\_2018-jatevedenpuhdistus-paakaupunkiseudulla-2017.pdf](https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Julkaisusarja/1_2018-jatevedenpuhdistus-paakaupunkiseudulla-2017.pdf)

Jonasson, M. 10.9.2007. Energy benchmark for wastewater treatment processes – a comparison between Sweden and Austria [viitattu 18.3.2019]. Saatavissa:

[https://www.iea.lth.se/publications/MS-Theses/Full%20document/5247\\_full\\_document.pdf](https://www.iea.lth.se/publications/MS-Theses/Full%20document/5247_full_document.pdf)

Lahti Energia Oy. 2019. Online-palvelut – kulutuksen tarkkailu [viitattu 18.1.2019].

Lallukka, S. 2014 Jätevedenpuhdistamon energianseurantajärjestelmä Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. Metropolia ammattikorkeakoulu [viitattu 23.1.2019].

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Insinöörytö.

Levomäki, M. 2015. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon energiatehokkuus seminaariesitys 25.11.2015 [viitattu 23.1.2019]. Saatavissa: [http://www.vesiyhdistys.fi/pdf/Levomaki\\_Mirva\\_%20Kakolanmaen\\_energiatehokkuus.pdf](http://www.vesiyhdistys.fi/pdf/Levomaki_Mirva_%20Kakolanmaen_energiatehokkuus.pdf)

Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy. 2019. Kakolanmäen jätevedenpuhdistamon tarkkailututkimus – vuosiraportti 2017 [viitattu 15.3.2019]. Saatavissa: <https://www.tu-runseudunpuhdistamo.fi/wp-content/uploads/2018/03/Kakola8-vy2017.pdf>

Luomanen, J. 2015. Jätevedenpuhdistamon energiankäytön tehostaminen, case: Tampere, Viinikanlahti [viitattu 10.1.2019]. Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala. Insinööriyö.

Motiva Oy. 2019. Energiatehokkuussopimukset [viitattu 14.3.2018]. Saatavissa: <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/energiatehokkuussopimukset/>.

Motiva Oy. 2019. Energiatehokkuussopimuksiin liittyneet [viitattu 16.1.2019]. Saatavissa: <http://www.energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/sopimuksiin-liittyneet/>.

Motiva Oy. 2010. Valtioneuvoston periaatepäätös energiatehokkuustoimenpiteistä [viitattu 14.3.2018]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/2892/Valtioneuvoston\\_periaatepaatos\\_energiatehokkuustoimenpiteista.pdf](https://www.motiva.fi/files/2892/Valtioneuvoston_periaatepaatos_energiatehokkuustoimenpiteista.pdf).

Motiva. 2009. Energiatehokkaat moottorikäytöt [viitattu 25.3.2019]. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/7807/Energiatehokas\\_moottorijarjestelma\\_KOULUTUSAI-NEISTO.pdf](https://www.motiva.fi/files/7807/Energiatehokas_moottorijarjestelma_KOULUTUSAI-NEISTO.pdf)

Rettig, S., Schulz, K., Barjenbruch, M. & Al-Zreiqat, I. 7-2018. Key figure data for energy efficiency – Benchmarking the Baltic Sea Region in the project IWAMA – Interactive Water Management [viitattu 16.3.2019]. Saatavissa: <http://www.iwama.eu/output/key-figure-data-energy-and-sludge-benchmark>

Sihvonen, M. 2018. Jätevedenkäsittelyn energia- ja resurssitehokkuuden parantaminen dynaamisen prosessimallinnuksen avulla seminaariesitys 24.5.2018 [viitattu: 23.1.2019]. Saatavissa: [https://www.vvy.fi/site/assets/files/2081/03\\_sihvonen\\_maija.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/2081/03_sihvonen_maija.pdf)

SolFox. 2018. Kestomagneettimoottori [viitattu 25.3.2019]. Saatavissa: [https://www.solfox.fi/tuotteet/moottorit/kestomagneettimoottorit/?gclid=CjwKCAjw-OHkBRBkEi-wAoOZqlxxSIZG-gpG0q6psYlklcyF0r-nprBCvEkDrdbgVX2QP5Rd2\\_2VHsxoCa-BwQAvD\\_BwE](https://www.solfox.fi/tuotteet/moottorit/kestomagneettimoottorit/?gclid=CjwKCAjw-OHkBRBkEi-wAoOZqlxxSIZG-gpG0q6psYlklcyF0r-nprBCvEkDrdbgVX2QP5Rd2_2VHsxoCa-BwQAvD_BwE)

Syke. 2019. Energiatehokkuustoimista on taloudellista hyötyä [viitattu 15.3.2019]. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/75ef09a7-01a2-489a-862e-0dce463a8e1c/energiatehokkuustoimista-on-taloudellista-hyotya.html>

Taipale, O. 2012. Energianhallintajärjestelmän suunnittelu ja toteutus HSY-kuntayhtymälle [viitattu 23.1.2019]. Metropolia ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Insinöörityö.

Tampereen Vesi. 2019. Vuosikertomus ja ympäristöraportti 2017 [viitattu 15.3.2019]. Saatavissa: [https://www.tampere.fi/material/attachments/vesi/vesi/wJJoFN4IX/tampereen-vesi\\_vuosikertomus\\_2017.pdf](https://www.tampere.fi/material/attachments/vesi/vesi/wJJoFN4IX/tampereen-vesi_vuosikertomus_2017.pdf)

Tchobanoglous, G., Burton, F. L. & Stensel, H. D. 2003. Wastewater engineering, treatment and reuse (fourth edition.). Metcalf and Eddy Inc. New York: McGraw-Hill.

Vaccari, M., Foladori, P., & Vitali, F. 27.3.2018. Benchmarking of energy consumption in municipal wastewater treatment plants – a survey of over 200 plants in Italy [viitattu 20.2.2019]. Saatavissa: <https://iwaponline.com/wst/article/77/9/2242/38630/Benchmarking-of-energy-consumption-in-municipal>

#### **Lahti Aqua Oy:n sisäiset dokumentit**

Christian Berner Oy. 10.4.2018. Tarjous: Ammoniumtypen mittaukset. Saatavissa: Lahti Aqua Oy:n sisäinen tiedonhallintajärjestelmä.

Insta Automation Oy. 2019. Mittauslaajuus\_RevF excel-tiedosto. Lahti Aqua Oy:n sisäinen tiedonhallintajärjestelmä.

Insta Automation Oy. 2017. Kariniemen puhdistamon energianhallintajärjestelmä - tekninen sisältö. Lahti Aqua Oy:n sisäinen tiedonhallintajärjestelmä.

IWAMA. 2019. Key figure data for energy efficiency and sludge benchmark – individual feedback for the contributors [viitattu 16.3.2019]. Saatavissa: Lahti Aqua Oy:n sisäinen tiedonhallintajärjestelmä.

Lahti Aqua Oy. 2019. Määrät taulukko. Lahti Aqua Oy:n sisäinen tiedonhallintajärjestelmä.

Lahti Aqua Oy. 2018. Vuosikertomus 2017 aineisto. Lahti Aqua Oy:n sisäinen tiedonhallintajärjestelmä.

Lahti Aqua Oy. 2017. Liiketoimintasuunnitelma 2018. Lahti Aqua Oy:n sisäinen tiedonhallintajärjestelmä.

Lahti Energia Oy. 2018. Kariniemen jätevedenpuhdistamon syyskuun 2018 sähkölasku.

Maa ja Vesi Oy. 10.10.1983. Kariniemen jätevedenpuhdistamo – Luolaston ilmanvaihdon täydentäminen säädettäväksi – selvitys tarvittavista toimenpiteistä [viitattu 22.3.2019].  
Saatavissa: Lahti Aqua Oy:n sisäinen tiedonhallintajärjestelmä.

Meiseri, A. 2010. Kariniemen jätevedenpuhdistamo. Lahti Aqua Oy:n sisäinen tiedonhallintajärjestelmä.

Mäki-Petäjä, J. & Meiseri, A. 2011. Kariniemen puhdistamo – prosessikuvaus ja ajo-ohje. Lahti Aqua Oy:n sisäinen tiedonhallintajärjestelmä.

Siemens. 2009. Lahti Aqua Oy järjestelmäkaavio. Lahti Aqua Oy:n sisäinen tiedonhallintajärjestelmä.

### **Lahti Aqua Oy:n sisäiset järjestelmät**

Grafana 2019. Energianmittausjärjestelmän online -seurantajärjestelmä.

Insta Automation Oy. 2019. Kariniemen jätevedenpuhdistamon automaatiojärjestelmä. Ilmastuskompressoreiden ohjaus.

Insta Automation Oy. 2019. Kariniemen jätevedenpuhdistamon huoltokortisto.

Siemens. 2019. Kariniemen jätevedenpuhdistamon talotekniikan automaatiojärjestelmä.

### **Prosessilaitteet**

Defour Lufttechnik. 2019. BL-125 moottori, tyypikilpi.

KOJA. 2019. FGMM 125 puhallin, tyypikilpi.

Sulzer. 2019. HST 9500-200-1-L-4 kompressori, tyypikilpi.

### **Sähköpostiviestit**

Suomela, T. 2019. Laskelmia [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Meiseri, A. Lähetetty 22.3.2019.

## LIITTEET

**LIITE 1** KARINIEMEN JÄTEVEDENPUHDISTAMON PROSESSIKAAVIO

**LIITE 2** LUOLAN ILMANVAIHDON TOIMINTAKAAVIO

**LIITE 3** ENERGIANMITTAUSJÄRJESTELMÄN MITTAUSLAAJUUS

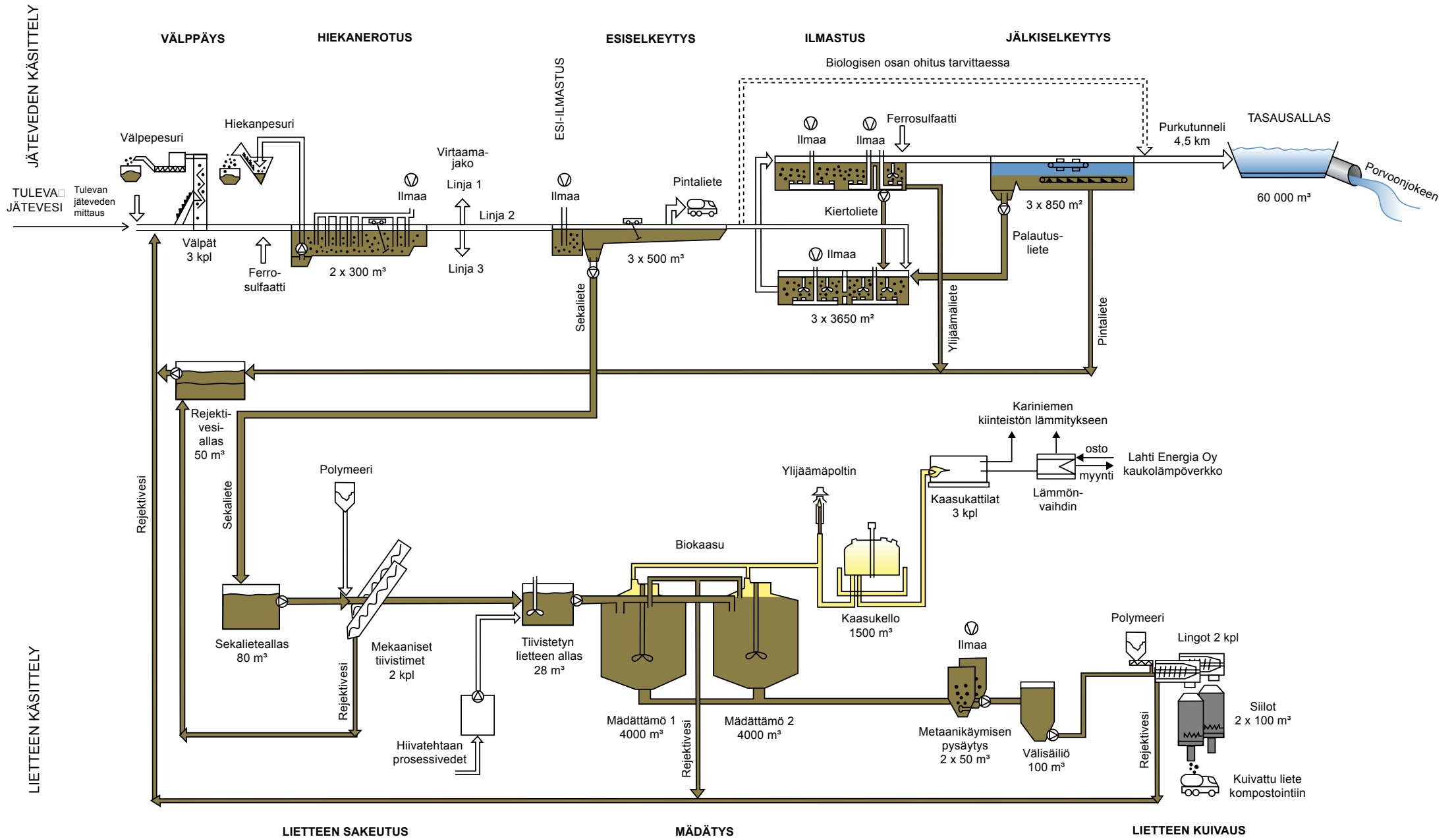
**LIITE 4** TULOILMAPUHALTIMEN LÄHTÖTIEDOT (TÄYSI TEHO)

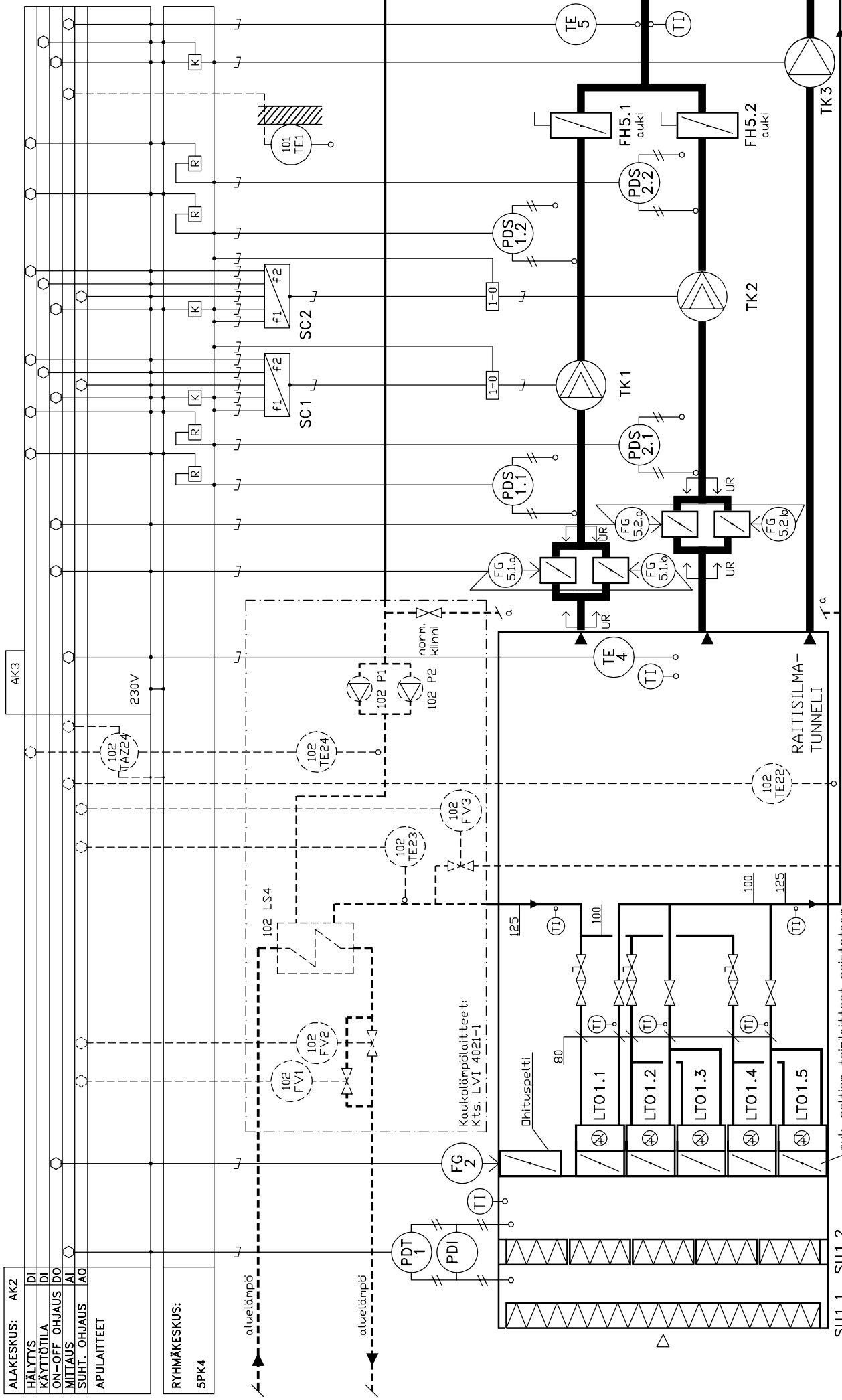
**LIITE 5** TULOILMAPUHALTIMEN LÄHTÖTIEDOT (OSATEHO)



# Lahti Aqua Oy

## Kariniemen jätevedenpuhdistamo





ALAKESKUS:	AK2
HÄLYTYK	DI
KÄYTTÖTILA	DI
ON-OFF OHJAUS	DO
MITTAUS	AI
SUHT. OHJAUS	AO
APULAITTEET	

RYHMÄKESKUS:  
5PK4

alue 1  
 alue 2

Koukalämpölaitteet:  
kts. LVI 4021-1

SU1.1 SU1.2

<b>KONTERMO</b> INSINÖRITOIMISTO Kontermo Oy p. 09-4355250	Pvm: 13.2.2008 Piirft: Pou Suunn: Sip Tark:	Kohde KARINIEMEN JÄTEVEDENPUIHDISTAMO	Rak. 201 LUOLASTON ILMANVAIHTO	Toimintakaavio 201 LUOLASTON ILMANVAIHTO	Suunniteluoda LVI Piirustus nro 4041-1-R	Työnumero 2556 Sivu 1 (3)	Muutos A Muutospvm. 25.7.2008
--	--	--	-----------------------------------	---	---	------------------------------------	--

	Prosessiosa	Kohde	Osa	Syöttävä keskus	Positio	Mittattava laite/keskus	Mittauksen sijainti	Energian mittauskeskus
1	Esi-ilmastus	prosessi	keskus	2PK1	2EK1_M20	2PRK2	2PK1	2EK1
2	Esi-ilmastus	prosessi	laite	2PRK3	PA2_C1_2	C1.2	2PRK3	
3	Esi-ilmastus	prosessi	laite	2PRK3	PA2_C1_3	C1.3	2PRK3	
4	Esikäsitteily	prosessi	keskus	2PRK1	2EK1_M11	1PRK1	2PRK1	2EK1
5	Esikäsitteily	prosessi	keskus	2PK1	2EK1_M14	2PRK1	2PK1	2EK1
6	Etuselkeyty	prosessi	laite	2PK1	2EK1_M22	3H1.1	2PK1	2EK1
7	Etuselkeyty	prosessi	laite	2PK1	2EK1_M23	3H1.2	2PK1	2EK1
8	Etuselkeyty	prosessi	laite	2PRK1	2EK1_M3	1H1.1	2PRK1	2EK1
9	Etuselkeyty	prosessi	laite	2PRK1	2EK1_M4	1H1.2	2PRK1	2EK1
10	Etuselkeyty	prosessi	laite	2PRK3	2EK1_M5	2H1.1	2PRK3	2EK1
11	Etuselkeyty	prosessi	laite	2PRK3	2EK1_M6	2H1.2	2PRK3	2EK1
12	Etuselkeyty	prosessi	laite	2PRK1	PA1_1D1_1	1D1.1	2PRK1	
13	Etuselkeyty	prosessi	laite	2PRK1	PA1_1D1_2	1D1.2	2PRK1	
14	Etuselkeyty	prosessi	laite	2PRK3	PA2_2D1_1	2D1.1	2PRK3	
15	Etuselkeyty	prosessi	laite	2PRK3	PA2_2D1_2	2D1.2	2PRK3	
16	Etuselkeyty	prosessi	laite	2PK1	PA2_3D1_1	3D1.1	2PK1	
17	Etuselkeyty	prosessi	laite	2PK1	PA2_3D1_2	3D1.2	2PK1	
18	Hiekanerotus	prosessi	laite	2PRK2	2EK1_M1	sekoitin 1 1B1	2PRK2	2EK1
19	Hiekanerotus	prosessi	laite	2PRK2	2EK1_M2	sekoitin 2 2B1	2PRK2	2EK1
20	Hiekanerotus	prosessi	laite	2PRK3	PA1_1B1	1B1	2PRK3	
21	Hiekanerotus	prosessi	laite	2PRK3	PA1_2B1	2B1	2PRK3	
22	Hiekanerotus	prosessi	laite	2PRK3	PA2_C1_1	C1.1	2PRK3	
23	Hiekanerotus	prosessi	laite	2PRK3		M2.2	2PRK3	2EK1
24	Hiekanerotus	prosessi	laite	2PRK3		M2.3	2PRK3	2EK1
25	Hiekanerotus	prosessi	laite	2PRK3		M2.4	2PRK3	2EK1
26	Hiekanerotus	prosessi	laite	2PRK3		M2.5	2PRK3	2EK1
27	Hiekanerotus	prosessi	laite	2PRK3		M2.1	2PRK3	
28	Huoltorakennus		laite	13PRK1	9EK1_M1	K15.8	13PRK1	9EK1
29	Huoltorakennus		laite	13PRK1	9EK1_M2	K15.9	13PRK1	9EK1
30	Huoltorakennus	pääsyöttö	keskus	M6	9EK1_M4	PK-V009	PK-V009	9EK1
31	Ilmastus	prosessi	laite	2PK2	2EK2_M6	E1.2	2PK2	2EK2
32	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1/2	4EK1_M1	11	4PRK1	4EK1
33	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1/2	4EK1_M10	312	4PRK1	4EK1
34	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1/2	4EK1_M11	313	4PRK1	4EK1
35	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1/2	4EK1_M12	314	4PRK1	4EK1
36	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1/2	4EK1_M2	112	4PRK1	4EK1
37	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1/2	4EK1_M3	113	4PRK1	4EK1
38	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1/2	4EK1_M4	114	4PRK1	4EK1
39	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1/2	4EK1_M5	211	4PRK1	4EK1
40	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1/2	4EK1_M6	212	4PRK1	4EK1
41	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1/2	4EK1_M7	213	4PRK1	4EK1
42	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1/2	4EK1_M8	214	4PRK1	4EK1
43	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1/2	4EK1_M9	311	4PRK1	4EK1
44	Ilmastus	prosessi	laite	5PK4	5EK1_M14	T1501.2	5PK4	5EK1
45	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1	PA3_1J1	1J1	4PRK1	
46	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1	PA3_1M1	1M1	4PRK1	
47	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1	PA3_2J1	2J1	4PRK1	
48	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK2	PA3_2M1	2M1	4PRK2	
49	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK1	PA3_3J1	3J1	4PRK1	
50	Ilmastus	prosessi	laite	4PRK2	PA3_3M1	3M1	4PRK2	
51	Ilmastus	prosessi	laite	2PK1	PA3_E1_3	E1.3	2PK1	

	Prosessiosa	Kohde	Osa	Syöttävä keskus	Positio	Mittattava laite/keskus	Mittauksen sijainti	Energian mittauskeskus
52	Ilmastus	prosessi	laite	2PK2	PA4_E1_4	E1.4	2PK2	
53	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK1	4EK1_M13	1H4	4PRK1	4EK1
54	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK1	4EK1_M14	2H4	4PRK1	4EK1
55	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK2	4EK1_M15	3H4	4PRK2	4EK1
56	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	5PK4	5EK1_M10	1NOP1	5PK4	5EK1
57	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	5PK4	5EK1_M11	2NOP1	5PK4	5EK1
58	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	5PK4	5EK1_M12	3NOP1	5PK4	5EK1
59	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK1	PA3_1G1	1G1	4PRK1	
60	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK1	PA3_1G2	1G2	4PRK1	
61	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK1	PA3_1H3_1	1H3.1	4PRK1	
62	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK1	PA3_1H3_2	1H3.2	4PRK1	
63	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK1	PA3_1H3_3	1H3.3	4PRK1	
64	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK1	PA3_1H3_4	1H3.4	4PRK1	
65	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK2	PA3_2G1	2G1	4PRK2	
66	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK2	PA3_2G2	2G2	4PRK2	
67	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK2	PA3_2H3_1	2H3.1	4PRK2	
68	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK2	PA3_2H3_2	2H3.2	4PRK2	
69	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK2	PA3_2H3_3	2H3.3	4PRK2	
70	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK2	PA3_2H3_4	2H3.4	4PRK2	
71	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK2	PA3_3G1	3G1	4PRK2	
72	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK2	PA3_3G2	3G2	4PRK2	
73	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK2	PA3_3H3_1	3H3.1	4PRK2	
74	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK2	PA3_3H3_2	3H3.2	4PRK2	
75	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK2	PA3_3H3_3	3H3.3	4PRK2	
76	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK2	PA3_3H3_4	3H3.4	4PRK2	
77	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK1	PA3_H2_1	H2.1	4PRK1	
78	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK1	PA3_H2_2	H2.2	4PRK1	
79	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK1	PA3_H2_3	H2.3	4PRK1	
80	Jälkiselkeyty	prosessi	laite	4PRK1	PA3_H2_4	H2.4	4PRK1	
81	Kuivaus	Kiinteistö	keskus	2PK2	2EK2_M3	6KRK1	2PK2	2EK2
82	Kuivaus	Prosessi	keskus	2PK2	2EK2_M4	6PRK1	2PK2	2EK2
83	Kuivaus	Prosessi	laite	6PRK1	6EK1_M1	1R1	6PRK1	6EK1
84	Kuivaus	Prosessi	laite	6PRK1	6EK1_M2	2R1	6PRK1	6EK1
85	Luola, alkupää	Kiinteistö	laite	2PRK3	2EK1_M10	IK232.3	2PRK3	2EK1
86	Luola, alkupää	Kiinteistö	keskus	2KRK1	2EK1_M16	2KRK2	2KRK1	2EK1
87	Luola, alkupää	Kiinteistö	laite	2PRK3	2EK1_M9	IK232.1	2PRK3	2EK1
88	Luola, alkupää	Kiinteistö	keskus	2PK2	2EK2_M2	2KRK1	2PK2	2EK2
89	Luola, alkupää	Kiinteistö	keskus	PK-V009	9EK1_M7	1KRK1	PK-V009	9EK1
90	Luola, keskiosa	Kiinteistö	keskus	2KRK1	2EK1_M17	3KRK1	2KRK1	2EK1
91	Luola, keskiosa	Kiinteistö	keskus	5KRK1	5EK1_M5	4KRK1	5KRK1	5EK1
92	Luola, keskiosa	Kiinteistö	keskus	5PK4	5EK1_M6	4PRK2	5PK4	5EK1
93	Luola, takaosa	Kiinteistö	keskus	5PK4	5EK1_M7	5KRK1	5PK4	5EK1
94	Lämpö		keskus	PK-V009	9EK1_M10	13KRK2	PK-V009	9EK1
95	Lämpö		keskus	PK-V009	9EK1_M11	13KRK1	PK-V009	9EK1
96	Lämpövoima		keskus	5PK4	5EK1_M9	PK531	5PK4	5EK1
97	Metaanin katkaisu	Prosessi	keskus	2PK1	2EK1_M18	2PRK3	2PK1	2EK1
98	Metaanin katkaisu	Prosessi	keskus	PK-V009	9EK1_M6	13PRK1	PK-V009	9EK1
99	Mädätys		laite	13PRK1	9EK1_M12	1H6	13PRK1	9EK1
100	Mädätys		laite	13PRK1	9EK1_M13	2H6	13PRK1	9EK1
101	Mädätys		laite	13PRK1	9EK1_M14	3H6	13PRK1	9EK1
102	Mädätys	Prosessi	keskus	PK-V009	9EK1_M5	12PRK1	PK-V009	9EK1
103	Mädätys	Kiinteistö	keskus	12KRK1		14KRK1	12KRK1	x14EK1

	Prosessiosa	Kohde	Osa	Syöttävä keskus	Positio	Mitattava laite/keskus	Mittauksen sijainti	Energian mittauskeskus
104	Poistoilma	Poistoilma	laite	2PK2	2EK1_M12	P1.1	2PK2	2EK1
105	Poistoilma	Poistoilma	laite	2PK2	2EK1_M13	P1.2	2PK2	2EK1
106	Poistoilma	Poistoilma	keskus	2KRK1	2EK1_M19	22KRK1	2KRK1	2EK1
107	pääkeskus	pääsyöttö	keskus	M1	2EK1_M21	2PK1	2PK1	2EK1
108	pääkeskus	pääsyöttö	keskus	M3	2EK2_M1	2PK2	2PK2	2EK2
109	pääkeskus	pääsyöttö	keskus	2PK2(M3)	5EK1_M8	5PK4	2PK2(M3)	2EK2
110	Tekninen Vesi		keskus	5PK4	5EK1_M3	5PRK1	5PK4	5EK1
111	Tekninen Vesi		laite	5PRK1		K3.1	5PRK1	5EK1
112	Tiivistämö	prosessi	keskus	2PK1	2EK1_M15	2PRK4	2PK1	2EK1
113	Tiivistämö	prosessi	laite	2PRK3	2EK1_M7	1H5	2PRK3	2EK1
114	Tiivistämö	prosessi	laite	2PRK3	2EK1_M8	2H5	2PRK3	2EK1
115	Tiivistämö			2PRK4	PA2_1H10	1H10	2PRK4	
116	Tiivistämö			2PRK4	PA2_1H8	1H8	2PRK4	
117	Tiivistämö			2PRK4	PA2_1H9	1H9	2PRK4	
118	Tiivistämö			2PRK4	PA2_2H10	2H10	2PRK4	
119	Tiivistämö			2PRK4	PA2_2H8	2H8	2PRK4	
120	Tiivistämö			2PRK4	PA2_3H10	3H10	2PRK4	
121	Tiivistämö			2PRK4	PA2_3H8	3H8	2PRK4	
122	Tiivistämö	prosessi	laite	2PRK3	PA2_4H5_1	4H5.1	2PRK3	
123	Tiivistämö	prosessi	laite	2PRK3	PA2_4H5_2	4H5.2	2PRK3	
124	Tuloilma	Kiinteistö	laite	5PK4	5EK1_M1	201TK1 TP1 Ti513.1	5PK4	5EK1
125	Tuloilma	Kiinteistö	laite	5PK4	5EK1_M2	201TK2 TP2 Ti513.2	5PK4	5EK1
126	Tuloilma	Kiinteistö	keskus	5PK4	5EK1_M4	5KRK2	5PK4	5EK1
127		pääsyöttö	keskus	2PK2	2EK2_M7	3PRK1	2PK2	2EK2
128			keskus	4PRK1	4EK1_M16	4PRK11	4PRK1	4EK1
129			keskus	4PRK2	4EK1_M17	4PRK21	4PRK2	4EK1
130			keskus	5PK4	5EK1_M15	4PRK1	5PK4	5EK1
131			keskus	PK-V009	9EK1_M8	RKH123	PK-V009	9EK1
132			keskus	PK-V009	9EK1_M9	RK009	PK-V009	9EK1

Energy Savings Advisor



Analysis & Recommendations


Your Details

Full Name Anni Meiseri  
 Project Name 201SC2 päivä  
 Email anni.meiseri@lahtiaqua.fi  
 Company Lahti Aqua

Prepared By

Tommi Suomela  
 SolFox Oy




Your Application

Ventilation Without Mechanical Regulation   
 Application Maximum Speed (rpm) 727  
 Application Rated Power (kW) 65  
 Application Rated Torque (Nm)\* 854  
 Electricity Costs (EUR/kWh) 0.0639  
 Operating Time (hours per day) 10  
 Operating Time (days per year) 182

Our Recommendation: Dyneo



Dyneo Savings

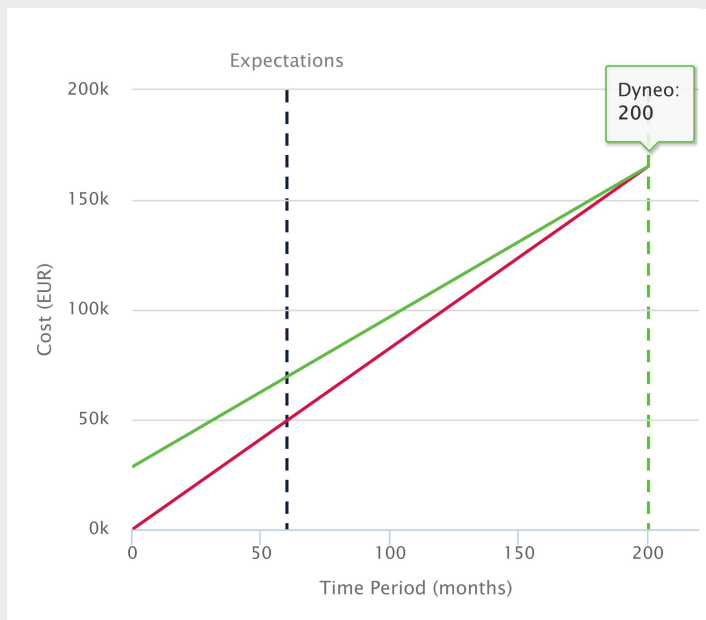
-  Energy Savings (kWh/Year)
-  Payback Period (months)
-  Total Cost of Ownership Savings (15 years) EUR
- Total Cost of Ownership Savings (%) (15 years)

Existing

Energy Savings (kWh/Year)	22831
Payback Period (months)	200
Total Cost of Ownership Savings (15 years) EUR	-2867
Total Cost of Ownership Savings (%) (15 years)	-1.93



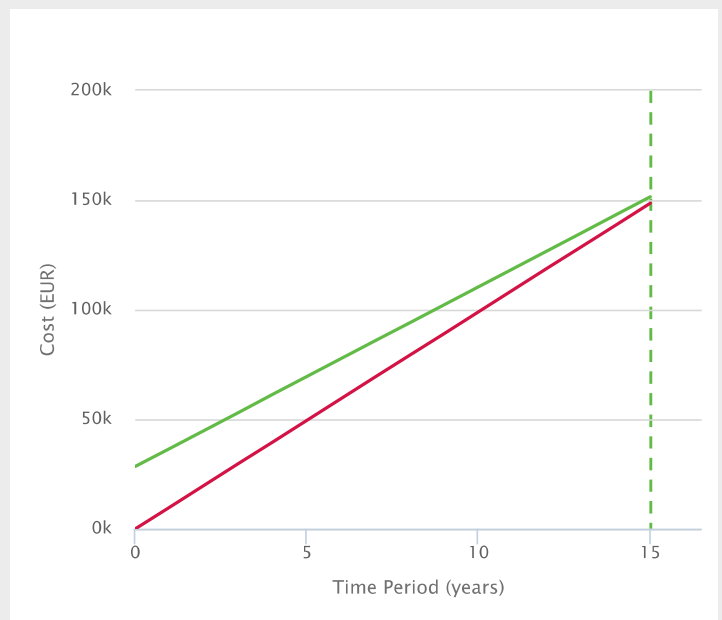
Payback Period



Dyneo : 200 months



Total Cost of Ownership (15 years)




Dyneo : 151500 EUR

## Your Products


Existing

Dyneo


## Drive

	Type	Generic Drive	Powerdrive MD2
	Cost (EUR)		9000

## Motor

	Type	4P Generic < IE1 315S 110kW	1500 LSRPM 315SP1 175kW
	Efficiency Class	< IE1	>IE4
	Power (kW)	110.00	175.00
	Cost (EUR)		8500

## Transmission

	Type	V-Belt	None
	Cost (EUR)		0

## Costs

Other Initial Costs (fixed) (EUR)		11000
Subsidies (fixed) (EUR)		0
<b>Total investment (EUR)</b>		<b>28500</b>
Maintenance Costs (yearly) (EUR)	250	0

## Energy Consumption

<b>(kWh/Year)</b>	<b>151156</b>	<b>128325</b>
-------------------	---------------	---------------



## Energy Performance

# Energy Savings Advisor



## Analysis & Recommendations


### Your Details

Full Name: Anni Meiseri  
 Project Name: 201SC2 yö  
 Email: anni.meiseri@lahtiaqua.fi  
 Company: Lahti Aqua

### Prepared By




Tommi Suomela  
 SolFox Oy

### Your Application

Ventilation Without Mechanical Regulation   
 Application Maximum Speed (rpm): 670  
 Application Rated Power (kW): 57  
 Application Rated Torque (Nm)\*: 812  
 Electricity Costs (EUR/kWh): 0.0639  
 Operating Time (hours per day): 14  
 Operating Time (days per year): 182

### Our Recommendation: Dyneo



Dyneo	Savings	Existing
	Energy Savings (kWh/Year)	28773
	Payback Period (months)	164
	Total Cost of Ownership Savings (15 years) EUR	2829
	Total Cost of Ownership Savings (%) (15 years)	1.55






## Your Products


Existing

Dyneo


## Drive

	Type	Generic Drive	Powerdrive MD2
	Cost (EUR)		9000

## Motor

	Type	4P Generic < IE1 315S 110kW	1500 LSRPM 315SP1 175kW
	Efficiency Class	< IE1	>IE4
	Power (kW)	110.00	175.00
	Cost (EUR)		8500

## Transmission

	Type	V-Belt	None
	Cost (EUR)		0

## Costs

Other Initial Costs (fixed) (EUR)		11000
Subsidies (fixed) (EUR)		0
<b>Total investment (EUR)</b>		<b>28500</b>
Maintenance Costs (yearly) (EUR)	250	0

## Energy Consumption

<b>(kWh/Year)</b>	<b>186864</b>	<b>158091</b>
-------------------	---------------	---------------



## Energy Performance