



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

JÄTEVEDENPUHDISTAMON ENERGIANKÄYTÖN TEHOSTAMINEN

Case: Tampere, Viinikanlahti

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Energia
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Johanna Luomanen

Lahden ammattikorkeakoulu
Ympäristötekniologia

LUOMANEN, JOHANNA:

Jätevedenpuhdistamon energiankäytön
tehostaminen
Case: Tampere, Viinikanlahti

Ympäristötekniologian opinnäytetyö, 58 sivua, 8 liitesivua

Kevät 2015

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tarkastella Tampereen Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon energiansäästömahdollisuuksia, joita voitaisiin toteuttaa tärkeimpien yksikköprosessien toimintaa tehostamalla ja ilman mittavia investointeja. Tuo tavoite oli asetettu siksi, että Tampereelle on tulossa täysin uusi Sulkavuoren keskusjätevedenpuhdistamo arviolta kymmenen vuoden sisällä.

Energiansäästöä halutaan saada aikaan sen vuoksi, että vuoteen 2020 mennessä energiankulutuksen tulisi olla 20 prosenttia pienempi kuin tämänhetkinen kulutus. Kyseinen tavoite on Euroopan Unionin asettama, ja Suomi on sitoutunut siihen. Tarkoituksena oli arvioida kyseisen puhdistamon kannalta energiansäästökeinoja, jotka olisivat mahdollisia toteuttaa käytännössä. Selvityksessä ei kuitenkaan haluttu rajautua pelkästään niihin, vaan tarkasteltiin myös niitä keinoja, joita ei kannattaisi toteuttaa Viinikanlahden puhdistamon tapauksessa muun muassa suuren kustannusvaikutuksen vuoksi.

Työmenetelminä käytettiin kirjallisuustutkimusta, henkilöhaastatteluja Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla ja samantyyppisten jätevedenpuhdistamoiden ratkaisuja sekä niiden energiankulutustietoja. Lisäksi tutkittiin tilastotietoja usean vuoden ajalta ja perehdyttiin laitevalmistajien julkaisemiin tietoihin niiden tuotteista.

Viinikanlahden jätevedenpuhdistamolla on aiemmin tehty joitain energiansäästötoimenpiteitä, mutta toistaiseksi ei ole keskitytty ilmastuksen tehostamiseen. Ilmastus on merkittävin energiankuluttaja tämän tyyppisessä jätevedenpuhdistamossa, joten pienetkin säästöt sillä alueella vaikuttavat käyttökustannuksiin merkittävästi. Ilmastuksen tehostamisratkaisut tähtäävät hapensiirron parantamiseen aktiivilietealtaassa. Jätevedenpuhdistamossa toimintavarmuus on tärkeää, joten energiansäästötoimenpiteet täytyy arvioida huolellisesti.

Asiasanat: energiatehokkuus, jätevedenpuhdistamo, ilmastus, tulopumppaus, biokaasu, aktiiviliete

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Environmental Technology

LUOMANEN, JOHANNA: Energy efficiency in wastewater
treatment plant
Case: Tampere, Viinikanlahti

Bachelor's Thesis in environmental engineering, 58 pages, 8 pages of appendices

Spring 2015

ABSTRACT

The subject of this thesis was to evaluate the energy saving opportunities of the Tampere Viinikanlahti wastewater treatment plant, which could be carried out by enhancing the function of the most important unit processes and without big investments. That target had been set, because there is going to be a totally new central wastewater treatment plant in Sulkavuori in Tampere within ten years.

Energy saving is necessary because in year 2020 energy consumption has to be 20 per cent lower than the current consumption. That goal is set by the European Union and Finland has committed to it. The purpose of this study was to evaluate the energy saving methods in the wastewater treatment plant in question, which would be possible to carry out in practice. In this clarification was examined also those methods, which are not reasonable in the case of Viinikanlahti wastewater treatment plant were examined, for example due to a big cost effect. The work consisted of literature study, person interviews in the Viinikanlahti wastewater treatment plant and of evaluating the solutions in similar types of wastewater treatment plants and their energy consumption data. Additionally, statistics during several years were analyzed and information published by equipment manufacturers was studied.

Earlier some energy saving actions were done but so far the focus has not been on enhancing aeration. Aeration is the most significant energy consumer in a wastewater treatment plant of this type so even minor savings in that area have a remarkable effect on the operating costs. The improvement methods for the aeration aim at better oxygen transportation in the active sludge tank. In a wastewater treatment plant operational reliability is important and based on that energy saving actions must be evaluated carefully.

Key words: energy efficiency, wastewater treatment plant, aeration, pump lift station, biogas, active sludge

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | ENERGIATEHOKKUUS | 2 |
| 3 | JÄTEVEDENPUHDISTAMON TOIMINNASTA | 3 |
| 4 | VIINIKANLAHDEN JÄTEVEDENPUHDISTAMO | 5 |
| 4.1 | Yleistä puhdistamosta | 5 |
| 4.2 | Tehdyt uudistukset ja nykytilanne | 6 |
| 5 | VIINIKANLAHDEN PUHDISTAMON LAITTEISTOA | 9 |
| 5.1 | Tulopumput | 9 |
| 5.2 | Sekalietteen lämmönvaihdin | 10 |
| 5.3 | Mädättämön sekoittimet | 11 |
| 5.4 | Lietteenkuivauslingot | 12 |
| 5.5 | Biokaasumoottori | 14 |
| 5.6 | Ilmastusaltaiden potkurisekoittimet | 15 |
| 5.7 | Kompressorit | 15 |
| 6 | JÄTEVEDENPUHDISTUKSEN ENERGIANKULUTUS | 17 |
| 6.1 | Viinikanlahden kulutustietoja ja prosessikohtaisia tietoja | 17 |
| 6.2 | Tulopumppauksen energiansäästökohteet | 19 |
| 6.3 | Ilmastusprosessin energiansäästökohteet | 21 |
| 6.4 | Lietteen kuivauksen ja mädätyksen energiansäästökohteet | 24 |
| 7 | VASTAAVIEN PUHDISTAMOIDEN RATKAISUJA | 26 |
| 7.1 | Vertailupuhdistamot | 26 |
| 7.2 | Lahden Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamo | 26 |
| 7.3 | Jyväskylän Nenäinniemen jätevedenpuhdistamo | 27 |
| 7.4 | Kuopion Lehtoniemen jätevedenpuhdistamo | 27 |
| 7.5 | Espoon Suomenojan jätevedenpuhdistamo | 28 |
| 7.6 | Oulun Taskilan jätevedenpuhdistamo | 30 |
| 8 | TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA VIINIKANLAHTEEN | 32 |
| 8.1 | Lietteen mittauksen optimointi | 32 |
| 8.2 | Toimenpide-ehdotuksia tulopumppaukseen | 33 |
| 8.3 | Toimenpide-ehdotuksia ilmastukseen | 35 |
| 8.3.1 | Ilmastintyyppien vaikutus | 36 |

| | | |
|-------|---|----|
| 8.3.2 | Typenpoiston tehostaminen uudella tekniikalla | 37 |
| 8.3.3 | Tulevan veden syöttäminen biologiselle laitokselle | 39 |
| 8.3.4 | Kiintoaineen mittaus aktiivilietealtaassa | 39 |
| 8.3.5 | Ilmastuslautasten pinta-alan kasvattaminen | 40 |
| 8.4 | Toimenpide-ehdotuksia lietteen käsittelyyn | 43 |
| 8.4.1 | Lietteen tiivistäminen ennen mädätystä | 43 |
| 8.4.2 | Biokaasun hyödyntämismahdollisuudet | 45 |
| 8.4.3 | Termofiilinen prosessi | 47 |
| 8.5 | Lämmön talteenottojärjestelmä puhdistetusta jätevedestä | 48 |
| 9 | YHTEENVETO | 49 |
| 9.1 | Tulosten yhteenveto | 49 |
| 9.2 | Työn haasteet | 50 |
| | LÄHTEET | 51 |
| | LIITTEET | 58 |

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli Tampereen Vesi, joka on yksi kaupungin liikelaitoksista. Kohteena oli Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo. Lähitulevaisuudessa lainsäädännölliset ja laaja-alaisemmat ohjauskeinot energiansäästämiseen tulevat kattamaan myös jäteveden puhdistamisen energiankulutuksen, joten kyseisen jäteveden puhdistamon intresseissä on varautuminen tiukkeneviin määräyksiin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada mahdollisimman useita energiaa säästäviä toimenpide-ehdotuksia kirjalliseen muotoon sekä pohtia niiden investointien kannattavuutta kyseisen jätevedenpuhdistamon kannalta. Vuonna 2011 puhdistamolle oli tehty energiakartoitus Schneider Electricin toimesta, mikä toimi lähtökohtana työlle.

Tarkoituksena oli tutustua laitoksen prosessiin sekä laitokselle tehtyyn energiakartoitukseen ja selvittää sitä kautta ne yksikköprosessit, joissa on mahdollista saavuttaa energiansäästöä. Myös ne toimenpide-ehdotukset, joita ei olisi järkevää toteuttaa laitoksella, kirjattiin perusteluineen ylös.

Edellä mainitun energiakartoituksen lisäksi opinnäytetyön tiedot ovat peräisin kirjallisuustutkimuksista, vertailtujen jätevedenpuhdistamoiden antamista materiaaleista sekä työntekijöiden haastatteluista. Tärkeänä lähteenä työssä oli myös puhdistamon Wahti-raportointiohjelma, josta löytyivät laitoksen kulutustiedot laitekohdittain jopa tuntitasolla sekä laitteiden tarkemmat tiedot, kuten teho.

2 ENERGIATEHOKKUUS

Energiatehokkuusdirektiivi, joka on tullut voimaan vuoden 2012 lopulla, säätää energian tuotantoa ja käyttöä sekä julkisella että yksityisellä sektorilla. Kyseinen direktiivi korvasi aiemman energiapalveludirektiivin sekä sähkön ja lämmön yhteistuotantoa koskevan direktiivin. Energiatehokkuusdirektiivissä määritelty kansallinen energiatehokkuustavoite edellyttää toimenpiteitä, jotka saavat aikaan sekä energiansäästöä että energiankäytön tehostamista. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2015.)

Laki uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön tuotantotuesta tuli voimaan vuonna 2011, mikä tarkoittaa, että biokaasulla tuotetulle sähkölle, joka syötetään verkkoon, taataan minimiostohinta 83,5 €/MWh. Jos myös lämpö hyötykäytetään, niin maksetaan 50 €/MWh lämpöpremiota eli lisätukea, jolloin kokonaisyötysuhteen on oltava yli 50 % ja yli 1 MW laitoksilla yli 75 %. Paras tuotto arvioidaan olevan biokaasulla, kun se hyödynnetään ajoneuvopolttoaineena, jolloin esimerkiksi jätevedenpuhdistamon on kannattavinta investoida biokaasun jalostuslaitteistoon. Seuraavaksi kannattavinta on hyödyntää biokaasu sähkön ja lämmön tuotannossa. (Suomen ympäristökeskus 2011, 14-15.)

Jätevedenpuhdistamoille on olemassa tehokkuutta mittaava arvo, josta käytetään lyhennettä KPI (Key Performance Indicator). Viinikanlahden puhdistamolle on määritelty KPI-arvoksi 41 kWh/asukasvastineluku/vuosi. Asukasvastinelukuna käytetään henkilölukumääräistä puhdistuskapasiteettia, joka on Viinikanlahdelle 200 000. Tyypillisesti KPI-luku on yli 100 000 vastineluvun laitokselle 32 kWh ja alle 10 000 vastineluvun laitokselle 44 kWh, joten Viinikanlahden KPI-arvoa voidaan pitää suhteellisen heikkona. (Saarela ym. 2013.)

3 JÄTEVEDENPUHDISTAMON TOIMINNASTA

Jätevedenpuhdistusprosessi koostuu useista eri yksikköprosesseista, joita hieman eri tavalla yhdistelemällä on mahdollista saada toisistaan poikkeavia laitoskokonaisuuksia. Puhdistamo voi olla mekaaninen, biologinen, kemiallinen tai jokin näiden yhdistelmä, riippuen siitä mikä laitoksen keskeinen puhdistusprosessi on. Koska osaprosesseja on useita, niin puhdistuksessa tarvitaan myös erilaisia resursseja, kuten aerobisessa biologisessa vaiheessa ilmaa ja energiaa. Prosessissa muodostuville sivutuotteille, kuten lietteelle ja kaasupäästöille on oltava jokin loppusijoituspaikka, esimerkiksi kaasun hyödyntäminen laitoksen omaan käyttöön ja lietteen kuljettaminen maanparannusaineeksi. (Kettunen ym. 2006, 1.)

Laitokselle tulevan jäteveden määrä ja laatu ovat oleellisia asioita puhdistamon toiminnan kannalta, sillä laitoksen mitoitus perustuu niihin. Myös veden virtaamien ajalliset vaihtelut ovat laitoksen kannalta haasteellisia. (Kettunen ym. 2006, 35.) Keskiverto puhdistamo käsittelee asumisjätevettä sekä jonkin verran teollisuusjätevesiä. Yleensä asumisjätevesien, joka koostuu talouksien käyttövedestä, osuus on yleensä noin 80-90 % ja teollisuusjätevesien osuus on kaupungista riippuen 10-30 %. (Karttunen 1999, 139-141.) Suuria kuormitushuippuja laitoksille aiheuttavat teollisuuden satunnaiset jätevedet, sillä tasainen virtaus laitokselle on prosessien toimivuuden kannalta paras vaihtoehto (Karttunen 1999, 49, 138).

Puhdistamolle tulevasta jätevedestä erotetaan ensimmäisenä kiintoaine välppäyksen avulla. Ensimmäisessä välppäysvaiheessa erotetaan isoimmat kiintoainepartikkelit ja jälkimmäisessä hienovälppäyksessä pienemmät kiintoaineet. Seuraavana vaiheena on yleensä joko hiekan- tai öljynerotus tai molemmat sekä jäteveden esiselkeytys, joka yleisimmin toteutetaan laskeutuksena. Esiselkeytyksen jälkeen vesi puhdistetaan biologisessa vaiheessa esimerkiksi aktiivilietemenetelmällä ilmastusaltaissa, joissa mikrobit suorittavat veden puhdistamisen. Ilmaa syötetään altaisiin, koska mikrobit vaativat happea elintoiminnoilleen ja myös siksi, että liete pysyy jatkuvassa liikkeessä eikä painu altaan pohjaan. Syntynyt biomassa erotetaan vedestä jälkiselkeytyksessä, joka on

monesti puhdistuksen viimeinen vaihe. Syntynyt liete käsitellään yleensä mädättämällä. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 517; Kettunen ym. 2006, 39,60,65; Salmela & Kymäläinen 2014, 2.)

Jätevedenpuhdistamolla tuotetulla biokaasulla on monta mahdollista hyödyntämistapaa, sillä se voidaan käyttää laitoksella sähkön ja lämmöntuotantoon esimerkiksi kaasugeneraattorin avulla tai syöttää se maakaasuverkkoon. Vaihtoehtona puhdistamolla on myös hyödyntää biokaasu ajoneuvopolttoaineena joko myymällä kaasu jalostettavaksi tai jalostaa se itse. Kaasun polttaminen kaasukattilassa, johon on yhdistetty lämmön talteenotto, on yksinkertaisin tapa hyödyntää tuotettu biokaasu. Ongelmana voi tällöin olla lämmön liikatuotanto, sillä laitoksella ei välttämättä pystytä hyödyntämään kaikkea lämpöenergiaa. (Suomen ympäristökeskus 2011, 14.)

4 VIINIKANLAHDEN JÄTEVEDENPUHDISTAMO

4.1 Yleistä puhdistamosta

Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo rakennettiin vuonna 1972 mekaaniseksi puhdistamoksi, ja se on suurin neljästä Tampereen alueella toimivasta puhdistamosta. Muut puhdistamot toimivat Raholassa sekä Viinikanlahden valvomosta seurattavat pienpuhdistamot Palsossa ja Kämmenniemessä. Laitoksella otettiin kemiallinen saostus käyttöön 1975 ja vuonna 1982 valmistui mekaanisen ja kemiallisen puhdistuksen lisäksi biologinen vaihe, jossa käytetään aktiivilietemenetelmää. (Tampereen Vesi 2012.)

Biologisessa prosessissa oli alun perin kuusi ilmastuslinjaa, mutta myöhemmin siihen rakennettiin kaksi linjaa lisää (Ilomäki 2014). Noin kahdeksan tuntia kestävässä biologisessa puhdistusvaiheessa poistetaan vedestä orgaanisia ja epäorgaanisia aineita bakteereiden avulla. (Tampereen Vesi 2012.) Laitoksen puhdistusprosessi on kuvattu kokonaisuudessaan liitteessä 1.

Vuorokausivirtaama laitokselle on noin 60 000 m³ riippuen vuorokauden vaihteluista, joten vuodessa noin 22 miljoonan jätevesikuution puhdistaminen vie huomattavan määrän energiaa. Lisäksi Viinikanlahteen tulevat jätevedet kulkevat puhdistusprosessin läpi noin vuorokauden aikana. Laitos käsittelee noin 80 % talousalueen jätevesistä. (Tampereen Vesi 2014.)

Koska Tampereen Vedellä on käytössä sertifioitu ympäristöjärjestelmä ISO 14001, joka on ohjannut puhdistamon toimintaa vuodesta 2002 alkaen, tulee puhdistamon noudattaa standardin vaatimuksia muun muassa ympäristönsuojelusta. Lisäksi Tampereen Vedellä on ollut vuodesta 2012 asti käytössä laatujärjestelmä ISO 9001, joka sisältää myös ympäristöjärjestelmän. Laatujärjestelmän tarkoituksena on ollut kehittää Tampereen Veden toimintaa (Tampereen Vesi 2012b.)

Viinikanlahden puhdistamolla on myös käytössä typpiyhdisteiden poisto DN-prosessilla eli denitrifikaatio- ja nitrifikaatiomenetelmillä. Denitrifikaatio-nitrifikaatio -prosessi otettiin käyttöön vuonna 2011 ensimmäisiin

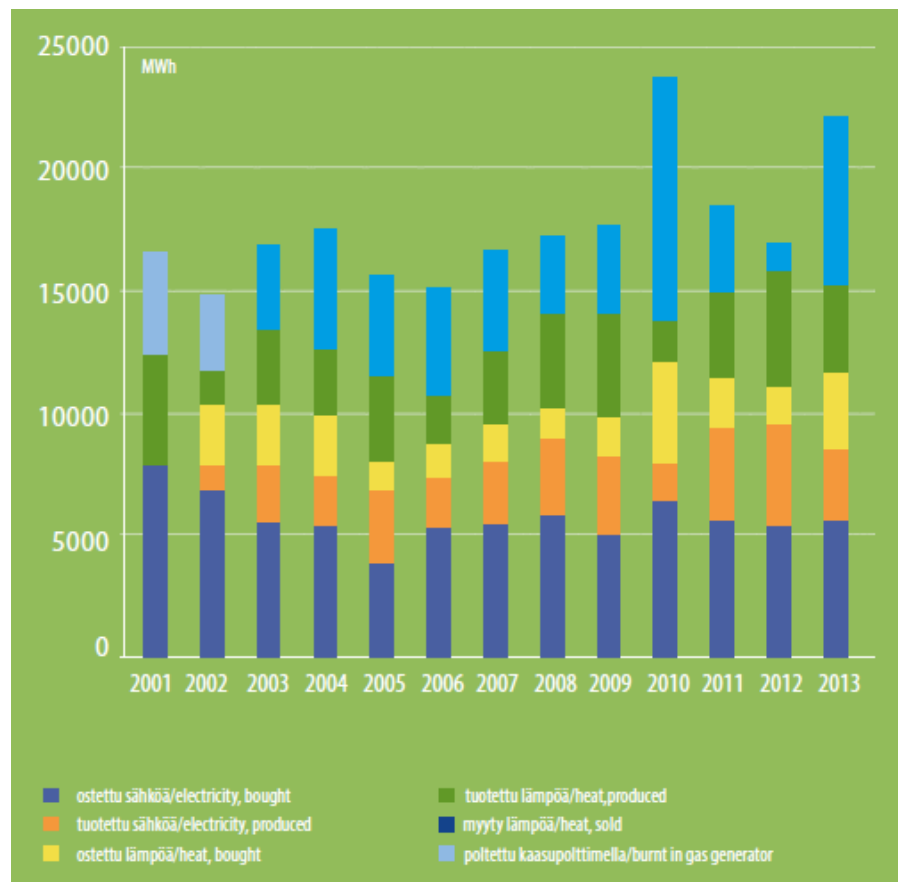
ilmastuslinjoihin. Nykyään DN-prosessi on käytössä kesäkuukausien ajan, eli toukokuulta lokakuulle, sillä puhdistamolla on velvollisuus parhaaseen mahdolliseen kokonaistypenpoistoon. DN-prosessin ajaksi linjojen kahdesta ensimmäisestä lohkoista otetaan ilmansyöttö pois päältä, joten kompressoreiden energiankulutus vähenee. Hapettomissa lohkoissa on tällöin käytössä vain sekoittimet, joiden energiankulutus on suhteellisen vähäistä. Denitrifikaatio tapahtuu prosessin hapettomissa lohkoissa ja nitrifikaatio hapellisissa lohkoissa. (Paronen 2012, 7, 26-28.)

4.2 Tehdyt uudistukset ja nykytilanne

Viinikanlahteen on tehty myös uusi tulopumppaamo ja aiemmin käytössä olleet kolme ruuvipumppua korvattiin vuonna 2011 kuudella hyötysuhteeltaan huonommalla keskipakopumpulla, koska vanhaa ruuvipumppausta ei ollut mahdollista uusida samanlaiseksi ja vanha tekniikka tuli elinkaarensa päähän. Vaikka energiatehokkuus ja toimintavarmuus yleensä sopivatkin yhteen, niin jätevedenpuhdistuksessa ei aina pystytä priorisoimaan energiatehokkuutta vaan täytyy huomioida mahdollisia rajoittavia tekijöitä. Laitoksen toimintavarmuus tarkoittaa sitä, että vesistöihin ei pääse puhdistamatonta jätevettä. (Tampereen Vesi 2014.)

Vaikka Viinikanlahdelle on tehty muutama vuosi sitten energiakartoitus, jossa selvitettiin laitoksen kaikki energiavirrat, niin mahdollisia investointeja punnitaan huolella, sillä jätevedenkäsittely tullaan keskittämään uuteen kallionsisäiseen keskuspuhdistamoon Sulkavuoreen noin kymmenen vuoden kuluessa.

Viinikanlahden energijakauma vuosien 2001-2013 aikana näkyy kuviosta 1. Pumppauksessa ja uusien pumppujen hankinnassa otetaan huomioon muun muassa se, onko pumppu päällä vuorokauden ja vuoden ympäri vai muutaman tunnin vuorokaudesta, ja määritetään sitä kautta pumpun teho. Energiansäästöä ajatellen, jos pumppu ei ole päällä merkittäviä aikoja, niin varsinainen energiansäästö jää melko pieneksi. (Tampereen Vesi 2014.)



KUVIO 1. Viinikanlahden energiajakauma (Tampereen Vesi 2013)

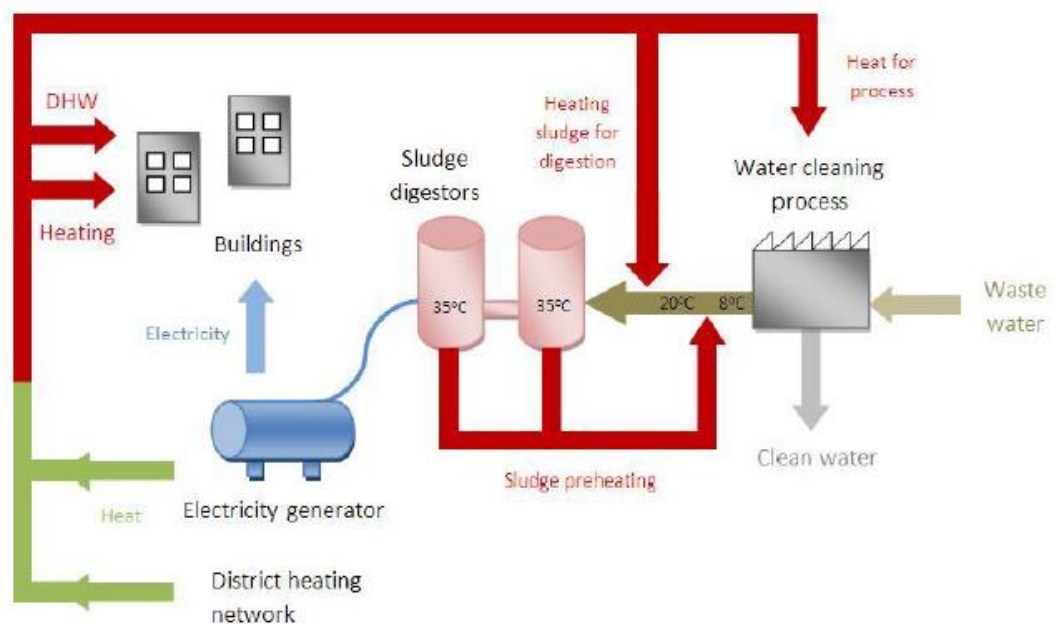
Viinikanlahdessa on uusittu vuosina 2010 ja 2011 molempien mädättämöiden sekoitus. Aikaisemmin sekoitus tapahtui kaasusekoituksena, ja se korvattiin mekaanisesti tapahtuvaksi. Sekoituksen uusimisen tarkoituksena oli sekoituksen tehostaminen ja mädättämöön syötettävän lietteen sakeuden nostaminen sekä sitä kautta kaasuntuotannon lisääminen. (Tampereen Vesi 2012b.) Sähkön ja lämmön suhteen Viinikanlahti on noin 50-prosenttisesti omavarainen, sillä puhdistamolla on ollut käytössä kaasumootorigeneraattori, jolla jätevesilietteen mädätyksessä syntyvä biokaasu muunnetaan sähköksi ja lämmöksi laitoksen omaan käyttöön. Ylijäämäbiokaasu, jota ei pystytä hyödyntämään laitoksella, poltetaan ylijäämäkaasupolttimella. (Tampereen Vesi 2014.)

Kaasun hyötykäyttöaste oli vuonna 2012 noin 94,0 % ja silloin sähkön omavaraisuusaste oli 43,5 % ja lämpöenergian omavaraisuusaste 78,9 %. (Tampereen Vesi 2012b.) Hyötykäyttöaste pieneni huomattavasti seuraavana

vuonna, sillä se oli vain 59,0 % johtuen kaasumoottorille tehdyistä huolto- ja korjaustoimenpiteistä (Tampereen Vesi 2013).

Viinikanlahdella on myös maakaasuliittymä, mutta maakaasua ei tällä hetkellä hyödynnetä laitoksella. Alun perin tarkoituksena oli, että maakaasu sekoitettaisiin mädätyksestä saatavan biokaasun sekaan, jolloin laitoksella olisi mahdollista lisätä muun muassa sähköenergian tuotantoa. (Oksanen 2015.) Viinikanlahden puhdistamon tuottaman ylijäämäsähkön purkaminen kaupungin verkkoon ei ole kuitenkaan kannattavaa, sillä laitoksen siitä saama korvaus on suhteellisen pieni. (Koivusaari & Piriou 2013).

Lämpöä tuotetaan pääasiassa sähköntuotantoprosessin lauhdelämmöstä kuvion 2 mukaan, ja sitä syntyy parhaillaan koko kiinteistön tarpeiksi, jolloin ostettua kaukolämpöenergiaa ei tarvita kuin nimellisesti. Tilanne on epädullinen kaukolämmöntarjoajalle, sillä puhdistamo ei jäähdytä kaukolämpövettä riittävästi. Kiinteistön käyttöön on mitoitettu 3000 kW lämmönsiirrin, jonka läpi on pidettävä jatkuvaa virtaamaa, etteivät suuret lämmönvaihtelut aiheuta tiivistimien vahingoittumista. Jatkuva virtaama lämmönsiirtimien läpi tarkoittaa myös sitä, että lämpöenergiaa siirtyy verkostoon tarpeettomasti. (Koivusaari & Piriou 2013.)



KUVIO 2. Viinikanlahden lämmitysjärjestelmä (Koivusaari & Piriou 2013)

5 VIINIKANLAHDEN PUHDISTAMON LAITTEISTOA

5.1 Tulopumput

Jäteveden tulopumppaus Viinikanlahden laitokselle tehdään kahdella noin 700 l/s pumppaavilla tyhjennyspumpuilla ja lisäksi kuudella pinta-asenteisella Grundfosin valmistamalla keskipakopumpulla, jotka esitetään kuvissa 1 ja 2. Tyhjennyspumput ovat käynnissä kello 22-07 välisenä aikana. Pumppujen vedennostokorkeus on noin kahdeksan metriä sekä keskipakopumppujen yhteisvirtaama on suurimmillaan 3,0 m³/s. (Paronen 2012, 13; Oksanen 2015.) Lisäksi ainoastaan yhdellä pumpulla on taajuusmuuttaja, joka säätelee pumpun pyörintänopeutta. Pumput käynnistyvät pinnankorkeuden vaihteluiden mukaan, jolloin tulokanavan pinnan noustessa virtauksen lisääntymisen seurauksena, pumppuja lähtee tarvittava määrä käyntiin. Pinnan laskiessa pumppuja kytkeytyy pois päältä. Pumpuille on asetettu tietty käynnistymisjärjestys. (Oksanen 2015.) Tavallisesti pumppuja on päällä kaksi tai kolme yhtä aikaa (Wahti 2015).



KUVA 1. Tulopumppaamo.



KUVA 2. Grundfos-keskipakopumppu

Pumppujen taajuusmuuttajien tarkoituksena on säädellä portaattomasti moottorin pyörimisnopeutta sekä vääntömomenttia. Taajuusmuuttajat säästävät energiaa,

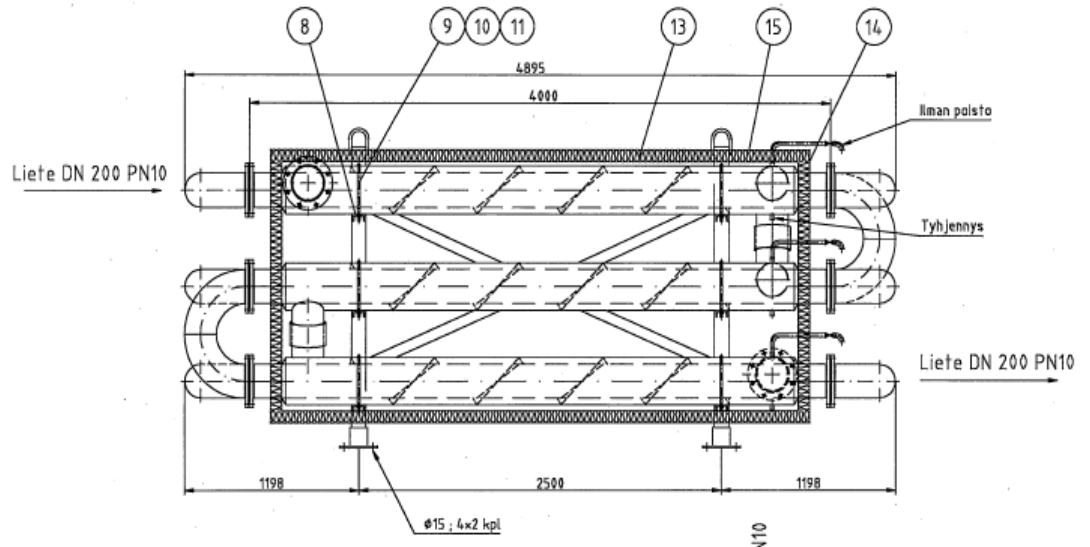
sillä ne pystyvät muuttamaan sähkömoottorin nopeutta ja siten ohjaamaan koneeseen syötettävää tehoa. (ABB 2015).

5.2 Sekalietteen lämmönvaihdin

Viinikanlahden puhdistamolla lietteen lämmittämiseen käytetään kahta kuvassa 4 olevaa Alfa Lavalin sekalietteen lämmönvaihdinta, jotka ovat tyypiltään putkilämmönvaihtimia. Yhden lämmönvaihtimen teho on 634 kW ja lietettä virtaa sen läpi 180 m³/h. Lämmönvaihtimen ulkomitat ovat 4900x2000x2040 mm ja niiden eristyksessä on käytetty mineraalivillaa sekä peltiä. (Alfa Laval 2008.) Kuvioista 3 selviää putkilämmönvaihtimen rakenne.



KUVA 3. Sekalietteen lämmönvaihdin.

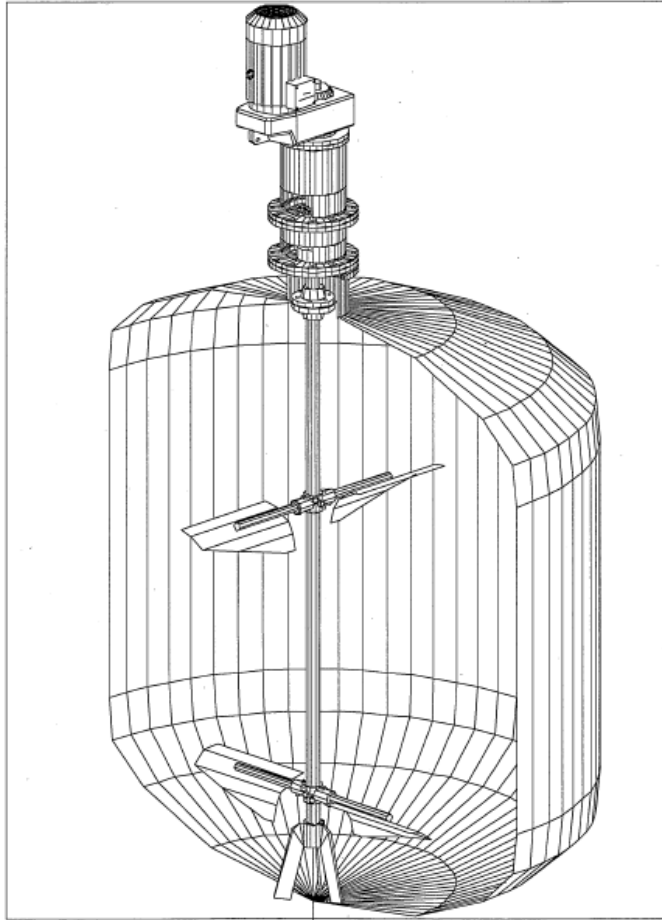


KUVIO 3. Sekalietteen lämmönvaihtimen rakenne (Alfa Laval 2008)

Lämmönvaihtimien tarkoituksena on lämmittää syöttölietettä, joka otetaan mädättämöstä ja kierrätetään lämmönvaihtimien kautta takaisin mädättämöön. Liete lämmitetään noin 35 asteeseen. (Fred 2013.) Lisäksi patteriverkoston menovesilämpötilaa säädetään ulkolämpötilan mukaan. Pääverkoston menoveden lämpötila pidetään vakiona. Myös kaukolämmön paluuveden lämpötilaa rajoitetaan niin, ettei se nouse yli säädetyn rajan. (Alfa Laval 2008.)

5.3 Mädättämön sekoittimet

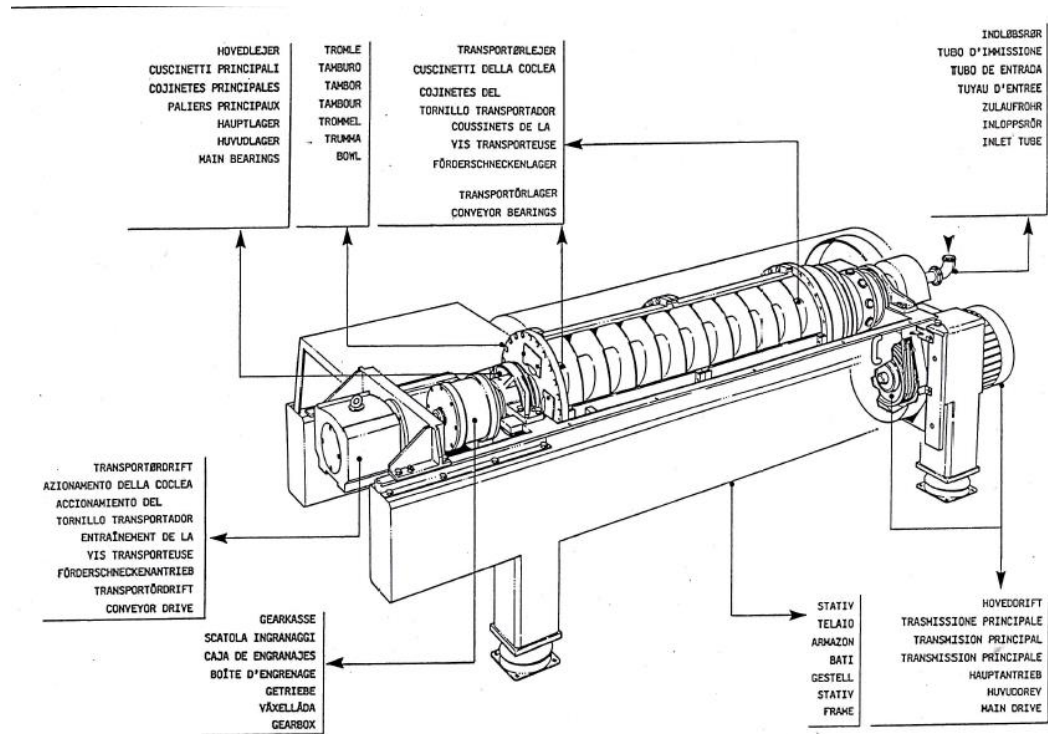
Mädättämöissä lietteen sekoittamiseen käytetään kuvion 4 tyyppisiä Japrotek Oy Ab:n Jamix-tyyppisiä sekoittimia, joiden moottorien teho on 15 kW. Sekoittimet ovat energiatehokkaampia kuin aikaisemmin käytössä ollut kaasusekoitus, eikä sekoittimien energiankulutus ole kovin merkittävää, sillä moottorit ovat suhteellisen pienitehoisia. (Japrotek Oy Ab 2010.)



KUVIO 4. Mädättämön sekoitus (Japrotek Oy Ab 2010)

5.4 Lietteenuivauslingot

Mädätyksen jälkeen liete kuivataan kolmella dekanterilingolla (DSNX 4565), jotka ovat teholtaan 45 kW/kpl (Alfa Laval 2015). Kuvion 5 dekanterilingot ovat jatkuvatoimisia laskeutuslinkoja, joiden erotusvoima voi olla noin 2000-5000 -kertainen painovoimaan verrattuna, joten se soveltuu parhaiten lietteelle kun vaaditaan korkeaa kiintoainepitoisuutta (Hakkarainen 2011, 34). Viinikanlahdessa on tavallisesti kaksi linkoa päällä yhtä aikaa ja yksi linko toimii varalinkona (Oksanen 2015).



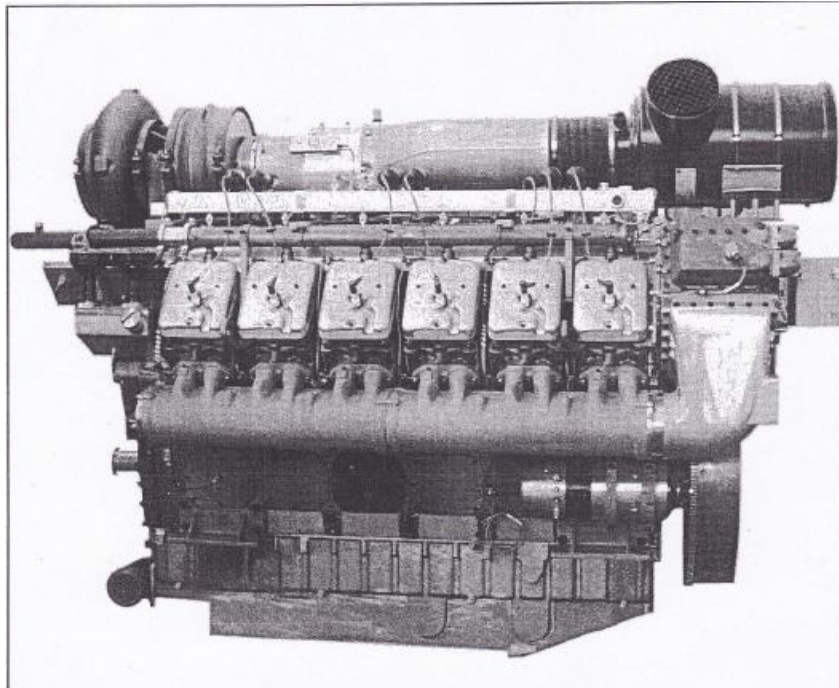
KUVIO 5. Dekantterilingon rakenne (Alfa Laval 2015)

Sähkömoottori käyttää linkoa siten, että moottorin akselilla on hihnapyörä, jolta voima välittyy rummun akselille kiilahihnavälityksen avulla. Lingon moottori painaa noin 350 kg. (Alfa Laval 2015.) Lingoissa on pyörivän rumpuosan sisällä rummun nopeudesta hiukan poikkeavalla nopeudella pyörivä ruuvikuljetin, joka siirtää keskipakovoiman erottaman lietteen pois rummun kartiomaisen pään kautta, kun taas vesi poistuu rummun vastakkaisesta päästä (Karttunen 1999, 182).

Lingoilla saavutettu tulos riippuu käytettyjen apuaineiden määrästä ja laadusta. Kiintoainepitoisuus on suhteellisen helppoa säätää lingoilla. Vaikka lingoilla ei välttämättä päästä parhaisiin kuivaustuloksiin niin sen etuina ovat pieni tilantarve, helppo säädettävyys sekä työhygieenisesti edullinen ja helppo rakenne. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 568.) Haittapuolena lingoissa ovat suhteellisen suuret apuainekustannukset, sillä linkousprosessi vaatii flokkulointiaineita eli polymeereja, joiden avulla kiintoainehiukkaset sitoutuvat toisiinsa isommiksi hiutaleiksi, jotka on helpompi poistaa vedestä (Hakkarainen 2011, 36-37).

5.5 Biokaasumoottori

Viinikanlahdella tuotettu biokaasu muunnetaan sähköksi kuvion 6 mukaisella Deutz-biokaasumoottorin (TBG620V12) avulla. Kaasumoottorissa on 12 sylinteriä V-muodossa. Kaasumoottorin tuottama keskimääräinen sähköenergian määrä vuorokaudessa on 600-700 kWh. (Wahti 2015.) Moottorin teho on 1050 kW/1500 1/min. Tuolla pyörintänopeudella kaasunkulutus on 93,1 m³/h paineen ollessa 2,095 baria. Liittessä 6 on lisää kaasumoottorin arvoja. (Deutz 2001.)

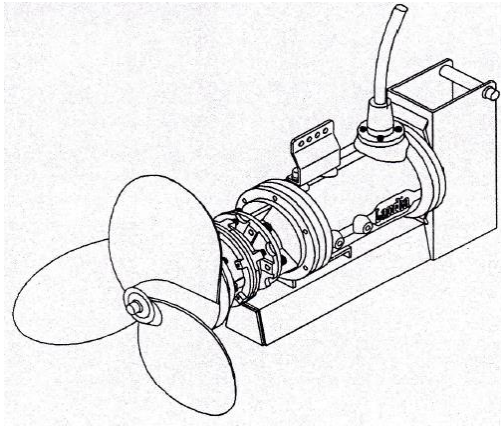


KUVIO 6. Viinikanlahden biokaasumoottori (Deutz 2001)

Kaasumoottorissa tavallisen polttomoottorin tekemä mekaaninen työ muutetaan sähköksi generaattorin avulla. Sähköntuoton hyötysuhde kaasumoottoreilla on yleensä noin 35–40 %, ja lämmön ja sähkön yhteistuotannossa voidaan pakokaasujen sisältämästä lämmöstä ottaa talteen noin jopa 70 % kokonaishyötysuhteen ollessa tällöin 75–80 %. (Anttonen 2010, 20.) Kaasumoottori on ollut käytössä Viinikanlahdessa vuodesta 2002 lähtien (Oksanen 2015).

5.6 Ilmastusaltaiden potkurisekoittimet

Biologisen puhdistuksen ilmastusaltaissa on käytössä Landia-malliset POP-I -potkurisekoittimet, joiden yksikköteho on 2,2 kW (Oy HV-Turbo Suomi Ab 2011). Kuvion 7 tyyppisiä sekoittimia käytetään altaiden ensimmäisessä ja toisessa lohossa. Kesäisin, kun laitoksella on denitrifointi käytössä, kahdessa ensimmäisessä lohossa ei ole ilmastusta käytössä vaan ainoastaan sekoitus, jotta denitrifikaatioprosessi tehostuisi. (Ilomäki 2014.)



KUVIO 7. Ilmastusaltaan potkurisekoitin (Oy HV-Turbo Suomi Ab 2011)

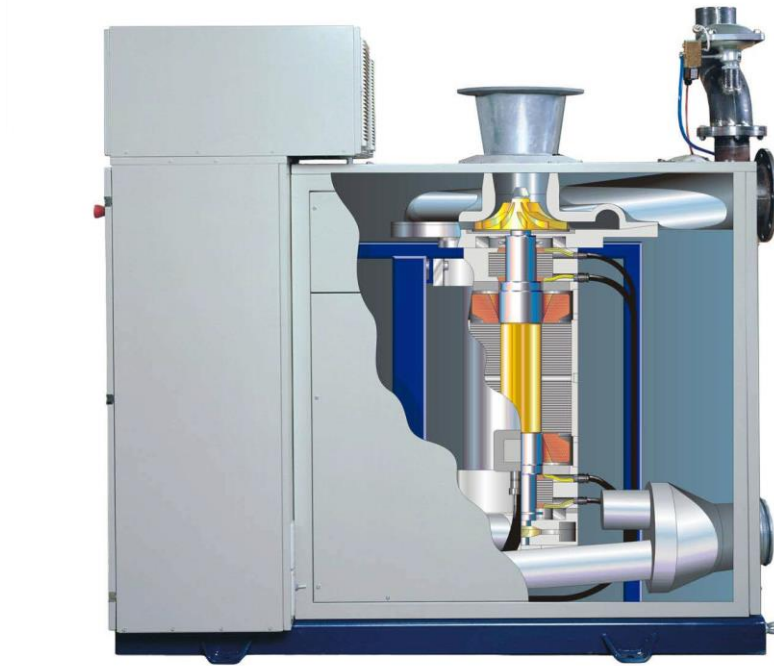
5.7 Kompessorit

Viinikanlahdella on neljä kuvassa 4 olevaa kompressoria syöttämässä ilmaa ilmastusaltaisiin. Jokaisen kompressorin teho on maksimissaan 190 kW. Yhtä aikaa päällä on kolme kompressoria, ja ne käyvät noin 100 kW:n teholla. Lisäksi ne ovat päällä vuorotellen. (Wahti 2015.)



KUVA 4. Kompessorihalli

Kompressorit ovat HST Oy Ltd:n valmistamia ilmastuskompressoreita ja ne tuottavat 0,5-1,2 baria ylipainetta. Magneettilaakeroitu suurnopeusmoottori pyörittää kompressorissa olevaa radiaalikompressoria 15 000-30 000 rpm:n pyörimisnopeudella. Kompressorit toimivat kohtuullisen hyvällä hyötysuhteella ja kuviossa 8 näkyy kompressorin rakenne. (Lappeenranta University of Technology 2015.)



KUVIO 8. Kompressorin rakenne (Lappeenranta University of Technology 2015)

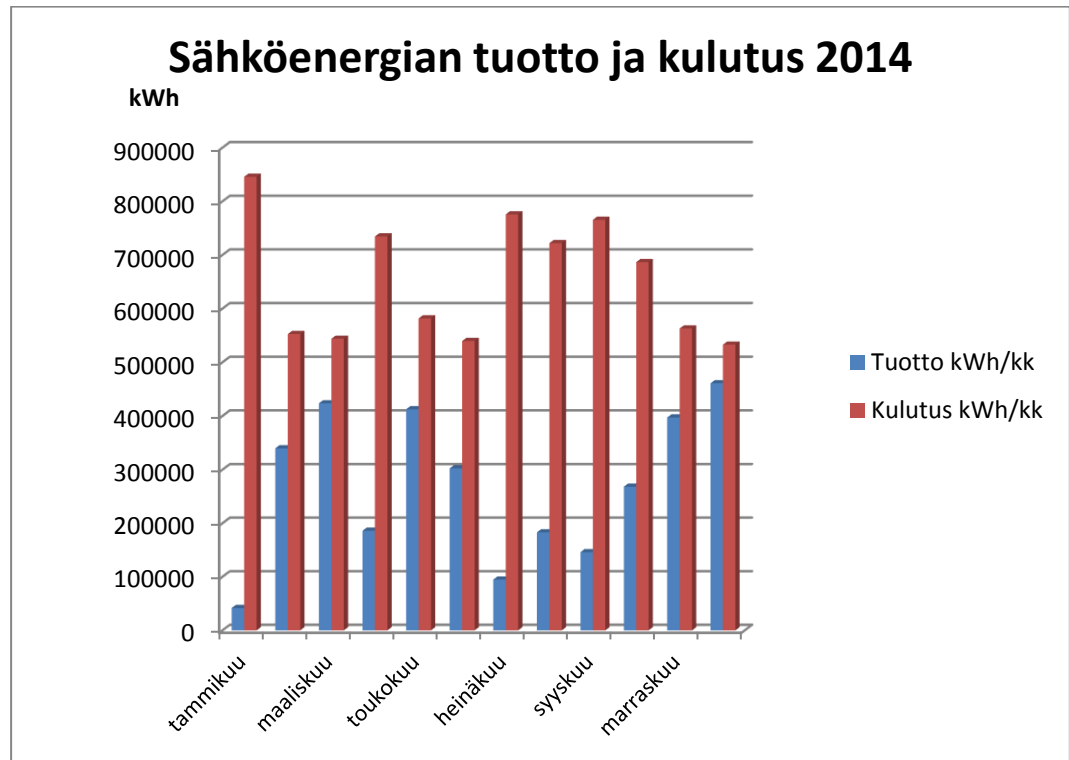
6 JÄTEVEDENPUHDISTUKSEN ENERGIANKULUTUS

6.1 Viinikanlahden kulutustietoja ja prosessikohtaisia tietoja

Jätevedenpuhdistamon energiankulutus muodostuu pääpiirteissään puhdistettavan veden pumppaamisesta laitokselle eli tulopumppauksesta, biologisen prosessin ilmastuksesta, lietelaitoksen lingoista sekä lietteen mädätyksestä. Lisäksi energiaa kuluu myös kiinteistön sähköistykseen ja lämmitykseen. Kuviossa 9 on esitetty laitoksen energiankulutuksen jakautuminen prosesseittain. (Saarela ym. 2013.) Laitoksen kaasumootorin tuottamaa sähköenergiaa sekä laitoksen sähköenergian kulutusta on kuvattu kuvion 10 kuvaajalla.



KUVIO 9. Puhdistamon energiankulutuksen jakautuminen (Saarela ym. 2013)



KUVIO 10. Viinikanlahden sähköenergian tuotto ja kulutus vuonna 2014 (Wahti 2014)

Viinikanlahden puhdistamon kokonaissähköenergiankulutus vuonna 2011 oli noin 9,4 GWh. Ostetun sähkön määrä oli 5,586 GWh ja lisäksi puhdistamo tuotti sähköä omaan käyttöön 3,786 GWh. (Saarela ym. 2013.)

Tulopumppaus kuluttaa Viinikanlahden puhdistamolla kokonaisuudessaan sähköä noin 16 % kokonaissähköenergiasta eli 1,5 GWh. Vettä nostetaan kuudella 65 kW kapasiteetin keskipakopumpulla mahdollisimman tasaisesti laitokselle puhdistettavaksi. (Saarela ym. 2013.)

Viinikanlahden puhdistamolla on kahdeksan ilmastuslinjaa, ja kaikissa linjoissa on viisi eri lohkoa. Altaiden syvyys on 5,3 m ja vesisyvyys on noin 5 m sekä yhden ilmastuslinjan tilavuus on 2125 m³. (Wahti 2015.) Ilmastusprosessissa kompressorit syöttävät happea aktiivilieteprosessiin mikrobin hyödynnettäväksi jatkuvasti kolmen kompressorin voimin. Tällöin kompressoreiden kulutus on yli puolet (51 %) laitoksen kokonaisenergiankulutuksesta, eli noin 4,8 GWh vuodessa. Kokonaisuudessaan ilmastusprosessin kulutus nousee jopa 50-60 %

välille laitoksen kokonaiskulutuksesta eli noin 4,7-5,6 GWh vuodessa. Lisäksi kulutuseroja on vuodenaajasta riippuen. (Saarela ym. 2013.)

Viinikanlahdella liete käsitellään anaerobisesti eli mädättämällä mesofiilisella prosessilla, jolloin mädättämön lämpötila on keskimäärin noin 32-35°C.

Mädättämö kuluttaa sähköä 4 %, eli noin 0,38 GWh. Mädätyksestä syntyvää biokaasua hyödynnetään sähkönä kaasumoottorin avulla sekä lämpönä laitoksella.

Ylijäämäkaasu, jota ei pystytä hyödyntämään biokaasumoottorin huolto- tai kunnossapitotöiden aikana, poltetaan ylijäämäkaasupolttimessa eli soihdussa.

Lietelaitoksen kulutus on 4 % kokonaissähköenergiankulutuksesta, eli 0,38 GWh.

Lisäksi kolmella dekantterilingolla kuivataan esiselkeytyksessä muodostunut raakaliete sekä biologisessa prosessissa syntynyt ylijäämäliete. Linkojen

sähköenergiankulutus on 6 % kokonaiskulutuksesta, eli noin 0,56 GWh. (Saarela ym. 2013.) Kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus oli vuonna 2013 painotettuna

keskiarvona noin 32,0 %. Lietteiden määrä kasvoi hieman edellisestä vuodesta runsaiden sateiden vuoksi, ja kuivattua lietettä syntyi 31519 m³. (Tampereen Vesi 2013.)

6.2 Tulopumppauksen energiansäästökohteet

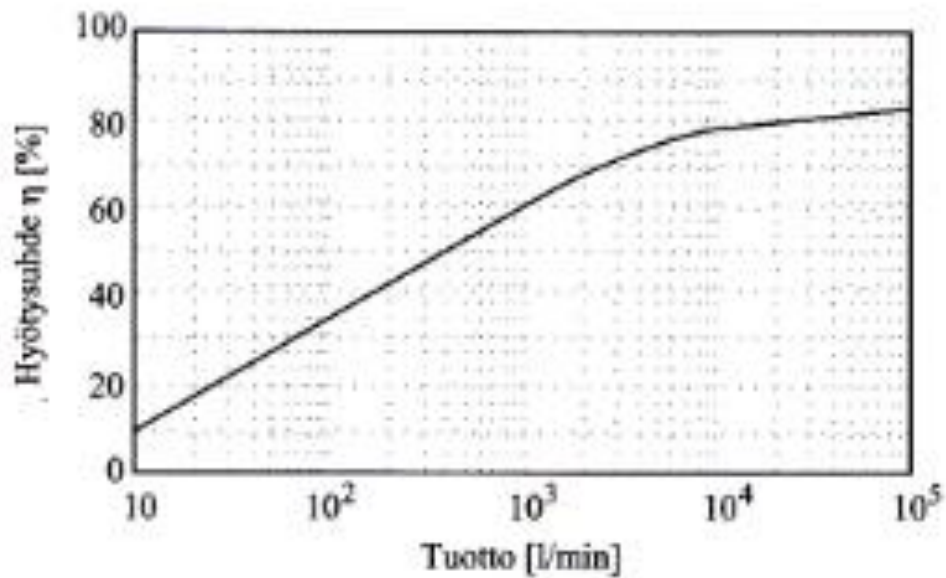
Viinikanlahden tulopumppaus kuluttaa sähköenergiaa 16 %, joka on merkittävä osuus laitoksen kokonaiskulutuksesta ja täten myös selkeä energiansäästökohde (Saarela ym. 2013). Tulopumppaamon kolme ruuvipumppua on noin vuosi sitten korvattu kuudella hyötysuhteeltaan huonommalla Grundfosin keskipakopumpulla.

Pumppujen yhteistuotto on 3 m³/s, joten silloin yhden pumpun tuotto on 500 l/s.

(Tampereen Vesi 2014.) Puhtaan veden pumppauksessa keskipakopumpun

hyötysuhteen voi lukea kuvaajalta kuviossa 10. Sitä varten lasketaan pumpun tuotto minuutissa, joka on 500 l/s kerrottuna 60 sekunnilla. Tulokseksi saadaan 30 000 l/min eli 30 m³/min. Kuvaajasta luetaan hyötysuhteeksi noin 80 %.

Varapumppuja ei ole käytössä tulopumppaamolla. Kaavalla (1) voidaan laskea tiedetyn vesimäärän, nostokorkeuden ja pumpun hyötysuhteen avulla keskipakopumpun pumppaukseen tarvittava energiamäärä (Karttunen 1999, 36).



KUVIO 10. Puhtaan veden pumppaukseen tarkoitetun pumpun hyötysuhde (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 29)

$$W (kWh) = \frac{Q \cdot H}{367 \cdot \eta} \quad (1)$$

Q = vesimäärä (m³)

H = nostokorkeus (m)

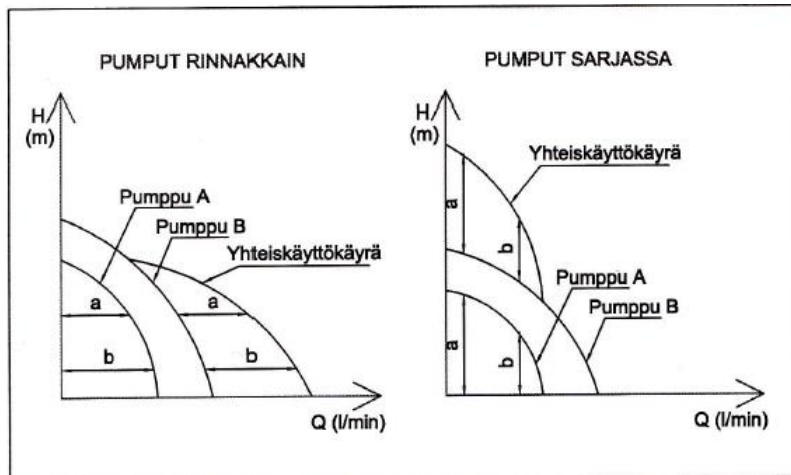
η = pumpun hyötysuhde

Sähkökulutuksen määrään vaikuttavat pumpattavan jäteveden nostokorkeus, joka on kahdeksan metriä, sekä laitokselle pumpattavan veden määrä. Laitokselle tulee vuorokaudessa keskimäärin 60 000 m³ jätevettä ja esimerkiksi sulamiskausina virtausmäärä voi jopa kaksinkertaistua. (Wahti 2015.) Esimerkiksi pumpulla 1 vuorokauden pumppausmäärä Wahdin (2015) mukaan 21.7.2014 oli 3835 m³ eli 2,66 m³/min, joten hyötysuhteeksi saadaan kuvaajalta noin 70 %. Kaavalla 1 lasketaan yhden pumpun pumppauksen energiamäärä vuorokaudessa:

$$W (kWh) = \frac{3835 \cdot 8}{367 \cdot 0,7} \approx 120 kWh$$

Puhdistusprosessin kannalta on tärkeää, että vesi tulee mahdollisimman tasaisesti laitokselle, joten pumppujen tulee pumpata vettä virtaamien mukaan (Tampereen

Vesi 2014). Koska vain kahdella pumpulla on taajuusmuuttajat, suuremmilla virtaamilla osa pumpuista käy epätasaisesti, mikä kuluttaa myös turhaa energiaa (Oksanen 2015). Viinikanlahdella pumput käynnistyvät tulevan veden pinnanmittauksen perusteella. Laitoksella ei kuitenkaan ole varsinaista tasausallasta. Kytkemällä pumput sarjaan kuvion 11 mukaisesti, pumppujen yhteiskäytön nostokorkeus kasvaa, mutta esimerkiksi kahden pumpun tuotto on tällöin sama kuin yhdellä pumpulla. Kahden pumpun rinnankytkennässä on puolestaan mahdollista saada isompi tuotto, mutta nostokorkeus jää samaksi kuin yhdellä pumpulla. Hyödyntämällä sekä sarjaan- että rinnankytkentää saadaan pumpuille lisää tehoa (Karttunen 1999, 38-39.) Viinikanlahdelle pumpattavan jäteveden lämpötila on talvisin noin 8-10°C välillä, ja kesäisin jäteveden lämpötila on jopa 20°C (Koivusaari & Piriou 2013).

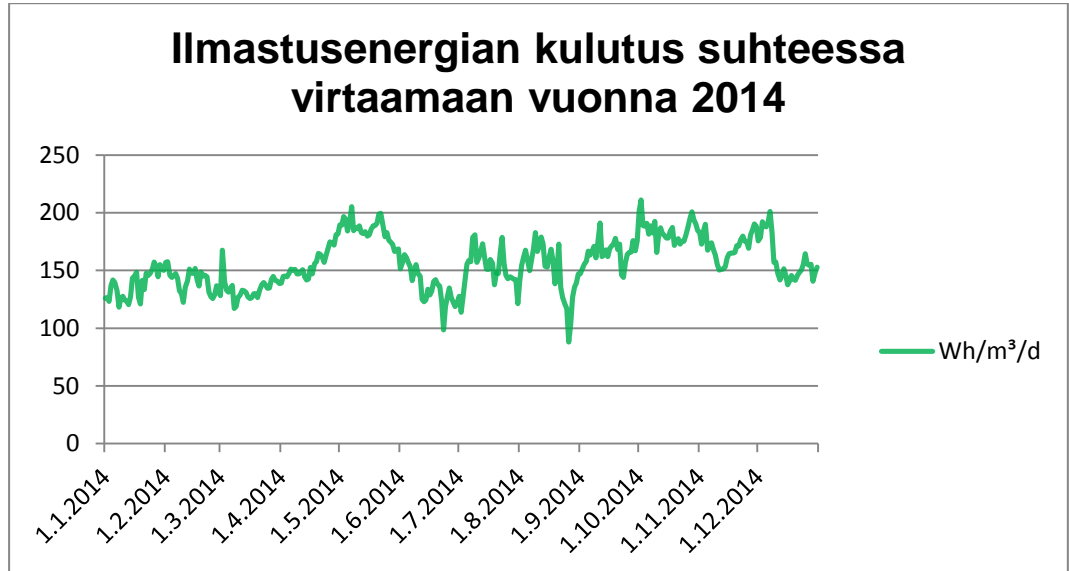


KUVIO 11. Kahden pumpun rinnan- ja sarjaankytkentä (Karttunen 1999, 39)

6.3 Ilmastusprosessin energiansäästökohteet

Viime vuosien aikana jätevedenpuhdistamoilla ovat olleet yleistymässä ammoniumtyypen poistovaatimukset, ja vaatimuksia on tullut myös kokonaistypen poistosta. Vaatimusten ansiosta vesistöjen hapen kulutus vähenee sekä leväkasvusto pienenee typpirajoitteisissa vesissä. Näiden seurauksena puhdistamoiden tulisi muokata laitoksiaan vastaamaan uusia määräyksiä. Energiankulutuksen kannalta katsottuna biologisen puhdistuksen osuus kulutuksesta on suuri, sillä nitrifikaatioprosessi tarvitsee runsaasti happea toimiakseen. (Vesitalous 2004.) Kuviossa 12 on esitetty ilmastusenergian tarve

virtaaman funktiona. On nähtävissä, että energian tarve on suurimmillaan loppukevällä toukokuussa sekä syksyllä loka-marraskuussa. Nämä piikit johtuvat keväällä sulamisvesistä ja syksyllä runsaista sateista.



KUVIO 12. Viinikanlahden ilmastusenergian kulutus suhteessa virtaamaan vuonna 2014 (Wahti 2014)

Ilmastuksen vaatimaa sähkönkulutusta on mahdollista vähentää tehokkaalla esiselkeytyksellä, jollainen Viinikanlahdessa on käytössä. Esiselkeytystä ei voida tehostaa juurikaan enempää, sillä muuten kiintoainetta ei jää riittävästi biologiseen prosessiin, jossa mikrobit puhdistavat vedestä kiintoainetta syömällä sitä. Lisäksi ilmastuksen sähkönkulutukseen voi vaikuttaa altaan pohjalla olevan lietteen ikää lyhentämällä, jolloin myös hapenkulutus saadaan pienemmäksi. Tällä on positiivinen vaikutus mädätyksessä syntyvän biokaasun määrään. (Rautio 2012, 20.) Aktiivilietealtaiden lieteikä on keskimäärin seitsemän vuorokautta (Wahti 2015).

Tällä hetkellä hapen syöttäminen altaaseen tapahtuu pohjailmastuksena, eli altaan pohjassa olevien ilmastuslautasten kalvojen läpi syötetään ilmaa. Ilmastimet ovat ABS Nopon -merkkisiä, ja niitä on yhdessä linjassa 1386 kpl. Kalvojen halkaisija on 215 mm, ja kalvon tehollisen alueen halkaisija on 190 mm. Ilmastimien vuosittainen huoltaminen on tärkeää, sillä kalvoreikien mennessä tukkoon, kompressorit yrittävät syöttää ilmaa entistä enemmän ilmastimien läpi. Tämä

johtaa ilmastimien vastapaineen kasvamiseen. Tuollaisessa tilanteessa happiantureilta tulevan tiedon mukaan altaassa ei ole riittävästi happea, jolloin myös energian kulutus lisääntyy huomattavasti. (Ilomäki 2014.) Kuvassa 5 on käynnissä yhden ilmastuslinjan vuosihuolto, jolloin altaat tyhjenetään ja ilmastimet irrotetaan ja pestään tai tarvittaessa vaihdetaan uusiin.



KUVA 5. Ilmastimien vuosihuolto.

Kesällä 2014 testattiin ilmastimien rikkihappopuhdistusta, jolloin kalvoja ei tarvitsisi irrottaa altaasta, nostaa ylös ja pestä niitä erikseen. Tällä menetelmällä tarkoituksena olisi vaihtaa linjan ilmastinkalvot kaikki kerrallaan noin neljän vuoden välein. Jotta ilmastinkalvot toimisivat mahdollisimman tehokkaasti, seurataan veden kuplimisen tasaisuutta ja kuplakokoa, vastapaineita, ilmavirtaamia sekä vuosihuollon yhteydessä tarkistetaan ilmaputkiston liitosten ja venttiilien kunto. (Ilomäki 2014.)

Ilmastuksessa seurataan myös ilmastuskompressoreiden energiankulutusta, suodattimien kuntoa ja suoritettuja huoltoja. Lisäksi muita mitattavia kohteita ovat ilmastusaltaassa olevan veden lämpötila, happipitoisuus sekä veden laatu. Altaiden veden lämmön lisäksi seurataan ilmastusilman lämpötilaa ja ulkoilman lämpötilaa. Saostuskemikaalien, kuten ferrisulfaatin sekä kalkin syöttöä, seurataan, jotta veden laatu pysyisi mikrobien kannalta mahdollisimman optimaalisena. (Rautio 2012, 43-44.)

Seuranta suoritetaan, koska esimerkiksi lisääntynyt energiankulutus tai yli-ilmastus voi kertoa muuttuneesta kuormituksesta tai jäteveden sisältämistä aineista (ABS Nopon Oy Ltd 2001).

6.4 Lietteen kuivauksen ja mädätyksen energiansäästökohteet

Lietteen käsittelyprosessi kuluttaa puhdistamoilla myös huomattavasti energiaa. Erityisesti lietteen pumppaus, tiivistys ja kuivaus vievät paljon sähköenergiaa. Viinikanlahdessa liete kuivataan kolmen dekanterilingon avulla ja energiankulutus riippuu lingottavan lietteen määrästä. Ohjaus tehdään lingoille saapuvan lietteen tilavuusvirran perusteella. Lietteen laatuvaihtelu hankaloittaa kuivausta edistävän kemikaalin, kuten polymeerin optimaalista annostelua sekä koko prosessia. Jotta linkousta voitaisiin vähentää, liete tulisi sakeuttaa paremmin. (Rautio 2012, 20-21.)

Jätevedenpuhdistamoiden yleisin menetelmä stabiloida liete on mädättää se. Koska mädätysprosessi on yksi merkittävä energiaa kuluttava vaihe puhdistamolla, niin esimerkiksi mädättämöön syötettävän lietteen koostumusta muuttamalla mädättämiseen tarvittavaa energiamäärää saataisiin vähennettyä. (Rautio 2012, 21.)

Viinikanlahdessa on kaksi mädätyssäiliötä, joiden tilavuudet ovat 3500 m³. Mädätysprosessi on rakenteeltaan yksivaiheinen. Lietettä syötetään molempiin säiliöihin vuorotellen noin kahden tunnin jaksoissa. (Wahti 2015.) Sähköä kuluttavat lietteen pumppaus mädätykseen, lietteen sekoittaminen mädättämöissä, joka Viinikanlahdella tapahtuu mekaanisilla lapasekoittimilla, sekä pumppaus lämmönvaihtimien lävitse. Lisäksi liete, joka pumpataan mädättämöön, tarvitsee lämmittää mädätyslämpötilaan ja myös mädätysprosessia tulee ylläpitää pitämällä lämpötila noin 34-35 °C:ssa, jolloin tasataan reaktorin häviöt. (Rautio 2012, 21.)

Mädättämön prosessilämmitys on taloudellisesti tärkein koko kiinteistön lämmitysjärjestelmän lämmön kulutuspaikoista. Mahdolliset häiriöt mädätysprosessissa vaikuttavat myös kiinteistön omaan energiantuotantoon. Mädätysprosessin vaatima lämpöenergia saadaan sekoittamalla jo mädättämössä

oikeassa lämpötilassa ollutta lietettä ja mädättämöön sisään tulevaa kylmää raakalietettä. (Koivusaari & Piriou 2013.)

Vaikka mädätys kuluttaa huomattavasti lämpöä, se tuottaa myös sivutuotteena biokaasua laitoksen käyttöön. Viinikanlahdessa biokaasu hyödynnetään yhdellä biokaasumoottorilla, jolla tuotetaan puhdistamalla sähköä 3,786 GWh ja lämpöä lauhde-energiasta 3,620 GWh vuoden 2011 tilastojen mukaan. (Saarela ym. 2013.) Biokaasumoottorille voisi mahdollisesti asentaa ORC-laitteiston, jolla saataisiin pakokaasun lämpö hyötykäyttöön sähköinä. (Fred 2013.)

7 VASTAAVIEN PUHDISTAMOIDEN RATKAISUJA

7.1 Vertailupuhdistamot

Eri puhdistamoiden vertailun taustalla oli tarkoitus selvittää Viinikanlahden puhdistamoa vastaavien laitosten yksikköprosessien energiankulutuksia sekä heidän energiansäästöratkaisujaan ja yksikköprosesseihin liittyviä teknillisiä toteutuksia. Vertailukohteina olivat Lahden Ali-Juhakkala, Jyväskylän Nenäinniemi sekä Espoon Suomenoja.

7.2 Lahden Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamo

Lahden kaupungin ja Hollolan kunnan eteläisten osien jätevedet käsitellään Lahden toisella jätevedenpuhdistamolla, Ali-Juhakkalassa, joka on biologis-kemiallinen puhdistamo. Puhdistustulokset jäävät hieman Kariniemen kalliopuhdistamon arvoista, mutta tulokset pysyvät kuitenkin lupa-arvoissa. Esimerkiksi ammoniumtyyppiä (NH_4) on Ali-Juhakkalan vedessä 3,14 mg/litrassa ja vastaavasti Kariniemessä määrä on 1,58 mg/litrassa. Lupa-arvona on 4 mg/litrassa. (Lahti Aqua 2015.)

Ali-Juhakkalan puhdistamon laitosprosessiin ei sisälly lainkaan tulopumppausta, joka vähentää merkittävästi energiankulutusta Viinikanlahteen verrattuna. Ilmastusprosessi on samanlainen kuin Viinikanlahdessakin, eli altaissa on pohjailmastus ilmastuslautasilla ja sekoitus tapahtuu ainoastaan hapettomissa lohkoissa. (Meiseri 2014.)

Puhdistusprosessi sisältää myös denitrifikaatioprosessin, ja ilmastuksen jälkeen on jälkiselkeytys. Fosfori saostetaan ferrosulfaatin avulla, jota syötetään kahteen eri pisteeseen, hiekanerotuksen jälkeen sekä ilmastusaltaan tulokanavaan. Tarvittaessa käytetään alkalointikemikaalina soodaa, mutta yleensä siihen ei ole tarvetta jäteveden koostumuksesta johtuen. (Arkiomaa 2012, 7-8.) Ilmastuskompressoreiden energiankulutus on noin 1 220 500 kWh vuodessa (Meiseri 2014).

Lietteen tiivistyksessä on käytössä rumputiivistin ja lietteen kuivaukseen käytetään linkoa. Tuotettua biokaasua hyödynnetään lämmöntuotannossa, eikä sähköä tuoteta Ali-Juhakkalassa yhtään. Ylijäämälämpö myydään kaukolämpöverkkoon. Biokaasumootoria ei ole käytössä laitoksella. Saadun lämmön määrä vuodessa on noin 4200 MWh. (Meiseri 2014.)

7.3 Jyväskylän Nenäinniemen jätevedenpuhdistamo

Jyväskylässä toimii kaksi jätevedenpuhdistamo: Korpilahden- ja Nenäinniemenpuhdistamot. Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy on osakeyhtiö, jonka omistavat Jyväskylän kaupunki, Laukaan kunta sekä Muuramen kunta. Nenäinniemen puhdistamo vastaa kooltaan Viinikanlahden puhdistamo, sillä se käsittelee noin 150 000 asukkaan jätevedet ja lisäksi viemäriverkoston piirissä olevien teollisuusyritysten jätevedet. Vuonna 2009 vuorokauden keskimääräinen jätevesivirtaama oli noin 40 000 m³. (Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy 2009.)

Nenäinniemessä on myös tulopumppaamo toisin kuin esimerkiksi Lahden Ali-Juhakkalassa. Ilmastuslinjoja on puhdistamolla neljä, ja niiden tilavuus on yhteensä noin 12 000 m³. Lietteenkäsittelyssä ensimmäiseksi liete tiivistetään, jotta tilavuus pienenee. Puhdistamolla on kolme gravitaatiotiivistämöä, yhteistilavuudeltaan 1740 m³, joiden lisäksi puhdistamolla on ollut käytössä vuodesta 2009 lähtien mekaaninen rumputiivistinyksikkö. Rumputiivistimellä lietteen sakeus on korkeampi kuin pelkällä gravitaatiotiivistimellä. Lietteen kuivaamisessa puhdistamolla on käytössä lingot, joilla saadaan lietteen kuiva-ainepitoisuudeksi 28-30 %. (Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy 2009.)

7.4 Kuopion Lehtoniemen jätevedenpuhdistamo

Kuopion Lehtoniemen puhdistamo käsittelee noin 80 000 asukkaan ja yritysten jätevedet. Vuonna 2013 laitos käsitteli jätevettä yhteensä noin 7,3 miljoonaa kuutiometriä. Lehtoniemen puhdistamolle on tehty laajamittainen saneeraus, jonka keskeisenä tavoitteena oli energiatehokkuuden parantaminen. Lehtoniemi on ollut toiminnassa vuodesta 1974 lähtien. Saneerauksessa laajennettiin biologista

käsittelyprosessia, tehostettiin lietteiden käsittelyä sekä rakennettiin uusi jälkikäsitteily-yksikkö. (Kuopion Vesi 2015.)

Puhdistamo oli ennen saneerauksen aloittamista lämpöenergian suhteen noin 80 %:n omavarainen ja sähkön suhteen noin 70 %:n omavarainen. Muutoksia, joita puhdistamolle tehtiin saneerauksessa, olivat lämmön talteenotto rakennusten ilmastoinnista ja mädätetyn lietteen käsittelyssä. Lisäksi uusittiin laitoksen ilmastuskompressorit sekä hankittiin mekaaninen lietteen tiivistys ennen mädätystä. Samalla uudistettiin myös prosessiautomaatiota ja hankittiin uusi järjestelmä yksikköprosessien optimointiin, joka toimii myös prosessien energiankulutuksen valvonnassa. (Kuopion Vesi 2015.)

Tärkeitä mitattavia kohteita ovat ammoniumtyyppi sekä liukoinen fosfori, joiden avulla ohjataan myös biologista prosessia ja kemikaalien syöttöä. Mittaukset ovat jatkuvatoimisia. Suunnitteilla on myös yhdessä Kuopion Energian kanssa lämmön talteenottojärjestelmä vesistöön johdettavasta puhdistetusta vedestä. (Kuopion Vesi 2015.)

7.5 Espoon Suomenojan jätevedenpuhdistamo

Jätevedenpuhdistamon ilmastusprosessissa on käytössä kumikalvoilla varustetut pohjailmastimet, joiden halkaisija on 300 mm. Ilmastus käyttää kahta erillistä kompressoriasemaa, joissa toisessa on kolme HV-turbokompressoria ja toisessa on kuusi HST-magneettilaakeroitua nopeakierroskompressoria. (Sundberg 2014.)

Lisäksi Suomenojalla ollaan hankkimassa yhtä uutta kompressoria, joka hoitaa kolmen HST-kompressorin tuottoalueen. Ilman tuotto säädetään molemmilla asemilla vakioaineella, mikä tarkoittaa sitä, että hapella on asetusarvo altaan eri lohkoissa. Poikkeama asetusarvosta ohjaa ilmaventtiiliä auki tai kiinni, jolloin paine muuttuu ja asetettu vakioaine ohjaa kompressorin tai kompressorien tuottoa ylös tai alas. (Sundberg 2014.)

Tulopumppauksessa käytössä on ruuvipumput eli samanlaiset pumput, jotka Viinikanlahdessa oli aikaisemmin käytössä. Teholtaan pumput ovat 1000 l/s, joita on kaksi kappaletta sekä kaksi 2000 l/s tuottavaa pumppua. Tavallisella

virtausmäärällä riittää, että yksi 2000 l/sekunnissa tuottava ruuvi pyörii kokoajan vakiokierroksilla. Suuremmalla virtausmäärällä otetaan mahdollisesti avuksi yksi 1000 l/sekunnissa tuottava ruuvipumppu. (Sundberg 2014.)

Lietteen käsittelyprosessissa liete pumpataan sekalietteenä esiselkeytysaltaista kahteen esitiivistämöön vuorotellen. Sekaan syötetään pieni määrä anionista polymeeriä noin 6,0-6,5 g/m³ sekalietettä, jolla saadaan liete tiivistettyä vähintään noin 4 %:ksi. Metson TS-mittareilla mädättämöön pumpattavasta lietteestä seurataan tiivistyksen toimivuutta. Automaatio ei kuitenkaan hoida lietteen tiivistyksen säätöä, vaan se tehdään manuaalisesti paikan päällä. (Sundberg 2014.)

Suomenojalla on kaksi mädättämöä ja ajo tehdään yksivaiheisena. Molemmat mädättämöt ovat 6000 m³, ja yhteen mädättämöön syötettävä lietemäärä on noin 5,0 l/s, joten viipymä on melko lyhyt, vain noin kaksi viikkoa. (Sundberg 2014.)

Mädättämöön syötettävä liete ajetaan LTO:n läpi eli liete-liete -lämmönvaihtimen kautta. Mädättämöstä tuleva lämmin liete ajetaan toiselle puolelle ja syötettävä kylmä liete toiselta puolelta, ja siten suoritetaan esilämmitys. Esilämmitetty liete syötetään kierrätyslietteen mukaan ja siitä lämmönvaihtimen kautta. Liete lämmitetään noin 35 asteeseen. (Sundberg 2014.)

Mädätetty liete menee jälkitiivistämön kautta Alfa-Lavalin sentrifugilingoille. Yleensä päällä on kaksi linkoa koko ajan, ja yksi toimii varalinkona. Koska linkoja ei ajeta täydellä kapasiteetilla, niin päästään hieman parempaan kuivaus- ja rejektivesitulokseen. Kuivattu liete on yleensä noin 28,5–29 %, ja joskus on mahdollista päästä jopa yli 30 % tulokseen. (Sundberg 2014.)

Laitoksen tuottama biokaasu myydään Gasumille, joka jalostaa siitä maakaasua maakaasuverkkoon. Lisäksi Suomenoja ostaa kattilalaitokseen maakaasua. Lämmityskattiloita on kolme, ja niissä on eri variaatioita polttoaineeksi, eli öljy/biokaasu ja öljy/maakaasu sekä maakaasu/biokaasu. Tosin öljyä niissä ei ole käytetty pitkään aikaan, vaan öljy käyttö on lähinnä varalla ja joskus myös koekäytöissä. Laitoksella oli aikaisemmin käytössä Jenbacher-kaasugeneraattori, joka on Gasumin mukaantulon takia jäänyt koekäyttöä lukuun ottamatta tarpeettomaksi. Lähiaikoina vieressä sijaitsevan Fortumin voimalaitoksen on

tarkoitus ottaa Suomenojan puhdistamasta jätevedestä lämpö talteen ja hyödyntää se kaukolämpöverkkoon. (Sundberg 2014.)

7.6 Oulun Taskilan jätevedenpuhdistamo

Oulun Vedellä on kaksi jätevedenpuhdistamoa, ja suurin osa jätevesistä puhdistetaan Taskilassa. Taskilan puhdistamo on Pohjois-Suomen suurin, ja siellä käsitellään myös Muhoksen, Utajärven, Haukiputaan ja Iin jätevedet. (Oulun Vesi 2014.) Vuonna 2011 Taskilan jätevedenpuhdistamolla puhdistettiin noin 14,6 miljoonaa kuutiometriä jätevettä. Laitokselle on rakennettu aktiivilietelaitos vasta vuonna 2004, ja vuonna 2008 se laajennettiin ja muokattiin soveltumaan myös typenpoistoon. Puhdistamon toimintaa sekä lähes kaikkia laitteita valvotaan ja ohjataan Metso DNA -automaatiojärjestelmällä. (Mannermaa 2013, 29.)

Puhdistamolle tuleva jätevesi pumpataan laitokselle kahdella ruuvipumpulla, minkä jälkeen karkein kiintoaines erotetaan kolmen porrasväljän avulla. (Mannermaa 2013, 29.) Puhdistamoon on tehty myös katettu tuloveden tasausallas vuoden 2014 lopulla (Yle 2014.) Kiintoaines kuljetetaan välpepesurille, minkä jälkeen puhdistettu jäte varastoidaan ja viedään kaatopaikalle. Esikäsittelyn jälkeen on myös hiekanerotusvaihe, jossa laskeutettu hiekka pumpataan hiekkapesuriin ja edelleen hiekkalavalle. Samassa yhteydessä on myös öljyn- ja rasvanerotuskaivo. (Mannermaa 2013, 29-30.)

Ilmastukseen tuleva vesi pumpataan kahdella ruuvipumpulla kolmeen eri ilmastuslinjaan. Orgaaninen aines poistetaan aktiivilietemenetelmällä, ja siinä kertyvän lietteen lieteikä on 5-6 päivää, kun lämpötila on alle 12 astetta. Vesi kulkee ilmastuksen jälkeen jälkiselkeytysaltaisiin, ja sieltä jätevesi pumpataan kahdella ruuvipumpulla biologiseen suodatukseen. Sieltä puhdistettu jätevesi johdetaan Perämereen. (Mannermaa 2013, 30.)

Typenpoisto aloitetaan kun veden lämpötila nousee yli 12 asteeseen, ja mikä tapahtuu denitrifikaatio-nitrifikaatio -prosessilla. Ilmastusaltaiden kaksi ensimmäistä lohkoa ovat tällöin hapettomina, kolme seuraavaa lohkoa hapellisina ja lisäksi viimeinen lohko on anoksisena (Mannermaa 2013, 31) eli tilassa, jossa

happea ei ole molekylaarisessa (O₂) muodossa, vaan happi on sitoutuneena nitraatti-ioneihin (Vesilaitosyhdistys 2015).

Puhdistamossa käsitellään liete siten, että lietteessä olevat bakteerit tuhoetaan eli liete hygienisoidaan. Lietteen hyödyntäminen hankitaan kokonaispalveluna Kemira Oyj:ltä. (Oulun Vesi 2014).

8 TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA VIINIKANLAHTEN

8.1 Lietteiden mittauksen optimointi

Primääripumppaukseen eli esiselkeytyksestä pumpattavaan lietteeseen olisi kannattavaa asentaa kiintoaineen mittaus, sillä esiselkeytyksestä pumpataan lietteiden sakeutusaltaisiin noin 75 m³/h:ssa lietettä, joista edelleen mädätykseen vain 20 m³/h (Oksanen 2015). Sakeutusaltaita on kaksi, ja ne ovat tilavuuksiltaan 400 m³ ja pinta-aloiltaan 100 m² (Paronen 2012, 42). Selkeytysaltaista pumpataan lietettä tietyin väliajoin sakeutusaltaiden kautta mädätykseen, joten ajoittain pumpataan pelkkää vettä (Metso 2011). Liete valuu yli sakeutusaltaista, koska sitä ei ehditä pumppaamaan eteenpäin mädätykseen. Mädätykseen mennessään lietteiden kuiva-ainepitoisuus on noin 4 %. (Oksanen 2015.)

Lietteiden sakeuttamisen ja pumppauksen optimoinnin tarkoituksena on nostaa lietteiden kiintoainepitoisuutta riittävästi lietteiden mädätystä varten, sillä lietteenkäsittelyn päätavoitteena on poistaa lietteestä vettä mahdollisimman kustannustehokkaasti. Lisäksi lietteiden lämmitykseen tarvitaan vähemmän energiaa, kun mädättämöön syötettävän lietteiden kiintoainepitoisuus on optimoitu riittävän korkeaksi ja lietteiden mädätysaika on mahdollista pidentää, jolloin biokaasun tuottoaste nousee. (Metso 2011.) Ei ole kuitenkaan tarkoituksenmukaista nostaa kiintoainepitoisuuksia liikaa, sillä liete on hankalampaa pumpata, jos sen virtausvastus kasvaa kiintoainepitoisuuden nostamisen myös turhan paljon. Esimerkiksi primääriliete aiheuttaa veteen verrattuna painehäviön, joka voi olla 1,5-4 -kertainen ja siitä johtuen tulee käyttää riittävän suurien virtausnopeuksien lietettä pumpattaessa. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru, 556.)

Lisäksi kiintoaineen mittauksen lisääminen lingoille olisi taloudellista, sillä lingojen käyttö on helpompaa optimoida kun tiedetään kuivaukseen tulevan lietteiden kiintoainepitoisuus. Säästöjä on tällöin mahdollista saada energiankäytöstä sekä lingojen huoltotoimenpiteistä, kun vähennetään turhaa kuormitusta sekä ylimääräistä polymeerin syöttöä. (Mannermaa 2013, 45.)

8.2 Toimenpide-ehdotuksia tulopumppaukseen

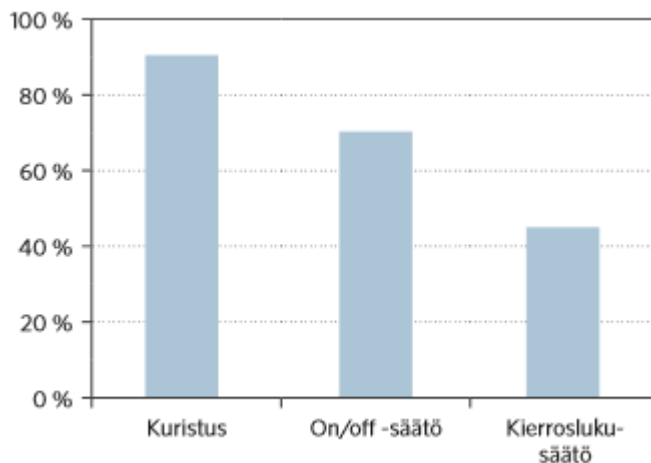
Jätevedenpuhdistamoille on tärkeää, kuinka tasaisesti tuleva jätevesi virtaa laitokselle, sillä se vaikuttaa merkittävästi puhdistusprosessin toimintaan sekä jäteveden laadun tasaantumiseen. Vuoden aikana veden virtausmäärä vaihtelee huomattavasti. Talvisin kulutuksen vaihtelut ovat pienempiä kuin kesällä, jolloin monella ihmiselle kesälomakausi katkaisee kaupungissa vedenkulutuksen, mutta kasteluun käytetään vettä varsinkin kuivina kesinä. (Karttunen 1999, 49.)

Vuodenaikaisten vaihteluiden lisäksi tapahtuu vaihtelua vuorokauden sisällä, sillä yönaikainen vedenkulutus on vähäisempää kuin päivällä, jolloin jätevettä syntyy enemmän. Aamulla ihmisten herätessä vedenkulutuksen piikki kasvaa hetkellisesti. Suurissa kaupungeissa vuorokaudenaikaiset vaihtelut ovat kuitenkin pienempiä kuin asukasluvultaan pienemmissä kaupungeissa. (Karttunen 1999, 49.)

Mahdollisimman tasainen virtaus saadaan aikaiseksi esimerkiksi tasausaltaan avulla. Tärkeä tavoite on, että puhdistamolle tuleva jätevesimäärä on lähestulkoon vakio, koska silloin on mahdollista parantaa käsittelyprosessia sekä alentaa myös käyttökustannuksia. Tasauksen tarve määräytyy muun muassa kuivan ajan virtaamasta ja märän ajan virtaamasta sekä viemäröintijärjestelmätyypistä, eli onko käytössä erillis- vai sekajärjestelmä. (Karttunen 1999, 49.)

Jotta pumput pumppaisivat tulevaa jätevettä laitokselle mahdollisimman tehokkaasti, niin taajuusmuuttajien lisääminen useammalle kuin kahdelle pumpulle lisäisi energiansäästöä. Laitoksella on usein käytössä enemmän kuin kaksi pumpppua yhtä aikaa, jolloin ilman taajuusmuuttajaa olevat pumput käyvät maksimitehollaan koko ajan virtaamista riippumatta ja kuluttavat näin ollen turhaan sähköenergiaa. (Oksanen 2015.) Toisaalta taajuusmuuttajilla varustettuja pumpppuja käytetään maksimaalinen aika, mikä kuluttaa kyseisiä pumpppuja, jolloin taajuusmuuttajista saatava hyöty jää suhteellisen vähäiseksi. Taajuusmuuttajien asentaminen useammalle pumpulle säästäisi sekä pumpppuja että energiaa. (Rautio 2012, 38.)

Kuvion 13 kuvaajasta voidaan todeta, että taajuusmuuttajasäädöllä eli kierroslukua säätämällä voidaan säästää jopa puolet verrattuna täyden tilavuusvirran kulutukseen. Keskipakopumpusta riippuen sen hyötysuhde vaihtelee 20-90 % välillä. Kun tuotto on pieni, niin myös hyötysuhde on silloin alhaisempi. Pumpun päälle/pois -säädöllä päästään lähelle pumpun parasta hyötysuhdealueutta, mutta se saattaa rasittaa pumppua tarpeettomasti. Lisäksi huonon hyötysuhteen pumpun investointikustannukset ovat monesti halvemmat, mutta käyttökustannusten ollessa 85-95 % pumpun elinkaaren aikaisista kustannuksista, huonon hyötysuhteen pumppu kuluttaa loppujen lopuksi enemmän kuin hyvän hyötysuhteen pumppu. (Pöyry Finland Oy 2011.)



KUVIO 13. Säätötavan vaikutus pumpun kulutukseen verrattuna täyden tilavuusvirran kulutukseen (Pöyry Finland Oy 2011)

Yhden tulopumpun suurin teho on 65 kW, ja pumput ovat päällä vuorokaudesta noin 1-3 h (Wahti 2015). Enimmillään pumput ovat päällä yhteensä 18 h ja ilman taajuusmuuttajia olevat neljä pumppua noin 12 h vuorokaudesta. Jos oletetaan, että neljä pumppua kuudesta ovat käytössä suurimmalla teholla ja vuorokautisen käyntiajan ollessa 12 tuntia, sähkönkulutus vuorokaudessa on $260 \text{ kW} \cdot 12 \text{ h} = 3120 \text{ kWh}$ ja vuodessa $365 \cdot 3120 \text{ kWh} = 1138800 \text{ kWh}$. Tampereen sähkölaitoksen (2015) lähisähkö yrityksille maksaa tällä hetkellä 4,10 snt/kWh, joten kokonaiskustannus vuodessa on $1138800 \text{ kWh} \cdot 0,041 \text{ €/kWh} = 46691 \text{ €}$. Mikäli tulopumppujen pyörintänopeutta säädellään taajuusmuuttajilla, on taulukon mukaan mahdollista säästää 20-50 prosenttia sähköenergiasta. Vuotuinen

säästö 20 prosentin tapauksessa olisi: $1138800 \text{ kWh} * 0,80 = 911040 \text{ kWh}$.
 Säästynyt sähköenergia kilowattitunneissa on: $1138800 \text{ kWh} - 911040 \text{ kWh} = 227760 \text{ kWh}$. Säästö sähkön kokonaishinnassa on: $227760 \text{ kWh} * 0,041 \text{ €/kWh} = 9338 \text{ €}$.

Mikäli taajuusmuuttajilla saavutettaisiin 50 prosentin säästö, laskenta on seuraavanlainen: $1138800 \text{ kWh} * 0,50 = 569400 \text{ kWh}$. Säästynyt sähköenergia kilowattitunneissa on: $1138800 \text{ kWh} - 569400 \text{ kWh} = 569400 \text{ kWh}$. Säästö sähkön kokonaishinnassa on: $569400 \text{ kWh} * 0,041 \text{ €/kWh} = 23345 \text{ €}$.

Vaconin mallistosta löytyy useita taajuusmuuttajia, jotka on suunniteltu 75 kilowatin akseliteholle (VEM motors Finland Oy 2015). Niiden hinnat alkavat 7000 euron tietämiltä, joten neljän taajuusmuuttajan kertainvestointi olisi vähintään 28000 euron suuruinen. Mikäli sähköenergian säästö on 20 prosentin suuruusluokassa, investoinnin takaisinmaksu tapahtuu noin kolmessa vuodessa. Säästön ollessa 50 prosenttia takaisinmaksuun kuluu vain reilun vuoden mittainen aika.

Laitokselle tuleva jätevesi on lämpötiloiltaan verrattavissa pintavesiin, ja liian alhaiset hyödynnettäväksi suoraan joihinkin prosesseihin. Tulevan jäteveden hyödyntäminen vaatisi lämpöpumpun lisäämisen prosessiin. Tällä hetkellä lämpöä saadaan kuitenkin kiinteistön käyttöön biokaasumoottorin sähköntuotannon lauhde-energiasta. (Koivusaari & Piriou 2013.)

8.3 Toimenpide-ehtotuksia ilmastukseen

Jäteveden käsittelyssä ilman johtaminen veteen on yleisin ilmastusmenetelmä, jonka voi yksityiskohtaisemmin jaotella vielä hieno- ja karkeakuplailmastukseen (Karttunen 1999, 53). Viinikanlahden biologisen puhdistusprosessin ohjaaminen ei kokonaan perustu jatkuvaan mittaustiedon saantiin jäteveden laadusta tai koostumuksesta, joten prosessiin syötettävien kemikaalien tai ilmansyötön määrä eivät välttämättä ole parhaita mahdollisia. Lisäksi veden laadun vaihtelut, esimerkiksi teollisuuden jätevesien takia, hankaloittavat kemikaalien ja ilman oikeaa annostelua. Seurauksena voi olla liikailmastusta ja sitä kautta ylimääräistä energiankulutusta tai turhaa kemikaalien syöttöä. (Rautio 2012, 43.)

Kompressoreiden valinnassa huomioitavaa on säätövaran riittävyys maksimi- ja minimikuormituksen aikana. Vähimmäispaineen on aktiivilieteprosessissa oltava 10–15 kPa suurempi kuin koko ilmastusjärjestelmän kokonaispainehäviö lisättynä hydrostaattisella paineella. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 529.)

Liitteestä 2 nähdään, että biologiseen prosessiin syötettiin keskimäärin yhteen altaaseen noin 50 000 m³/d ilmaa eli kaikkiin kahdeksaan altaaseen syötetty yhteisilmamäärä oli noin 140 000 000 m³ vuonna 2014.

8.3.1 Ilmastintyyppien vaikutus

Aktiivilieteprosessissa on tärkeää, että ilmastusaltaiden sisältö sekoittuu riittävästi, jotta altaassa oleva kiintoaine ei laskeudu altaan pohjalle. Kun käytössä on pohjailmastus, eli diffuusioon perustuva ilmastus, niin ilmaa tulisi syöttää 20–30 m³/100 allas-m³/min, jotta sekoittuminen olisi riittävän tehokasta. Ilmastuksen rinnalla voi sekoitukseen käyttää myös mekaanisia sekoittimia. Eri ilmastintyypeillä on erilaisia hapetustehoja, ja hienokuplapohjailmastimilla saatava happimäärä on 1,7–3,0 kg O₂/kWh, joka on esimerkiksi karkeakupla- tai pintailmastimiin verrattuna suhteellisen hyvä arvo. Hienokuplailmastimien kuplakoko on 2–3 mm. (Kettunen ym. 2006, 72–73.)

Paras hapetusteho, 1,5–3,2 kg O₂/kWh, saadaan yhdistelmäilmastimilla, eli käyttämällä pohja- ja pintailmastimia. Pintailmastimien toiminta perustuu siihen, että ne nostavat puhdistettavaa vettä ilmaan pieninä pisaroina, jotka ottavat ilmasta happea ja putoavat takaisin altaaseen. Syvemmälle altaaseen happi kulkeutuu kuplina virtauksen mukana. Pintailmastimet voivat olla muodoltaan kartio-, suihku- tai harjailmastimia. (Kettunen ym. 2006, 72–73.)

Viinikanlahden ilmastusaltaissa ei ole mahdollista käyttää pelkästään pinta-ilmastusta, sillä altaiden syvyys on 5 m ja pinta-ilmastimille suositeltu allassyvyys on 2–3,5 m (Kettunen ym. 2006, 72). Pintailmastimista kartioilmastimen upotussyvyys on noin 3,5 m, mutta imuputkea apuna käyttämällä upotussyvyyttä on mahdollista lisätä jopa kuuteen metriin. Pintailmastimien hyvä puoli on se, että kompressoreita ja ilmastusputkia ei tarvita. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 529.)

Yhdistelmäilmastus voi toimia myös siten, että paineilma syötetään potkureiden läheisyyteen, jolloin roottorin siivet rikkovat karkeat kuplat pienemmiksi, jolloin myös hapetusteho paranee (Kettunen ym. 2006, 72).

Jäteveden sekoituksen ja ilmastuksen hoitaminen samalla laitteella olisi myös energiansäästö ja sitä kautta kustannusten myötä kannattava ratkaisu. Kyseinen sekoitin-/ilmastinyhdistelmälaite löytyy muun muassa Waterixin valikoimasta. Waterix DENIT -laitteiden lupaama korkea hyötysuhde ilmastuksessa on mahdollista laitteen tukkeutumattoman rakenteen vuoksi. Laitteissa on myös taajuusmuuttajat, jolloin energiakustannukset on mahdollista optimoida. Taulukosta 1 nähdään yhdistelmäilmastimien arvoja. (Waterix 2015).

TAULUKKO 1. Waterixin yhdistelmäilmastimista (Muokattu lähteestä Waterix 2015)

| | | DENIT 440 | DENIT 1400 |
|---|-----------------------|------------------|-------------------|
| Hapensiirtokyky | kgO ₂ /h | 8,0 | 23,4 |
| Hapensiirron hyötysuhde | kgO ₂ /kWh | 1,6 | 1,6 |
| Moottorin ottoteho ilmastuksessa | kW | 5,0 | 14,6 |
| Moottorin ottoteho sekoituksessa | kW | 1,9 | 6,5 |
| Työntövoima sekoituksessa | N | 440 | 1400 |
| Veden virtaus ilmastus/sekoitus | l/s | 160/112 | 860/590 |
| Paino | kg | 70 | 340 |
| Paino kellukkeilla | kg | 110> | 450 |

Yhdistelmälaiteissa ei myöskään ole osia, joita tarvitsisi säännöllisesti vaihtaa ja taajuusmuuttaja on lisäksi ohjelmoitu puhdistamaan potkuri säännöllisin ajoin vaihtamalla pyörimissuuntaa. Vuosittaisia huoltoja lautasilmastimiin ei näin ollen tarvittaisi ja käytönaikaisia kustannuksia saataisiin alennettua, kun laite optimoi itse ilmansyötön ja sekoituksen. (Waterix 2015.)

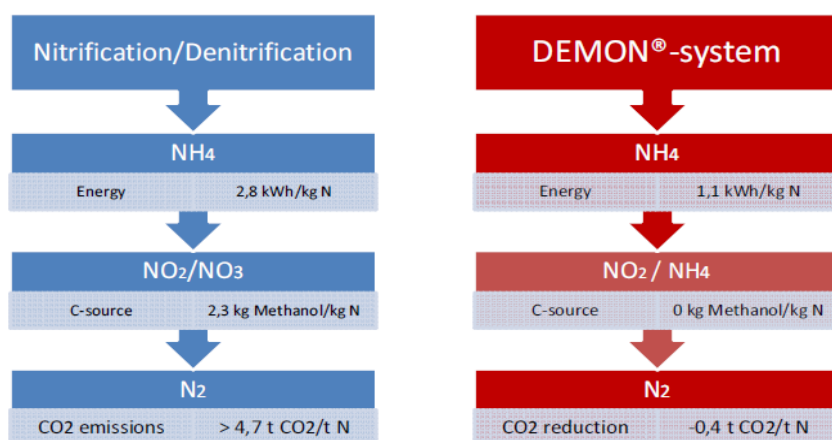
8.3.2 Typenpoiston tehostaminen uudella tekniikalla

Uutena tekniikkana on typenpoistoon ja sen hyötykäyttöön lannoitteena oleva Envistone-prosessi. Prosessi ei ole riippuvainen veden lämpötilasta, ja lisättävien kemikaalien määrä on alhainen. Typenpoisto on tehokasta myös talviaikaan. Envistone perustuu ammoniumtypen reaktiiviseen suodatukseen. Se koostuu luonnollisesti reaktiivisista imeyttäjistä ja ilmastusyksiköistä. Toisin kuin tavanomaisten prosessien, Envistonon toiminta ei riipu veden lämpötilasta eikä

siinä ole tarvetta suurille betonialtaille, sillä vesi kulkeutuu zeoliittikiveä olevan suodattimen läpi. (Envitop Ltd 2014.)

Envistone-typenpoistossa tapahtuu ammoniumtypen hapetus nitraatiksi. Luonnonkivi-ioninvaihtosuodatin imee vedessä olevat ammonium-ionit itseensä, minkä jälkeen suodatin regeneroidaan, eli siihen tuodaan hapekasta vettä, jolloin tapahtuu nitrifikaatioprosessi. Envistone-prosessia tutkittu pääasiassa kaatopaikkavesien käsittelyssä, ja prosessi on käytössä ainakin Majasaaren jätekeskuksessa. Lakeuden keskusjätevedenpuhdistamon ympäristölupahakemuksessa käsiteltiin Envistone-prosessin käyttöönottoa laitoksella ja sen aiheuttamia kustannuksia. (Lakeuden Keskuspuhdistamo Oy 2007.) Suodattimet tehdään aina erillisinä ja Envistone-tyyppinen typen talteenotto olisi kuitenkin järkevämpää toteuttaa heti ensiasennusvaiheessa Sulkavuoren keskuspuhdistamoon, jolloin suodattimien koot voitaisiin mitoittaa sinne (Palko 2015).

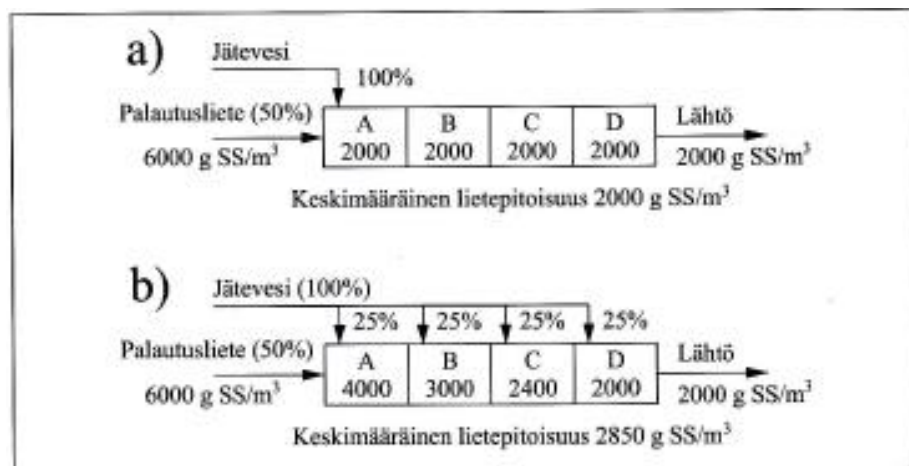
Typenpoistoprosessin vaihtaminen denitrifikaatiosta deammonifikaatioon olisi kustannustehokasta, sillä prosessin hapen tarve ja sitä kautta energiankulutus pienenesi lähes 60 % ja lietettä muodostuisi 20 % vähemmän. Kuvioista 14 nähdään, että patentoidulla uudella DEMON[®]-prosessilla typenpoisto tehostuisi, sillä prosessi on suhteellisen yksinkertainen. Siinä tapahtuu ammoniumin nitriitiksi muuntumista sekä anaerobista ammoniumin hapetusta nitriitin kautta typpikaasuksi. (Econet Group Oy 2013.)



KUVIO 14. Vertailu energiankulutuksesta ja hiilidioksidipäästöistä (Econet Group Oy 2013)

8.3.3 Tulevan veden syöttäminen biologiselle laitokselle

Biologiselle laitokselle tuleva vesi voitaisiin syöttää myös useampaan eri kohtaan allasta, eikä ainoastaan yhteen pisteeseen kuvion 15 mukaan. Tällaisessa portaittaisessa jäteveden syötössä etuna on tehokkaampi ilmastusaltaan tilavuuden käyttö. Lisäksi jos veden syöttäminen tapahtuisi siten, että se levittyisi altaan pinnalle, niin se ehtisi sekoittua ilman kanssa jo ennen aktiivilietealtaaseen putoamista, joten vesi ikään kuin saisi esi-ilmastuksen. Portaittaisessa järjestyksessä myös keskimääräinen lietepitoisuus kasvaisi. Tulovirtaaman järjestykseen on kiinnitettävä huomiota, sillä se on haastavampi toteuttaa kuin veden ohjaaminen yhteen pisteeseen. (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 532–533).



KUVIO 15. Portaittainen jäteveden syöttäminen (Karttunen, Tuhkanen & Kiuru 2004, 532)

8.3.4 Kiintoaineen mittaaminen aktiivilietealtaassa

Lisäksi ilmastusaltaiden kiintoainemittauksen lisääminen tehostaisi kiintoaineen määrän valvontaa, jolloin lietteen määrä olisi mahdollista pitää tasaisena prosessin kannalta. Suositeltu kiintoainemäärä on noin 4 g litrassa. (Kettunen ym. 2006, 68.) Silloin aktiiviliete ei kuluta liikaa ilmaa prosessiin ja lietteen sekä mikrobien määrä pysyy mahdollisimman vakiona.

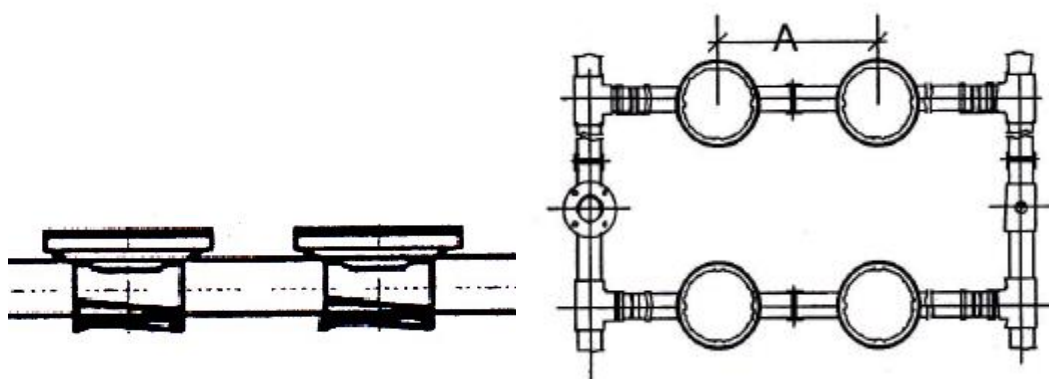
Ylijäämälietepumppujen automatisointi auttaisi myös optimoimaan altaan kiintoainemäärää ja pitäisi sen tasaisena tulevan veden määrän tai laadun vaihteluista huolimatta. Lisäksi tulovirtaaman perusteella voisi säätää

palautuslietteen määrää ilmastusaltaissa. Biologisen prosessin ilmastukseen voisi lisätä mittareita mittaamaan myös esimerkiksi ammonium- ja nitraattitypen määrää prosessin sekä kemikaalien syötön optimoimiseksi. (Rautio 2012, 43-44.)

8.3.5 Ilmastuslautasten pinta-alan kasvattaminen

Ilmastuksen käyttökustannusten vertailussa yksinkertainen keino on laskea, kuinka paljon happea saadaan liuotetuksi käytetyn energian yksikköä (Wh) kohti. Menetelmien vertailu tulisi kuitenkin tehdä samanlaisissa olosuhteissa, sillä hapen liukenemisnopeus riippuu kyllästysvajauksesta. (Karttunen 1999, 53-55.)

Varsinaisena ilmastusalana toimii ilmastinlautasen päällä oleva kumikalvo ja sen pinta-ala. Viinikanlahdessa on tällä hetkellä kumikalvot, joiden tehollinen halkaisija on 190 mm, ja pinta-ala täten noin 0,028 m². Yhdessä ilmastusaltaassa on viisi lohkoa ja yhteensä 1386 ilmastinta. Lautasilmastimen kokonaishalkaisija reunakiinnitys mukaan lukien on 215 mm. Viinikanlahden ABS Nopon KKI 215 -ilmastimet on mahdollista vaihtaa halkaisijaltaan suuremmille 300 mm:n PRF-lautasilmastimille, jolloin ilmastuskapasiteetti lisääntyy. Jälkiasentaminen onnistuu suoraan olemassa oleviin kiinnittimiin, jolloin kustannuksia syntyy vain uusista ilmastimista. Kuvion 16 ABS Nopon -ilmastimia myy muun muassa Sulzer. (Sulzer 2015.)



KUVIO 16. ABS Nopon -lautasilmastinjärjestelmä (ABS Nopon Oy Ltd 2001)

Taulukosta 2 nähdään Viinikanlahden uusimpien linjojen 7 ja 8 nykyisen ilmastusjärjestelmän ilmamäärät ja hapensiirtotehokkuudet. Taulukon laskelmat ovat Sulzerin Petri Ukkosen (2015) tekemiä ja liitteessä 7 ovat linjojen seitsemän

ja kahdeksan piirustukset sekä ilmastimien ryhmittelyt lohkoissa. Laskelmien mukaan kahden ilmastuslinjan vuotuinen energiankulutus on 1488006 kWh (Ukkonen 2015).

TAULUKKO 2. Viinikanlahden nykyisen ilmastusjärjestelmän KKI 215 mitoitus (Ukkonen 2015)

| Lohko | Ilmastin lkm | Ilmamäärä n-m ³ /h | Ilmamäärä n-m ³ /h/ilmastin | SOTR kgO ₂ /h | SOTE % | Ilmanjakoputken laippakoko |
|--------------|--------------|-------------------------------|--|--------------------------|--------|----------------------------|
| 1 | 243 | 729 | 3,0 | 52 | 26 | 1 x DN150 |
| 2 | 225 | 675 | 3,0 | 48 | 25 | 1 x DN150 |
| 3 | 297 | 891 | 3,0 | 67 | 27 | 1 x DN150 |
| 4 | 397 | 1191 | 3,0 | 86 | 26 | 1 x DN150 |
| 5 | 224 | 672 | 3,0 | 41 | 22 | 1 x DN150 |
| Yht/linja | 1386 | 4158 | - | 294 | - | - |
| Yht/2 linjaa | 2772 | 8316 | - | 588 | - | - |

Jos oletetaan reunakiinnityksen olevan samansuuruinen 25 mm, niin tehollinen ilmansyöttöhalkaisija 300 mm ilmastimessa on 275 mm. Pienemmän kalvon pinta-ala on 0,028 m² ja suuremman kalvon 0,059 m². Kalvon tehollinen pinta-ala kasvaa tällöin noin 110 %. Taulukossa 3 on laskettu PRF 300 -laajennuksen tuottamat hyödyt, kun uudella järjestelmällä on sama ilmamäärä kuin nykyisellä mitoituksella. Mitoitustavalla 1 kahden linjan energiankulutus olisi 1445778 kWh ja energiankulutuksessa säästettäisiin 3 % sekä hapetuskapasiteetti kasvaisi 25 %:lla. Taulukossa 4 on mitoitustavalla 2 lasketut hyödyt, jolloin hapetuskapasiteetti SOTR pysyisi samana kuin nykyisellä mitoituksella. Mitoitustavalla 2 kahden linjan vuotuinen energiankulutus olisi 1140083 kWh ja nykyiseen verrattuna energiankulutus vähenee 23 %:lla sekä ilmankulutus vähenee 21 %:lla. Liitteessä 8 ovat ilmastusjärjestelmän laajennuksen piirustukset. (Ukkonen 2015.)

TAULUKKO 3. Mitoitustavalla 1 saatavat hyödyt (Ukkonen 2015)

| Lohko | Ilmastin lkm | Ilmamäärä n-m ³ /h | Ilmamäärä n-m ³ /h/ilmastin | SOTR kgO ₂ /h | SOTE % | Ilmanjakoputken laippakoko |
|--------------|--------------|-------------------------------|--|--------------------------|--------|----------------------------|
| 1 | 243 | 729 | 3,0 | 63 | 31 | 1 x DN150 |
| 2 | 225 | 675 | 3,0 | 58 | 31 | 1 x DN150 |
| 3 | 297 | 891 | 3,0 | 79 | 32 | 1 x DN150 |
| 4 | 397 | 1191 | 3,0 | 104 | 31 | *2 x DN150 |
| 5 | 224 | 672 | 3,0 | 56 | 30 | *2 x DN150 |
| Yht/linja | 1386 | 4158 | - | 360 | - | - |
| Yht/2 linjaa | 2772 | 8316 | - | 720 | - | - |

TAULUKKO 4. Mitoitustavalla 2 saatavat hyödyt (Ukkonen 2015)

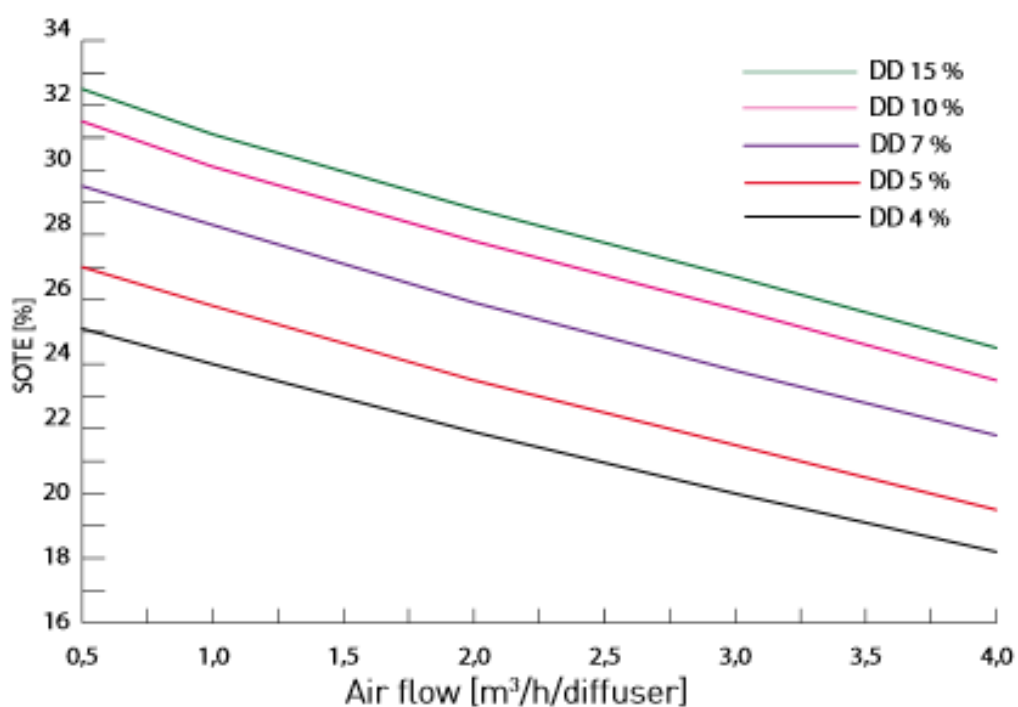
| Lohko | Ilmastin lkm | Ilmamäärä n-m ³ /h | Ilmamäärä n-m ³ /h/ilmastin | SOTR kgO ₂ /h | SOTE % | Ilmanjakoputken laippakoko |
|--------------|--------------|-------------------------------|--|--------------------------|--------|----------------------------|
| 1 | 243 | 583 | 2,4 | 52 | 32 | 1 x DN150 |
| 2 | 225 | 540 | 2,4 | 48 | 32 | 1 x DN150 |
| 3 | 297 | 743 | 2,5 | 67 | 32 | 1 x DN150 |
| 4 | 397 | 961 | 2,4 | 86 | 32 | *2 x DN150 |
| 5 | 224 | 470 | 2,1 | 41 | 31 | *2 x DN150 |
| Yht/linja | 1386 | 3297 | - | 294 | - | - |
| Yht/2 linjaa | 2772 | 6594 | - | 588 | - | - |

Ilmastuslinjojen 7 ja 8 laajennuksen investointikustannukset olisivat noin 95 000 € asennuksineen. Ukkosen (2015) mukaan saatavat hyödyt olisivat kohtalaisen suuria, jolloin investointien takaisinmaksuajaksi jäisi vain kaksi vuotta.

Ilmastuslautasten pinta-alan kasvamisella ainoastaan kahdessa ilmastuslinjassa on siis merkittävä vaikutus ilmastuksen energiankulutuksen kannalta.

Kuviosta 17 voidaan päätellä, että neljän metrin syvyydessä, 20°C lämpötilassa ja 101,3 kPa paineessa ilmastimien hapensiirtotehokkuus laskee ilmavirran lisääntyessä ilmastimen läpi. DD tarkoittaa ilmastintiheyttä, eli koko ilmastettua pinta-alaa jaettuna koko altaan pohjan pinta-alalla. (Sulzer 2015.) Koska Viinikanlahdessa ilmastimet ovat noin viiden metrin syvyydessä, voidaan taulukosta lukea suhteellisen tarkasti ilmastintiheyksien vaikutuksesta hapensiirtotehokkuuteen. Viinikanlahden ilmastimien upotussyvyys ilmastuslinjoissa on 7 ja 8 on 4,25 m. Linjojen ollessa käytännössä identtisiä muiden linjojen kanssa, voidaan olettaa muissakin linjoissa olevan sama upotussyvyys sekä ilmastimien määrä. (Ilomäki 2014.) Pinta-alaa kasvattamalla saadaan siis lisättyä hapensiirron suorituskykyä, ja koska ilmastusaltaissa ilmastimia on 1386 kpl/allas, pinta-alan kasvaminen on merkittävää.

Standard oxygen transfer efficiency, SOTE



KUVIO 17. Hapensiirron tehokkuus (Sulzer 2015)

Esimerkiksi Wilo-hienokuplailmastimilla pinta-alan ollessa $0,044 \text{ m}^2$ hapen hyödyntämisaste on $6,5\text{-}8,5 \text{ \%}/\text{m}^3$. Suhteutettuna pinta-alaltaan $0,059 \text{ m}^2$ kalvoon, olisi mahdollista saada hyödyntämisasteeksi yli $8,5 \text{ \%}$. Pienemmällä $0,025 \text{ m}^2$:n kalvolla hapen hyödyntämisaste olisi samalla periaatteella laskettuna minimissään ainoastaan $3,4 \text{ \%}$. (Wilo 2015.)

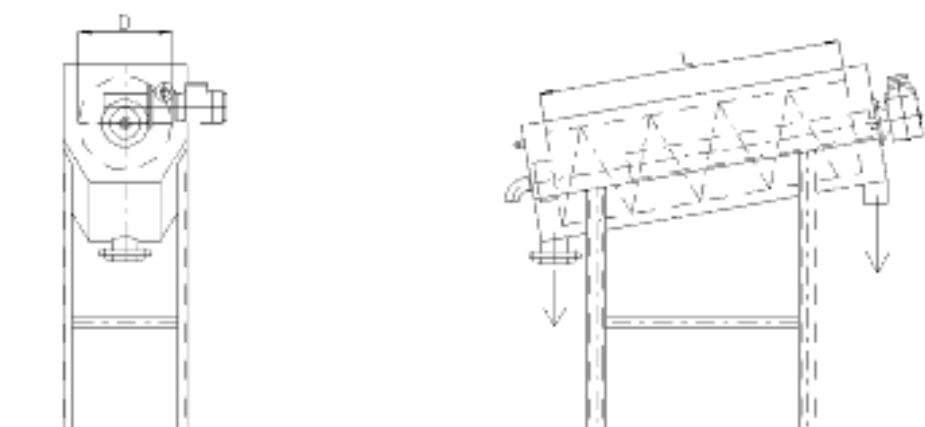
8.4 Toimenpide-ehdotuksia lietteen käsittelyyn

8.4.1 Lietteen tiivistäminen ennen mädätystä

Lietteen käsittely ennen mädätystä vaikuttaa oleellisesti prosessiin, sillä lietteessä oleva neste on lietteenkäsittelyprosessin kannalta hyödytöntä ja se nostaa tarvetta pumppaukselle. Lisäksi lietteen tilavuus on suuri sekä neste myös pidentää mädätyksen viivymäaika. Tiivistystä on mahdollista suorittaa painovoimaisesti laskeutuksella. Lisäksi tiivistyksen voi suorittaa lingoilla, suotonauhapuristimilla tai lieterummuilla. (Flippenkov 2012, 11.)

Mädätys kuluttaa paljon sähköä ja lämpöä, sillä lietteen lämpötila on pidettävä koko ajan mesofiilisen prosessin optimilämpötilassa 30-38 asteessa (Flippenkov 2012, 13-14). Mitä enemmän lietteessä on vettä, sitä enemmän energiaa kuluu mädätykseen. Laitoksella on aikaisemmin ollut käytössä erillinen tiivistyslinko, mutta se ei ole enää toiminnassa. (Oksanen 2015.) Mädätykseen johdettavan lietteen esitiivistykseen käytetään yleisesti rumputiivistintä, ja sen asentaminen laitokselle olisi teoriassa mahdollista. (Rissanen 2015.) Rumputiivistimellä on mahdollista nostaa lietesakeuksia, ja sillä päästään parempaan sakeuteen kuin esimerkiksi gravitaatioon perustuvalla tiivistämisellä. Mädättämöön syötettävän lietteen määrään vaikuttaa myös lietteen sakeus reaktorin koon ohella. (Salmela & Kymäläinen 2014, 5.)

Rumputiivistin on rakenteeltaan suljettu, joten sen sijoittaminen laitokselle on suhteellisen helppoa. Kuviossa 18 esitetään rumputiivistimen rakenne. Kaksivaiheisen tiivistysprosessin ensimmäisessä vaiheessa tapahtuu lietteen ja polymeerien sekoittuminen flokkulaattorissa olevalla taajuusmuuttajasäätöisellä propellisekoittimella. Toisena vaiheena rumputiivistimessä erotetaan jäljelle jäänyt vesi pyörivässä rummussa, jossa vesi kulkeutuu läpi rummun pinnasta ja ruuvikierukka kuljettaa erottuneen lietteen rummusta läpi. Jotta vesi poistuisi lietteestä mahdollisimman tehokkaasti, niin tiivistimen ruuvikierukka sekoittaa lietettä rummun sisällä mahdollisimman hitaasti. (Hiula 2014, 8.)



KUVIO 18. Rumputiivistimen rakenne (Hiula 2014, 8)

Kuiva-ainepitoisuus rumputiivistyksen jälkeen on ohuemmassakin lietteessä noin 6-9 -prosenttista (Hiula 2014, 8). Kuitenkaan ei ole kannattavaa tiivistää lietettä liikaa, sillä sen aiheuttama vastus pumppaamisen yhteydessä kasvaa ja sitä kautta pumppujen energiankulutus kasvaa. Tämänhetkistä kuiva-ainepitoisuutta sakeutuksen jälkeen voisi kuitenkin hieman nostaa, sillä on myös turhaa pumpata vettä edestakaisin laitoksella. (Oksanen 2015.)

Kuopion Lehtoniemen puhdistamolla käsiteltävän lietteen mekaaninen tiivistäminen ennen mädätysprosessia on auttanut myös parantamaan laitoksen energiatehokkuutta (Kuopion Vesi 2015).

8.4.2 Biokaasun hyödyntämismahdollisuudet

Biokaasumoottorille voisi mahdollisesti asentaa ORC-laitteiston, joka hyödyntäisi pakokaasulämpöä sähkön tuotantoon. ORC eli Organic Rankine Cycle -teknologian avulla on mahdollista tuottaa sähköä hukkalämmöstä. Noin 300-asteinen lämmönlähde on jo riittävä tähän tarkoitukseen. Polttoaineen ja energian kulutusta voidaan vähentää ORC-järjestelmällä. Eräänä kaupallisena sovelluksena on muun muassa Siemensin valmistama järjestelmä, jossa työaineena on myrkytön ja otsonikerrokselle haitaton silikoniöljy. Siemensin laitteistossa höyrystin pyörittää ORC-turbiinia, joka välittää voiman sähkögeneraattorille. Malliston pienimmät ORC-järjestelmät ovat sähköntuotoltaan 400 kW ja 600 kW. Niiden tehontarpeet ovat vastaavasti 25 kW ja 33 kW. (Siemens 2015.) Laitteiston asentaminen vaatisi kuitenkin huomattavasti lisäselvityksiä ja lisäksi se myös riippuu eri tekijöistä. Laitteiston avulla voitaisiin saada aikaan sähkön lisätuotantoa. (Fred 2013.)

Viikinmäellä on otettu käyttöön kaasumoottoreille ORC-voimalaitoskokonaisuus. Laitteisto oli pakettiratkaisu, ja se soveltuu suurillekin moottoreille. Viikinmäellä on käytössä viisi kaasumoottoria, joista uusimman sähköteho on 1,5 MW. Kuvan 6 laitteiston investointikustannukset olivat kaikkineen noin 1 000 000 € ja työ- ja elinkeinoministeriön energiatukea hankintaan saatiin noin 40 % hankkeen sisältämän uuden teknologian vuoksi. Lisäksi sen tarkoituksena oli lisätä uusiutuvan energian käyttöä. Laitteiston toimittaja oli Sarlin Oy Ab ja valmistaja

oli hollantilainen Triogen. (Fred 2015.) Triogen (2015) lupaa ORC-laitteistolle takaisinmaksuajaksi noin kahdesta viiteen vuotta.



KUVA 6. Viikinmäen ORC-laitteisto (Korhonen 2014)

Ylijäämäbiokaasua voisi vaihtoehtoisesti myydä jatkojalostukseen liikennepolttoaineeksi tai jalostaa laitoksella itse. Jalostaminen tarkoittaa kaasun puhdistusta hiilidioksidista sekä muista epäpuhtauksista ja paineistusta kompressorilla 200-250 barin paineeseen. (Latvala 2005, 14.)

Kaasun siirtäminen jalostettavaksi ei ole kannattavaa, jos laitos sijaitsee kaukana, sillä siirtoputkia ei ole järkevää rakentaa yli kolmea kilometriä pidemmiksi kaasun määrän ollessa usein melko rajallinen. Ajoneuvokäyttöön jalostettu biokaasu voidaan myös siirtää laitokselta rekkakonteissa painepulloilla, jolloin erillistä siirtoverkkoa ei tarvita ja kustannuksista säästetään. (Latvala 2005, 15.)

Laitoksella liikennepolttoaineen jalostamista varten investointikustannukset olisivat noin 400-1200 €/kW_{lämpöä}. Lisäksi käytönaikaiset kustannukset ja huoltokustannukset olisivat noin 0,01-0,045 €/kW_{lämpöä}. Jos laitos tuottaa noin 200-300 m³/h biokaasua, kustannus olisi noin 11-17 senttiä/m³ puhdistettua kaasua. (Latvala 2005, 13,18.)

8.4.3 Termofiilinen prosessi

Mesofiilisen prosessin vaihtaminen termofiiliseen prosessiin mahdollistaisi kiintoaineen suuremman pitoisuuden ja lisäksi se lyhentäisi viipymäaikaa, sillä korkeampi lämpötila (50-55 °C) nopeuttaisi hajoamisreaktiota. Termofiilinen prosessi nostaisi myös mädätyskapasiteettia. (Suomen ympäristökeskus 2011.) Sen toteuttaminen onnistuisi esisaostamalla lietettä kemikaalien avulla jo esiselkeytysvaiheessa, jolloin raakalietettä saataisiin enemmän. Raakaliete on energiantuoton kannalta parempaa kuin ilmastuksen ylijäämäliete ja näin ollen myös biokaasua saataisiin enemmän. Lisäksi ilmastusprosessi hyötyisi esisaostuksesta, sillä ilmaa ei tarvitsisi syöttää niin paljon altaisiin. (Rautio 2012, 50.)

Kohonnut kaasun tuotto tarkoittaa sitä, että orgaanista ainetta hajoaa enemmän, jolloin lietemäärät ovat pienempiä sekä polymeerimäärät lietteen kuivauksessa vähenevät lietemäärän ollessa vähäisempää. Lietteiden kuljetuksen kustannukset myös vähenevät. Termofiilinen mädätys toimisi ratkaisuna myös kasvaviin lietemääriin. (Suomen ympäristökeskus 2011.)

Kustannusten lisäksi tulee myös ottaa huomioon termofiilisen mädätyksen haitat, sillä prosessi itsessään vaatii enemmän lämpöä. Vaarana on, että esisaostuksen sekä termofiilisen mädätyksen hyödyt kumoutuvat lisääntyneen mädätyksen lämmöntarpeen johdosta. (Rautio 2012, 49-50.) Prosessin nopeat reaktiot reagoivat myös nopeammin olosuhteiden muutoksiin, joten prosessin hallinta vaatii enemmän tarkkaavaisuutta kuin mesofiilinen prosessi (Suomen ympäristökeskus 2011).

Suomen ympäristökeskuksen tekemän pilottikokeen (2011) mukaan mesofiilinen prosessi on suhteellisen helppo muuttaa termofiiliseksi nostamalla mädättämön lämpötila nopeasti termofiilisen prosessin 50-55 °C optimilämpötilaan. Tehdyssä kokeessa kaasun tuotto 1,5-kertaistui mesofiilisen prosessin kaasuntuottomäärään verrattuna. (Suomen ympäristökeskus 2011.) Lisääntyneellä biokaasulla saataisiin myös Viinikanlahden sähköntuotantoa lisättyä, jotta se kattaisi kiinteistön koko sähköntarpeen. Jos sähkön hinta olisi kalliimpaa, ei mädätyksen vaatiman lämpöenergian kasvu välttämättä kumoisi

saatua hyötyä. Lisäksi Viinikanlahti voisi neuvotella kaupungin kanssa sähkön myymisestä verkkoon.

8.5 Lämmön talteenottojärjestelmä puhdistetusta jätevedestä

Jätevesi sisältää huomattavasti siihen sitoutunutta lämpöenergiaa, joka kulkeutuu laitokselta suoraan Pyhäjärveen. Puhdistettu jätevesi voitaisiin kierrättää lämpöpumpun kautta, joka ottaisi talteen veden sisältämän lämpöenergian. Turun Kakolanmäen puhdistamolla on tällä hetkellä käytössä vastaavalla tavalla toimiva lämpöpumppulaitos. (Turku Energia 2015.) Lisäksi Kuopion Lehtoniemen puhdistamolla on menossa selvitystyö vesistöön johdettavan veden lämmön talteenotosta yhdessä Kuopion Energian kanssa (Kuopion Vesi 2015).

Jätevedestä talteen otettu lämpöenergia olisi mahdollista hyödyntää eri tavoin laitoksella. Esimerkiksi lämmittämällä biologiselle laitokselle tulevaa jätevettä tai ilmastusaltaita saataisiin tehostettua erityisesti typenpoistoa ja saataisiin pidettyä nitrifikaatioprosessi käynnissä pidemmän aikaa vuodesta, kun ilmastusaltaiden lämpötila pysyisi yli 12 asteessa. Vaihtoehtoisesti lämpöä voitaisiin käyttää puhdistamoalueen rakennusten lämmittämiseen tai myydä kaukolämpöverkoston. (Mäkinen 2010.)

Tällä hetkellä on olemassa melko vähän tutkimuksia siitä, kuinka ilmastusaltaiden lämmittäminen puhdistetun jäteveden lämpöenergialla käytännössä onnistuu. Haasteena saattaisivat olla lämmönvaihtimien likaantuminen sekä siitä johtuva puhdistaminen. Puhdistetun jäteveden lisäksi lämmönvaihtimet tarvittaisiin myös ilmastusallasta tai tulevaa jätevettä lämmittämään, ja kiintoaineen määrä on niissä huomattavan suuri, joten lämmönvaihtimien puhdistus olisi ongelmallista sekä lisäkustannuksia aiheuttavaa. (Mäkinen 2010.) Lämmön talteenottojärjestelmän asentaminen vaatisi kuitenkin kokonaisuudessaan paljon lisäselvitystä ja kustannusten arvioiminen ennen sitä olisi vaikeaa (Rissanen 2015).

9 YHTEENVETO

9.1 Tulosten yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä on tuotu esille erilaisia energiansäästöön liittyviä toimenpide-ehdotuksia vuonna 1972 rakennettuun Viinikanlahden jätevedenpuhdistamoon. Tampereen Vesi on ottanut asiakseen parantaa vesihuollon energiatehokkuutta niin prosesseissa kuin kiinteistöissä. Taustalla ovat EU:n määrittelemät tavoitteet energiankulutuksen pienentämisestä 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä. Tampereen Vesi teetti vuoden 2013 aikana kartoituksen Schneider Electricilla Viinikanlahden puhdistamon energiavirroista, ja tarkoituksena oli lähteä pohtimaan erinäisiä toimenpiteitä saatujen tulosten pohjalta.

Opinnäytetyö toteutettiin perehtymällä tehtyyn energiakartoitukseen sekä sen sisältämiin tehonmittausraporttiin, prosessikartoitukseen ja laitoksen energiajakaumaan. Tärkeinä lähteinä työssä olivat Tampereen Veden Wahti-raportointiohjelma sekä Tampereen Veden vuosikertomukset, ympäristöraportit, tilastot sekä asiakaslehdet.

Haasteena työssä oli soveltaa toimenpide-ehdotuksia puhdistamoon, joka tulisi siirtymään vuoden 2021 aikana Sulkavuoreen, jonne on tarkoitus rakentaa uusi keskusjätevedenpuhdistamo kallon sisään. Laitokselle ei olisi tässä vaiheessa kovin kannattavaa tehdä massiivisia laiteinvestointeja, vaan toteutuskelpoisten ratkaisujen tulisi olla prosessin optimointiin liittyviä automatisointeja tai mittaroinnin lisäämistä.

Toimenpide-ehdotukset ovat kaikki teoriassa toteutuskelpoisia kyseiselle puhdistamolle, mutta suurin osa niistä kaipaisi jatkotutkimuksia ja lisäselvityksiä. Investoinnit eivät myöskään olisi kovin massiivisia, sillä suurimmat investoinnit olisivat lietteen rumputiivistin sekä biokaasun jalostaminen liikenneajoneuvokäyttöön. Lisäksi ilmastuksessa olisi mahdollista saavuttaa energiansäästöä korvaamalla olemassa olevat, halkaisijaltaan 215 mm ilmastuslautaset, suuremmilla 300 mm lautasilla, jolloin ilmastusaltaiden hapetuskapasiteetti kasvaisi ja hapen siirtyminen veteen tehostuisi. Uusien

ilmastuslautasten vaihtaminen pelkästään kahteen linjaan toisi säästöjä laitokselle, sillä investoinnin takaisinmaksuajaksi on laskettu noin kaksi vuotta. Tällä hetkellä biokaasulla katetaan laitoksen lämmitystarve noin 70-80 %:sesti, joten sitä ei kannattaisi tämänhetkisellä kaasun tuotolla nesteyttää liikenneajoneuvokäyttöön. Uuden typenpoistotekniikan käyttöönotto ei myöskään olisi kovin kannattavaa tämän hetkiselle laitokselle, sillä uusien typenpoistosuodattimien mitoittaminen ja asentaminen olisi kustannus mielessä järkevämpää tulevaan keskuspuhdistamoon.

9.2 Työn haasteet

Tiedonkeruu osoittautui luultua haastavammaksi. Vertailupuhdistamoiden tiedoilla olisi mahdollisesti voitu saada lisätietoa energiansäästömahdollisuuksista, sillä joillain puhdistamoilla oli tehty energiatehokkuuteen tähtääviä saneerauksia. Lisäksi vastaavia tutkimuksia puhdistamoiden energian tehostamisesta ei ollut tehty. Muutamia lopputöitä oli tehty energiankäytön tehostamisesta puhtaan veden puolelta, joten prosessit tai ehdotetut toimenpiteet eivät olleet vertailukelpoisia tämän opinnäytetyön kanssa.

Työtä tehdessä itselleni muodostui selkeä kokonaiskuva jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessista sekä merkittävimmistä yksikköprosesseista energiankulutuksen kannalta.

LÄHTEET

ABB. 2008. Mikä taajuusmuuttaja on [viitattu 14.3.2015]. Saatavissa:

<http://www.abb.fi/cawp/db0003db002698/d5b664f5dd909412c1257291003ef7cc.aspx>

ABS Nopon Oy Ltd. 2001. DDS asennusohje. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo.

Alfa Laval. 2008. Lietteen lämmönvaihdin. Tekninen erittely. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo.

Alfa Laval. 2015. Linko DSNX -käyttöohje. Käyttöohje. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo.

Arkiomaa, M. 2012. Lietteen kalkkikäsittely gravitaatiotiivistyksessä ja rejektiveden erilliskäsittelyssä [viitattu 17.1.2015]. Diplomityö. Saatavissa: civil.aalto.fi/fi/midcom-serveattachmentguid-1e46996efed83d6699611e49dbf7562edde019d019d/arkiomaa2012.pdf

Deutz. 2002. TBG 620. Description. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo.

Econet Group. 2013. Kohti energiaomavaraista jätevesilaitosta. Vesi- ja vihreä talous seminaari [viitattu 19.3.2015]. Saatavissa:

http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.syke.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257B393D8349-3359-455E-862E-814386A950E3%257D%2F77789&ei=DlsuVd_AI4u5sQGD9YDgCQ&usg=AFQjCNFclJ4dVvJaUioJ16JO4AVENvIzA&sig2=nVmyBMv3mC41USin18u-2A&bvm=bv.90790515,d.bGg

Envitop Ltd. 2014. N-reduction from cold wastewater [viitattu 19.3.2015].

Saatavissa:

http://www.envitop.com/files/pdf/envistone_brochure_wtpp_2014v2.pdf

Flippenkov, I. 2012. Yhdyskuntalietteen linkouksen ja polymeroinnin optimointi Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla [viitattu 18.1.2015]. Insinööriyö. Saatavissa:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38389/Filippenkov_Igor.pdf?sequence=1

Fred, T. 2013. Mädätys HSY:n jätevedenpuhdistamoilla. Mädätyksen rakenne- ja laitetekniikka seminaari [viitattu 3.3.2015]. Saatavissa:

www.vesiyhdistys.fi/pdf/Tommi_Fred_HSY.pdf

Fred, T. 2015. Re: ORC-laitteisto [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Luomanen, J. Lähetetty 14.4.2015.

Hakkarainen, A. 2011. Kiintoaineen ja nesteen erotusprosessit lignoselluloosaetanolin tuotannossa [viitattu 16.2.2015]. Kandidaatintyö. Saatavissa:

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69702/nbnfife201104291494.pdf?sequence=3>

Hiula, M. 2014. Oikeiden tuotevariaatoratkaisujen löytäminen olemassa olevan tuotekannan pohjalta [viitattu 4.2.2015]. Diplomityö. Saatavissa:

<https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22254/Hiula.pdf?sequence=1>

Ilomäki, S. 2014. Käyttöinsinööri. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo. Haastattelu 29.1.2015.

Japrotek Oy Ab. 2010. Huoltokansio. Jamix-Sekoitin. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo.

Jyväskylän Seudun Puhdistamo Oy. 2009. Nenäinniemen puhdistamo [viitattu 23.1.2015]. Saatavissa: <http://www.js-puhdistamo.fi/index.php?id=6>

Karttunen, E. 1999. Vesihuoltotekniikan perusteet. Helsinki. Opetushallitus.

Karttunen, E., Tuhkanen, T. & Kiuru, H. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto 2. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL r.y.

Kettunen, R., Rintala, J., Hänninen, K. & Luostarinen, S. 2006. YMPA212 Jätevesien käsittelyprosessit ja -laitokset 1. Luentomoniste [viitattu 15.12.2014].

Saatavissa Lahden ammattikorkeakoulun reppu-suvuilla:

<http://reppu.lamk.fi/mod/folder/view.php?id=258037>

Koivusaari, M. & Piriou, M. 2013. Prosessikartoitus. Kartoitusraportti.

Tampereen Vesi.

Korhonen, R. 2014. Viikinmäen jätevedenpuhdistamon energiantuotannon tehostaminen. Kaasumoottorikannan uusiminen ja ORC-hanke [14.4.2015].

Saatavissa: http://www.vvy.fi/files/3649/Korhonen_Riikka.pdf

Kuopion Vesi. 2015. Lehtoniemen jätevedenpuhdistamo [viitattu.19.1.2015].

Saatavissa: <http://www.esitteemme.fi/kuopionvesi/WebView/>

Lahti Aqua. 2015. Jätevedenpuhdistus. [viitattu 18.1.2015]. Saatavissa:

<http://www.lahtiaqua.fi/Toiminta/J%C3%A4teveden%20puhdistus/J%C3%A4tevedenpuhdistamot>

Lakeuden Keskuspuhdistamo Oy. 2007. Lakeuden Keskuspuhdistamon ympäristölupa, Kempele, Liminka, Oulunsalo ja Lumijoki [viitattu 12.3.2015].

Saatavissa:

<http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCcQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ymparisto.fi%2Fdownload%2Fnoname%2F%257B094CBF56-9943-4F12-A92B-B2662628FDD4%257D%2F86838&ei=E3MvVcemOMetsAGK-IHwBg&usq=AFQjCNGZesSgf9kQEBHaVbHX0zkwM-K0Jw&sig2=VZ0kP8cNfqTEiqFH0pywAw&bvm=bv.91071109,d.bGg>

Latvala, M. 2005. Jätevesilietteen anaerobinen käsittely ja biokaasun hyötykäyttö [viitattu 12.3.2015]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/files/7934/Jatevesilietteen_anaerobinen_kasittely_ja_biokaasun_hyotykaytto.pdf

Lappeenranta University of Technology. 2015. Suurnopeuskompressori [viitattu 17.3.2015]. Saatavissa:

<http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.lut.fi%2Fdocuments%2F10633%2F20810>

[%2Fkompura.pdf%2Fa2968cc4-fffc-44de-92a3-0287eb3bceb1&ei=pJ0vVeiaO8ahyAOI6YFg&usg=AFQjCNHkkBw9GcN9gFRxkIidMxcGTi_d7Q&sig2=9fd_2kI5Lm0liMBXtkweOg](#)

Mannermaa, H. 2013. Online-mittaukset lietteenkuivauksen optimoinnissa [viitattu 29.2.2015] Diplomityö. Saatavissa:

<http://herkules.oulu.fi/thesis/nbnfioulu-201305291358.pdf>

Meiseri, A. 2014. Re: Materiaalipyynnö [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Luomanen, J. Lähetetty 2.12.2014.

Metso. 2011. Metso total solids transmitter. Luotettava jätevesien hallinta [viitattu 15.3.2015]. Saatavissa:

http://valveproducts.metso.com/cct/products/Metso_TS/Brochures/B6303.2-FI%20Metso%20TS.pdf

Mäkinen, J. 2010. Pättin jätevedenpuhdistamon nitrifikaation tehostaminen ja energiatehokkuuden parantaminen. Jyväskylän yliopisto [viitattu 5.3.2015]. Pro gradu tutkielma. Saatavissa:

http://www.vvy.fi/kehittamisrahasto/yh_vanhat_ei_saa_poistaa/jatevedet/pattin_ja_tevedenpuhdistamon_energiatehokkuuden_parantaminen

Oksanen, A. 2015. Konekunnossapitoinsinööri. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo. Haastattelu 19.3.2015.

Oulun Vesi. 2014. Veden tuotanto ja puhdistus [viitattu 11.12.2014]. Saatavissa:

<http://www.oulunvesi.fi/puhdistamot>

Oy HV-Turbo Suomi Ab. 2011. Asennusohje. Landia-Potkurisekoitin POP –I 2,2 kW-150 1/min. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo.

Palko, J. 2015. Re: Envistone-prosessista lisätietoja [sähköpostiviesti].

Vastaanottaja Luomanen, J. Lähetetty 14.4.2015.

Paronen, P. 2012. Viinikanlahden puhdistamon typenpoisto DN-prosessilla [viitattu 24.02.2015] Opinnäytetyö. Saatavissa:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41237/Paronen_Petra.pdf?sequence=2

Pöyry Finland Oy. 2011. Energiatehokkaat pumput. Opas energiatehokkaiden pumppujen hankintaan ja pumppausjärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseen. Motivan julkaisu [viitattu 13.4.2015]. Saatavissa:

http://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat_pumput.pdf

Rantanen, P. et al. 1999. Biologisen fosforin- ja typenpoiston tehokkuus, prosessiohjaus ja mikrobiologia. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Oy Edita Ab.

Rautio, K. 2012. Vesihuollon energiatehokkuuden kehittämismahdollisuudet tuotannonohjausjärjestelmää hyödyntäen. Lappeenrannan teknillinen yliopisto [viitattu 20.10.2014]. Ympäristötekniikan kandidaatintyö. Saatavissa:

http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/88006/Kirsi_Rautio_kandidaatinty%F6_2012.pdf?sequence=1

Rissanen, N. 2015. Re: Materiaalipyyntö [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Luomanen, J. Lähetetty 8.3.2015.

Saarela, T., Forsblom, M., Koivusaari, M. & Piriou, M. 2013. Energiakartoitus. Yhteenvetoraportti. Tampereen Viinikanlahden jätevesipuhdistamo Hatanpäänkatu 2, 33900 Tampere. Schneider Electric.

Salmela, M. & Kymäläinen, M. 2014. Lietemädättämöselvitys. Suomen lietemädättämöjen kuormitustarkastelu [viitattu 16.2.2015]. Saatavissa: <http://www.hamk.fi/tyoelamalle/hankkeet/bioliike/Documents/Suomen%20lietem%C3%A4d%C3%A4tt%C3%A4m%C3%B6t%20-%20raportti.pdf>

Siemens. 2015. Organic rankine cycle technology [viitattu 19.3.2015]. Saatavissa: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/fossil-power-generation/steam-turbines/orc.htm>

Sundberg, J. 2014. Re: Suomenojan puhdistamosta [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Luomanen, J. Lähetetty 3.12.2014.

Sulzer. 2015. Lautasilmastinjärjestelmä ABS Nopon [viitattu 27.3.2015].

Saatavissa: http://www.sulzer.com/fi/-/media/Documents/ProductsAndServices/Pumps_and_Systems/Aeration_Systems/ProductInformation/ABS_NoPON_Disc_Diffuser_System/KKI_215_TDS.pdf

Suomen Ympäristökeskus. 2011. Suomen Ympäristö 17/2011. Energiatehokas lietteenkäsittely [viitattu 18.1.2015]. Saatavissa:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37060/SY_17_2011.pdf?sequence=3

Tampereen Sähkölaitos. 2015. Lähisähkö-tarjous yrityksille [viitattu 14.4.2015].

Saatavissa:

<https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkonmyynti/yritysassiakkaatyli63a/lahisahkotarjous/Sivut/default.aspx#.VS07tZP1hpk>

Tampereen Vesi. 2011. Puhtaan veden puolesta. Tampereen Veden yleisesite [viitattu 29.2.2015]. Saatavissa:

http://www.tampere.fi/material/attachments/t/5vg0ErvO1/Tampereen_Veden_yleisesite.pdf

Tampereen Vesi. 2012. Vesitehras 2/2012. Tampereen Veden asiakaslehti.

Tampereen Vesi. 2012. Vuosikertomus ja ympäristöraportti [viitattu 24.1.2015].

Saatavissa: <http://www.tampere.fi/vesi/materiaalipankki/toimintakertomukset-jaymparitoraportit.html>

Tampereen Vesi. 2013. Vuosikertomus ja ympäristöraportti [viitattu 24.1.2015].

Saatavissa: <http://www.tampere.fi/vesi/materiaalipankki/toimintakertomukset-jaymparitoraportit.html>

Tampereen Vesi. 2014. Vesitehras 2/2014. Tampereen Veden asiakaslehti.

Turku Energia. 2015. Kakolan lämpöpumppulaitos [viitattu 18.2.2015].

Saatavissa: <http://www.turkuenergia.fi/tietoa-meista/ymparisto/energiantuotanto-ja-alkupera/tuotantolaitokset/kakolan-lampopumppulaitos/>

Triogen. 2015. Why Triogen. Benefits [viitattu 14.4.2015]. Saatavissa:
<http://www.triogen.nl/why-triogen/benefits>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2015. Energiatehokkuus [viitattu 18.1.2015].
Saatavissa: <http://www.tem.fi/energia/energiatehokkuus>

Ukkonen, P. 2015. Re: Ilmastimien vaihto Viinikanlahteen [sähköpostiviesti].
Vastaanottaja Luomanen, J. Lähetetty 15.4.2015.

Vihavainen, L. 2014. Jäteveden lämmöntalteenoton tarkastelu Kiteen
jätevedenpuhdistamolla. Mikkelin ammattikorkeakoulu [viitattu 29.2.2015].
Ylemmän ammattikorkeakoulun ympäristötekniikan opinnäytetyö. Saatavissa:

VEM motors Finland Oy. 2015. Hinnasto 2015 [viitattu 14.4.2015]. Saatavissa:
<http://www.vem.fi/userData/vem/downloads/vem-motors-fi/hinnasto/VMF-hinnasto-2015-netti.pdf>

Vesilaitosyhdistys. 2015. Miten jätevesi puhdistetaan [viitattu 18.2.2015].
Saatavissa:
http://www.vvy.fi/vesihuolto_linkit_lainsaadanto/jatevedet/jatevesien_puhdistaminen/jatevedenpuhdistus

Vesitalous. 2004. Typenpoisto. Ravinteet. Salaojitus. 6/2004 [viitattu 25.3.2015].
Saatavissa: http://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2010/02/6_2004.pdf

Wahti-raportointiohjelma. 2015. Tampereen Vesi.

Waterix. 2015. Tuotteet. Waterix DENIT [viitattu 8.3.2015]. Saatavissa:
<http://www.waterix.fi/pages/etusivu/tuotteet/denit-yhdistelmalaitteet.php>

Wilo. 2015. Online catalogue/Sevio air[viitattu 27.3.2015]. Saatavissa:
http://productfinder.wilo.com/fi/FI/productrange/0000003d0003c6fd00020023/fc_range_description

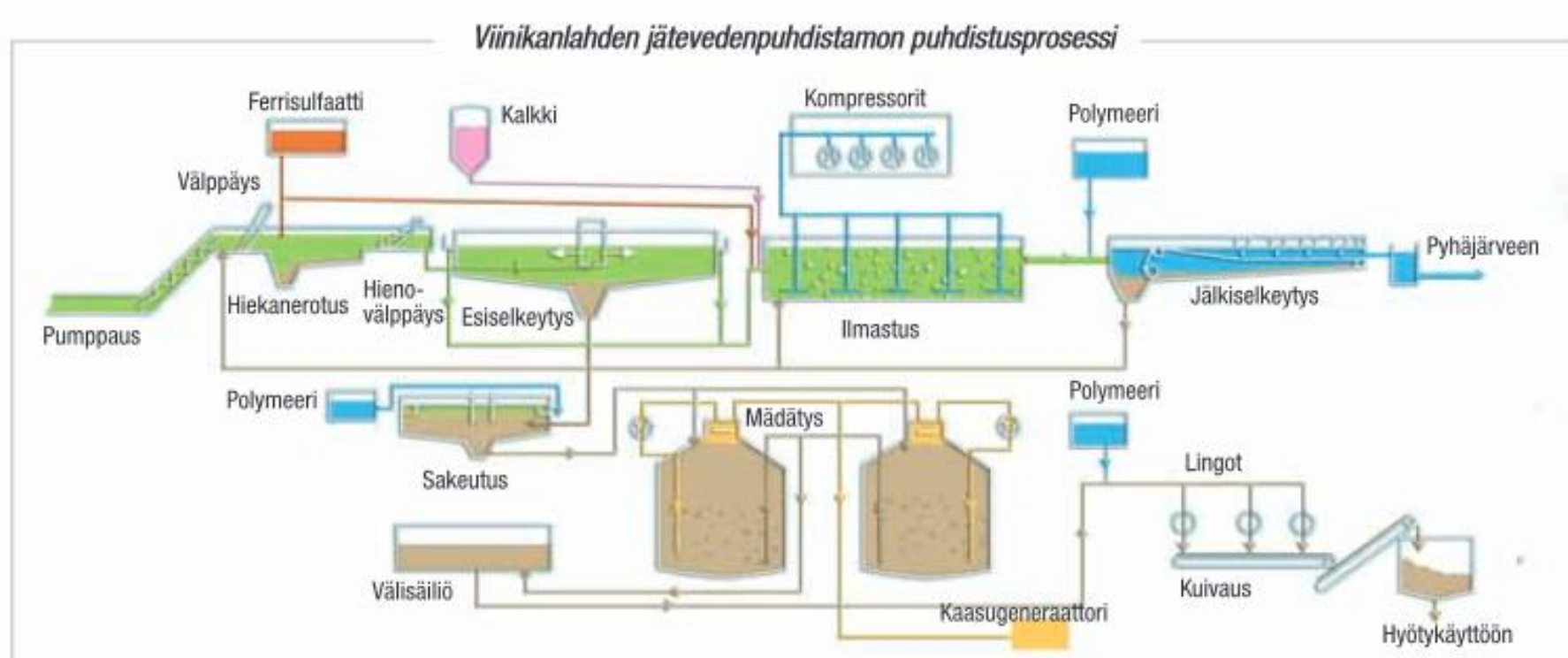
Yle. 2014. Taskilan jätevedenpuhdistamo ei yllä lupaehtoihin saneerauksen aikana [viitattu 12.12.2014]. Saatavissa:
http://yle.fi/uutiset/taskilan_-_jatevedenpuhdistamo_ei_ylla_lupaehtoihin_saneerauksen_aikana/7173652

LIITTEET

1. Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon prosessikaavio.
2. Biologisen laitoksen ilmamäärät ajalta 01.01.2014-01.01.2015
3. Ilmastuksen energiankulutus ajalta 01.01.2014-01.01.2015
4. Kaasun määrät ajalta 01.01.2014-01.01.2015
5. Energian tuotto ja kulutus kuukausitasolla 2010-2012
6. Kaasumoottorin tietoja
7. Viinikanlahden nykyisen KKI 215 -ilmastusjärjestelmän piirustus
8. Viinikanlahden ilmastusjärjestelmän PRF 300 -laajennuksen piirustus

LIITE 1

Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon prosessikaavio (Tampereen Vesi 2011)



LIITE 2

Biologisen laitoksen ilmamäärät ajalta 01.01.2014-01.01.2015 (Wahti, 2015)

| Vuorokausiraportti BIOL. - Ilmamäärät 01.01.2014 - 01.01.2015 | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Biol. ilmamäärä L1 m³/d | Biol. ilmamäärä L2 m³/d | Biol. ilmamäärä L3 m³/d | Biol. ilmamäärä L4 m³/d | Biol. ilmamäärä L5 m³/d | Biol. ilmamäärä L6 m³/d | Biol. ilmamäärä L7 m³/d | Biol. ilmamäärä L8 m³/d |
| Minimi | 25445 | 21926 | 26763 | 31895 | 150 | 210 | 27758 | 32409 |
| Keskiarvo | 42655 | 41857 | 52025 | 53677 | 58240 | 40771 | 42030 | 54338 |
| Maksimi | 62968 | 62093 | 74001 | 86451 | 89083 | 78468 | 63723 | 111233 |
| Summa | 15611833 | 15319605 | 19041008 | 19645754 | 21315730 | 14922186 | 15382855 | 19887576 |

LIITE 3

Ilmastuksen energiankulutus ajalta 01.01.2014-01.01.2015 (Wahti 2015)

| Vuorokausiraportti ENERGIA - Ilmastus 01.01.2014 - 01.01.2015 | | | | | | | |
|--|-------------------------------|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|
| | Kompr. energia yhteensä kWh/d | Ilmastusenergian kulutus suhteessa virtaamaan Wh/m ³ /d | Energia kompr. 1 kWh/d | Energia kompr. 2 kWh/d | Energia kompr. 3 kWh/d | Energia kompr. 4 kWh/d | Kompr. energia yhteensä kWh/d |
| Minimi | 6240 | 87.9 | 13 | 9 | 9 | 8 | 6240 |
| Keskiarvo | 9807 | 155.9 | 3470 | 2207 | 1984 | 2147 | 9807 |
| Maksimi | 12862 | 211.0 | 4212 | 3273 | 3162 | 4015 | 12862 |
| Summa | 3589404 | | 1269901 | 807739 | 726092 | 785672 | 3589404 |

LIITE 4

Kaasun määrät ajalta 01.01.2014-01.01.2015 (Wahti 2015)

| Vuorokausiraportti KAASU 01.01.2014 - 01.01.2015 | | | | | |
|--|---|--------------------------------|--------------------------------|--|--|
| | Kok. Kaasuvirtaama m ³ /d | Kaasu MWM m ³ /d | Kaasu yjp m ³ /d | Kaasu generaattorille m ³ /d | Maakaasun virtaama m ³ /d |
| Minimi | 0 | | -2300 | 0 | 0.0 |
| Keskiarvo | 3680 | | 617 | 3407 | 0.0 |
| Maksimi | 8603 | | 7111 | 8194 | 0.0 |
| Summa | 1240007 | | | 991332 | 0.0 |

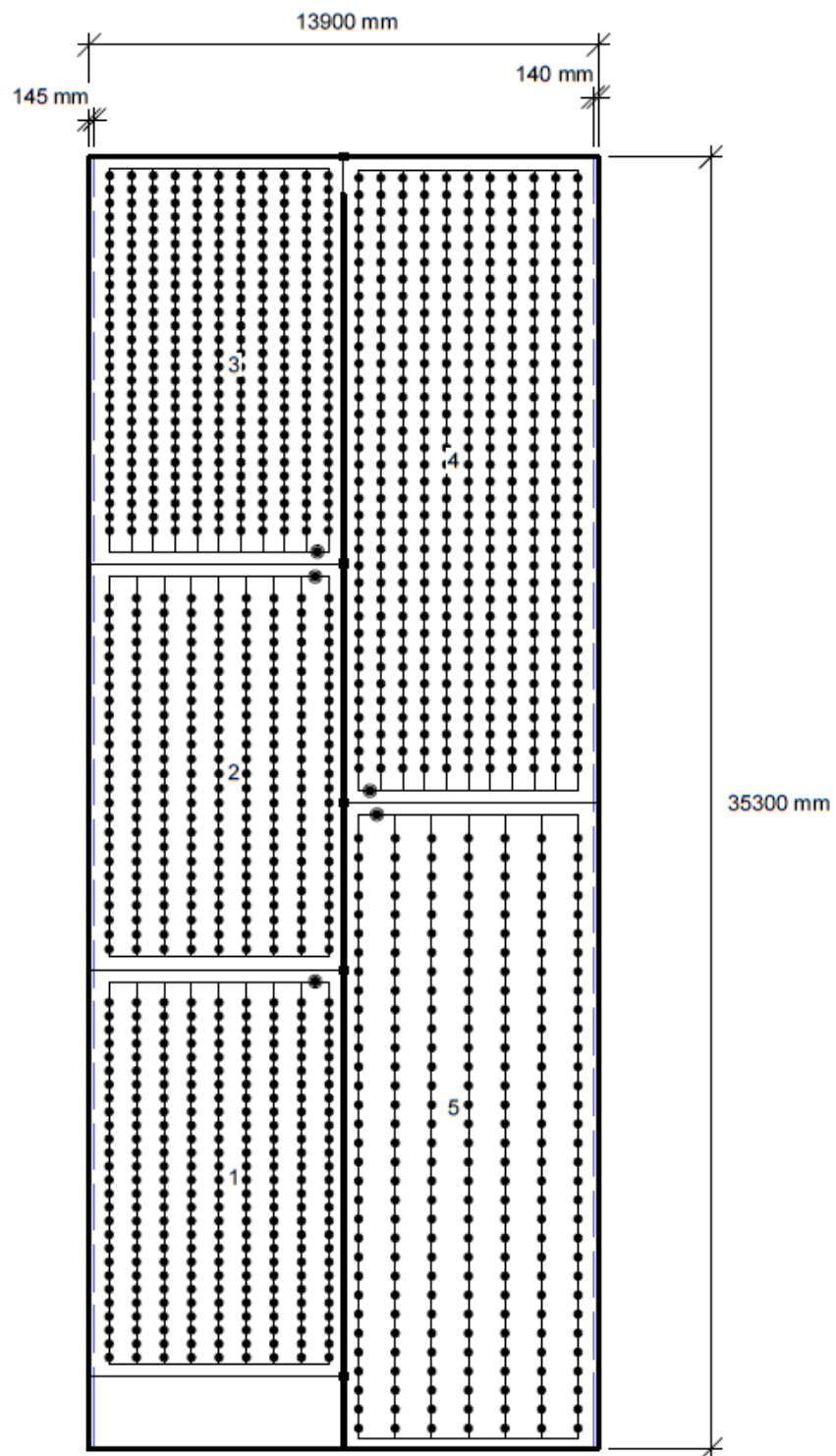
LIITE 5

Energian tuotto ja kulutus kuukausitasolla 2010-2012 (Wahti 2015)

| Kuukausiraportti ENERGIA - Tuotto ja kulutus 2010 - 2012 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|--|-----------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|--|-------------------------------------|--|
| | Kok. Kaasuvi- r-taama m³/kk | Kaasu generaat- torille m³/kk | Kaasu yjp m³/kk | Kompr. energia yhteensä kWh/kk | Energia kompr. 1 kWh/kk | Energia kompr. 2 kWh/kk | Energia kompr. 3 kWh/kk | Energia kompr. 4 kWh/kk | Lämpöe- nergia teho kWh/kk | Kaasu- moot. sähköte- ho kWh/kk | Muuntaja M1 energia kWh/kk | Muuntaja M1 loisteho kVarh/kk | Muuntaja M3 energia kWh/kk | Muuntaja M3 loisteho kVarh/kk |
| tammi.10 | 4900 | 5773 | | 195257 | 109547 | 49993 | 35270 | 447 | 493070 | 344956 | 212655 | 847 | 24394 | 16845 |
| helmi.10 | 5601 | 4968 | | 180438 | 94214 | 10904 | 74008 | 1312 | 234850 | 170885 | 192445 | 1236 | 122471 | 14247 |
| maalis.10 | 5538 | | | 175173 | 86390 | 49450 | 37221 | 2111 | 6830 | | 207141 | 1558 | 209577 | 21236 |
| huhti.10 | 5129 | | | 190171 | 60237 | 72295 | 9317 | 48321 | 7120 | | 206256 | 2603 | 220504 | 29281 |
| touko.10 | 3936 | | | 197558 | 46949 | 64423 | 5852 | 80333 | 7820 | | 205004 | 2310 | 180613 | 20526 |
| kesä.10 | 2208 | | | 193225 | 28067 | 71178 | 1403 | 92576 | 8400 | | 166170 | 3251 | 168501 | 17778 |
| heinä.10 | 2119 | 0 | | 173942 | 66105 | 29916 | 45097 | 32823 | 7180 | 28 | 167765 | 3012 | 168226 | 25082 |
| elo.10 | 2377 | 0 | | 192631 | 31636 | 69617 | 6383 | 85014 | 2800 | | 165253 | 4663 | 172995 | 19397 |
| syys.10 | 2436 | 5 | | 212356 | 40512 | 78671 | 4618 | 88554 | 56510 | 105186 | 152485 | 3733 | 177948 | 24702 |
| loka.10 | 2327 | 3 | | 152881 | 77356 | 59945 | 15295 | 284 | 283050 | 410639 | 180316 | 3455 | 58368 | 22736 |
| marras.10 | 3921 | 129 | | 181748 | 93357 | 77439 | 10588 | 363 | 168550 | 167832 | 191099 | 3065 | 197054 | 37905 |
| joulu.10 | 4450 | 3101 | | 228337 | 96413 | 76152 | 26553 | 29219 | 369810 | 338082 | 204473 | 2028 | 88115 | 53244 |
| tammi.11 | 4152 | 3160 | | 243271 | 79608 | 63034 | 53232 | 47397 | 403060 | 346234 | 208105 | 2961 | 74858 | 57632 |
| helmi.11 | 3673 | 2049 | | 210603 | 106360 | 84043 | 19258 | 942 | 195410 | 165751 | 190715 | 2138 | 188581 | 45422 |
| maalis.11 | 4072 | 3727 | | 235070 | 115019 | 92107 | 27527 | 417 | 523790 | 436293 | 205007 | 2250 | 48533 | 53492 |
| huhti.11 | 3260 | 3841 | | 219026 | 103701 | 72597 | 27576 | 15151 | 381550 | 346842 | 199196 | 3278 | 68106 | 45572 |
| touko.11 | 2538 | 2328 | | 253460 | 100616 | 1997 | 49189 | 101657 | 165850 | 179351 | 178866 | 3846 | 102346 | 34242 |
| kesä.11 | 3072 | 2622 | | 223561 | 92733 | 8591 | 51486 | 70751 | 219750 | 313813 | 157088 | 3432 | 62007 | 41321 |
| heinä.11 | 2532 | 3443 | | 193808 | 64432 | 31525 | 37801 | 60050 | 207940 | 460143 | 164293 | 3389 | 19011 | 55340 |
| elo.11 | 2352 | 2766 | | 239755 | 69389 | 61157 | 13726 | 95483 | 164140 | 366286 | 143723 | 2063 | 66425 | 52949 |
| syys.11 | 32 | 46 | | 245827 | 77240 | 6118 | 66586 | 95883 | 101170 | 165687 | 140864 | 2196 | 104370 | 56159 |
| loka.11 | 1782 | 1697 | | 274336 | 93016 | 66626 | 10620 | 104074 | 335810 | 316655 | 153882 | 3213 | 89285 | 45301 |
| marras.11 | 5344 | 5089 | | 271164 | 98459 | 71539 | 295 | 100871 | 374500 | 272601 | 156760 | 2462 | 80571 | 40577 |
| joulu.11 | 6891 | 6563 | | 281554 | 98651 | 73470 | 6600 | 102833 | 547470 | 416576 | 178516 | 2382 | 42614 | 55215 |
| tammi.12 | 6114 | 5823 | | 254716 | 67213 | 56556 | 54773 | 76174 | 420870 | 335711 | 183888 | 3294 | 65388 | 42637 |
| helmi.12 | 5807 | 5530 | | 297092 | 91251 | 77849 | 36824 | 91168 | 430060 | 309882 | 202489 | 1439 | 41982 | 35244 |
| maalis.12 | 3905 | 3719 | | 360694 | 98852 | 87558 | 76151 | 98133 | 253750 | 177772 | 187430 | 1712 | 170936 | 47783 |
| huhti.12 | 5714 | 5442 | | 335922 | 100537 | 53054 | 79661 | 102670 | 442990 | 318110 | 181108 | 1723 | 48897 | 50201 |
| touko.12 | 5621 | 5353 | | 321764 | 120419 | 372 | 84236 | 116737 | 365690 | 314377 | 173725 | 1256 | 63550 | 69594 |
| kesä.12 | 6187 | 5892 | | 309381 | 115884 | 7241 | 80279 | 105977 | 336490 | 326081 | 153430 | 2460 | 56733 | 65246 |
| heinä.12 | 6610 | 5860 | | 261164 | 105696 | 59815 | 54836 | 40817 | 301960 | 332223 | 158145 | 4181 | 61328 | 69004 |
| elo.12 | 6265 | 5967 | | 259188 | 107534 | 2583 | 46337 | 102734 | 310130 | 327636 | 143799 | 3645 | 58015 | 68434 |
| syys.12 | 7379 | 7028 | | 287457 | 103768 | 18509 | 65819 | 99361 | 393340 | 429532 | 151571 | 2289 | 1215 | 58965 |
| loka.12 | 6940 | 6610 | | 297210 | 71321 | 47437 | 77688 | 100764 | 489940 | 399343 | 165858 | 2348 | 35131 | 64327 |
| marras.12 | 7537 | 7178 | | 199270 | 18254 | 54720 | 56202 | 70094 | 391500 | 303872 | 133484 | 1614 | 6740 | 35112 |
| joulu.12 | | | | | | | | | | | | | | |
| Minimi | 32 | 0 | | 152881 | 18254 | 372 | 295 | 284 | 2800 | 28 | 133484 | 847 | 1215 | 14247 |
| Keskiarvo | 4363 | 3733 | | 238543 | 83735 | 51671 | 38523 | 64614 | 268661 | 296613 | 176085 | 2609 | 95583 | 42650 |
| Maksimi | 7537 | 7178 | | 360694 | 120419 | 92107 | 84236 | 116737 | 547470 | 460143 | 212655 | 4663 | 220504 | 69594 |
| Summa | | | | 8349011 | 293073 | 180848 | 134829 | 226149 | 940315 | 889837 | 6162984 | 91332 | 3345391 | 1492751 |
| | | | | | 9 | | 4 | 0 | 8 | 0 | 9 | | | |

LIITE 7.

Viinikanlahden nykyisen KKI 215 -ilmastusjärjestelmän piirustus (Ukkonen 2015)



LIITE 8.

Viinikanlahden ilmastusjärjestelmän PRF 300 -laajennuksen piirustus (Ukkonen 2015)

