



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Alex Jalonen

Ylijäämälämmön hyödyntäminen Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

9.4.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Alex Jalonen Ylijäämälämmön hyödyntäminen Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla 52 sivua + 5 liitettä 9.4.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	-
Ohjaajat	ryhmäpäällikkö Samppa Lallukka lehtori Antti Tohka
<p>Tämän insinöörityön aiheena oli kartoittaa HSY:n Viikinmäen jätevedenpuhdistamon lämpöenergian käyttöä, erityisesti ylijäämälämpöenergian kannalta. Tarkoitus oli löytää ratkaisuja ylijäämälämmön hyötykäytön ja energiatehokkuuden parantamiseksi sekä antaa toimenpide-ehdotuksia aiheeseen liittyen.</p> <p>Työ koostuu teoriaosuudesta, jossa käydään läpi jätevedenpuhdistusprosessin toimintaperiaatteita ja biokaasun syntyä mädätysprosessissa. Analyttisessä osuudessa, jossa käydään läpi tuotantotunnuslukuja, selvitetään lämmönkäyttöä yleisesti sekä häiriöiden aikaan ja määritetään ylijäämälämmölle tilanteet. Loppuosassa keskitytään teoreettisiin ja konkreettisiin parannusehdotuksiin ylijäämälämmön paremmaksi hyödyntämiseksi. Lisäksi työn loppuosassa käsitellään mahdollisuuksista liittyä kaksisuuntaiseen kaukolämpöverkoon ja sitä, mitä hyötyä tästä olisi tulevaisuudessa.</p> <p>Konkreettisia ratkaisuja työssä saatiin mm. kaasukellon kaasumäärään perustuvan ohjauksen muutoksella sekä toimintaselostuksella Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle virtausta tehostavien pumppujen ohjaamiseksi. Toimenpide-ehdotuksia annettiin prosessiautomaatiojärjestelmään liittyen sekä kaksisuuntaisen kaukolämmön hyödyntämisestä tulevaisuudessa. Työn aiheita kirjattiin HSY:n tulokorttiin vuoden 2019 tavoitteiksi energiansäästön osalta.</p>	
Avainsanat	HSY, jätevesi, ylijäämälämpö, lämpöenergia, mädätys

Author Title	Alex Jalonen Utilizing surplus heat in Viikinmäki wastewater treatment plant
Number of Pages Date	52 pages + 5 appendices 9 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and environmental technology
Professional Major	-
Instructors	Samppa Lallukka, Group Manager Antti Tohka, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to examine the use of thermal energy, surplus thermal energy in particular, in HSY's waste water treatment plant in Viikinmäki. The aim was to find solutions to improve the use of surplus thermal energy and to provide suggestions on how to optimize it.</p> <p>The thesis consists of a theory part which discusses the operating principles of the wastewater treatment process and the formation of biogas in the digestion process. The analytical part presents production key figures and explains where thermal energy is use in general and during disturbances, and determines situations for surplus thermal energy. The remaining part of the thesis focuses on theoretical and concrete ways to improve the utilization of surplus thermal energy. In addition, the end part of the thesis discusses the possibilities for joining in a two-way district heating network and the benefits of this in the future.</p> <p>Optimizing measures were found, concrete solutions were provided for the operation of the flow control valve and the surplus thermal energy pumps between Viikinmäki waste water treatment plant and Vanhakaupunki water treatment plant and suggestions for improvements were made for the process automation system. Also, recommendations on the possibility of joining in a two-way district heating network in future were made. Some findings of this thesis were recorded as one of the HSY's targets for energy saving measures in 2019.</p>	
Keywords	HSY, waste water treatment plant, surplus thermal energy

Sisälllys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	HSY	2
2.1	Viikinmäen jätevedenpuhdistamo	2
2.2	Vanhankaupungin vedenpuhdistamo	3
3	Energiantuotanto jätevedenpuhdistamolla	4
3.1	Jätevesiprosessi	4
3.2	Mädätys, liete ja biokaasun tuotanto	5
4	Energiantuotanto ja kulutus Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla	8
4.1	Prosessissa syntyvä ylijäämälämpö	12
4.2	Prosessissa syntyvä ylijäämälämpö teoreettinen	19
4.3	Ylijäämälämpö talvella ja häiriön aikana	21
4.4	Virtauksen luonne	24
4.5	ORC ja pakokaasukattilat	26
5	Järjestelmän optimointi- ja parannusehdotukset	28
5.1	Ylijäämälämmön ajaminen Vanhankaupungin vedenpuhdistuslaitokselle	28
5.2	Säätöventtiili laitosten välillä	29
	Laitosten välisen venttiilin säätörajan muutos	32
5.3	Virtauksen tehostuspumppujen käyttötapa	34
5.3.1	Teoreettinen ajotapa	36
5.3.2	ORC ja pakokaasukattiloiden säätö	37
5.4	Prosessiautomaatiojärjestelmän parannukset	38
5.5	Kaksisuuntainen kaukolämpö Vanhassakaupungissa	40
5.5.1	Säätömuutokset kaksisuuntaisessa kaukolämmössä	41
5.5.2	Kaksisuuntaisen kaukolämmön tuottopotentiaali	43

5.6	Ylijäämä-/hukkalämpöenergian muu hyödyntäminen	44
5.6.1	LTO kompressoreilta	44
5.6.2	Energian varastointi	46
6	Yhteenveto ja havainnot	48
	Lähteet	50
	Liitteet	
	Liite 1. Energiankäytön ja tuoton tunnusluvut 2017 (aikaleima)	
	Liite 2. Energiankäytön ja tuoton tunnusluvut 2018 (aikaleima)	
	Liite 3. Pumppujen ja säätöventtiilin ohjauksen toimintaperiaate	
	Liite 4. Energiatase 2017	
	Liite 5. Energiankulutus 2018	

Lyhenteet

CHP	Sähkön ja lämmön yhteistuotanto
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut
Hulevesi	Maan pinnalta, rakennuksen katolta tai muilta vastaavilta pinnoilta pois johdettavaa sade- ja/tai sulamisvettä
JVP	Jätevedenpuhdistamo
KHK	Kasvihuonekaasu
KL	Kaukolämpö
KM	Kaasumoottori
kWh/m ³ n	Kilowattituntia kuutiometriä kohden, normitettu
LTO	Lämmöntalteenotto
ORC	Organic Rankie Cycle
Q _{akku}	Lämpöakun energiamäärä (MWh)
Soihdutus	Ylijäämäkaasun polttamista ei hyötykäyttöön
TS	Kuiva-aine (%)
V _{akku}	Lämpöakun koko (m ³)
VK	Vanhakaupunki
VKM	Viikinmäki

VP Vedenpuhdistamo

YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta

1 Johdanto

Ilmastonmuutos aiheuttaa haasteita nyt ja tulevaisuudessa vielä enemmän energia-alan toimijoiden lisäksi myös kaikille energiaa kuluttaville tahoille. Energia on yhteiskunnan hyvinvoinnille tärkeä mahdollistaja, eikä energiankulutus nykyisen väestön rakenteen ja kasvuennusteiden saralla ole vähenemässä. Tarvitaan uusia innovaatioita päästöjen vähentämiseksi sekä uusiutuvan energian lisäämiseksi. Uusien ratkaisujen ohella myös energiatehokkuuden parantamisella on merkittävä rooli taisteltaessa ilmastonmuutosta vastaan. Kustannustehokkain tapa vähentää kasihuonepäästöjä on energian säästäminen ja energiatehokkuuden parantaminen [1]. On toisin sanoen tärkeää tietää, mihin energiaa käytetään ja miten se hyödynnetään uusien ratkaisujen ohella. Parempi energiatehokkuus takaa vähemmän päästöjä, puhtaamman ympäristön ja pienemmän laskun käyttäjälle.

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli kartoittaa Helsingin seudun ympäristöpalveluiden, tunnetuin HSY:n, Viikinmäen jätevedenpuhdistamon lämpöenergian käyttöä ja löytää mahdollisia ratkaisuja ylijäämälämmön parempaan hyödyntämiseen sekä sen energiatehokkaampaan käyttämiseen. Ylijäämälämmöllä tarkoitetaan tuotantoprosessissa syntyvää hyödyntämätöntä mutta käyttökelpoista korkean lämpötilan omaavaa lämpöenergiaa. Aihetta lähdettiin tutkimaan perehtymällä ensin jätevedenpuhdistamon lämpöenergian tuotantoon ja laitteistoihin. Tämän jälkeen selvitettiin tilanteet, milloin, missä ja paljon ylijäämälämpöä muodostuu. Tilanteiden tutkimiseen käytettiin apuna Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla käytössä olevaa Valmetin DNA -prosessiautomaatiojärjestelmää, josta löytyy kattavasti historiatietoja useista eri prosessipisteistä. Yhdeksi pääteemoista muodostui selvittää ja kartoittaa Vanhankaupungin vedenpuhdistuslaitokselle johdettavan ylijäämälämmön käyttöä ja sen tehokkuutta. Tämä on yksiärkevimmistä käyttökohteista ylijäämälämmölle, sillä Vanhankaupungin vedenpuhdistuslaitoksen lämmitykseen käytetään, Viikinmäen ylijäämälämmön lisäksi, myös osittain Helenin tuottamaa kaukolämpöä. Vuonna 2017 kaukolämpö tuotettiin 61 % polttamalla kivihiiltä yhteistuotantolaitoksilla Hanasaassa tai Salmisaassa [2]. Parantamalla energiatehokkuutta puhdistuslaitosten välillä pystytään tällöin myös teoriassa vähentämään kasviuonepäästöjä kaukolämmön käytön vähentyessä Vanhankaupungin vedenpuhdistamolla, lisäksi kaukolämpölasku pienenee, mikä tarkoittaa rahallisia säästöjä HSY:lle.

2 HSY

HSY on ympäristösuojelutoimintojen kuntayhtymä, jonka jäsenkunnat ovat Espoo, Helsinki, Kauniainen ja Vantaa. Kuntayhtymänä on HSY:llä laissa määritelty velvollisuus mm. "toimia vesihuoltolaissa (119/2001) tarkoitettuna vesihuoltolaitoksena, joka huolehtii vesihuollosta toiminta-alueellaan." Kuntayhtymä rahoittaa toimintamensa vesihuolto- ja jätehuoltotoimintojen maksuilla, kuntaosuuksilla ja muilla tuloilla. [3, s. 1.] HSY perustettiin 1.1.2010, kun Espoon, Helsingin, Kauniaisten ja Vantaan vesilaitokset ja YTV yhdistyivät yhdeksi kuntayhtymäksi HSY:si. YTV:n mukana HSY:lle siirtyi jätehuollon sekä seutu- ja ympäristötiedon osaaminen. Henkilöstöä HSY:n eri toimialoilla oli yhteensä 745 henkilö, joista 403 vesihuollon piirissä. Toimintatuotot olivat yhteensä 368,5 milj. € vuonna 2017. HSY onkin yksi Suomen suurimmista vesi- ja ympäristöalan toimijoista. [4.]

2.1 Viikinmäen jätevedenpuhdistamo

Viikinmäen jätevedenpuhdistamo sijaitsee Koillis-Helsingissä, aivan Lahdenväylän vierellä. Laitos perustettiin vuonna 1994 ja sen jätevedenkäsittelyn prosessitilat ovat täysin kallion sisälle louhitut, muutamaa hallintorakennusta, kaasukelloa ja neljää näkyvää mädättämön kantta lukuun ottamatta. Jätevedenpuhdistamo käsittelee kotitalouksien sekä teollisuuden jätevedet Helsingistä, Vantaan keski- ja itäosista, Keravalta, Tuusulasta, Järvenpäästä ja Sipoosta. Tämä kattaa yhteensä noin 800 000 asukaan jätevedet, näin ollen Suomen ja koko Pohjoismaiden suurin sekä tehokkain jätevedenpuhdistamo kuorituksen perusteella. Jätevettä syntyy päivittäin noin 280 000 m³, joista 85 % on asumisjätevesiä ja loput 15 % teollisuudenjätevesiä. Puhdistetut jätevedet johdetaan 16 kilometriä pitkän purkutunnelin kautta avomerelle, Katajaluodon edustalle, yli 20 metrin syvyyteen. Perustamisvuoden 1994 jälkeen on jätevedenpuhdistamoa laajennettu kahdesti vuosina 2004 ja 2014, jolloin laitoksella otatettiin käyttöön kahdeksas ja yhdeksäs aktiivilietelinja, tämän myötä laitos on saavuttanut maksimikapasiteettinsa. Ennen Viikinmäen jätevedenpuhdistamon perustamista ehti Helsingin alueella olla yhteensä jopa 12 puhdistamoa, jotka Viikinmäen jätevedenpuhdistamo korvasi. [5.]

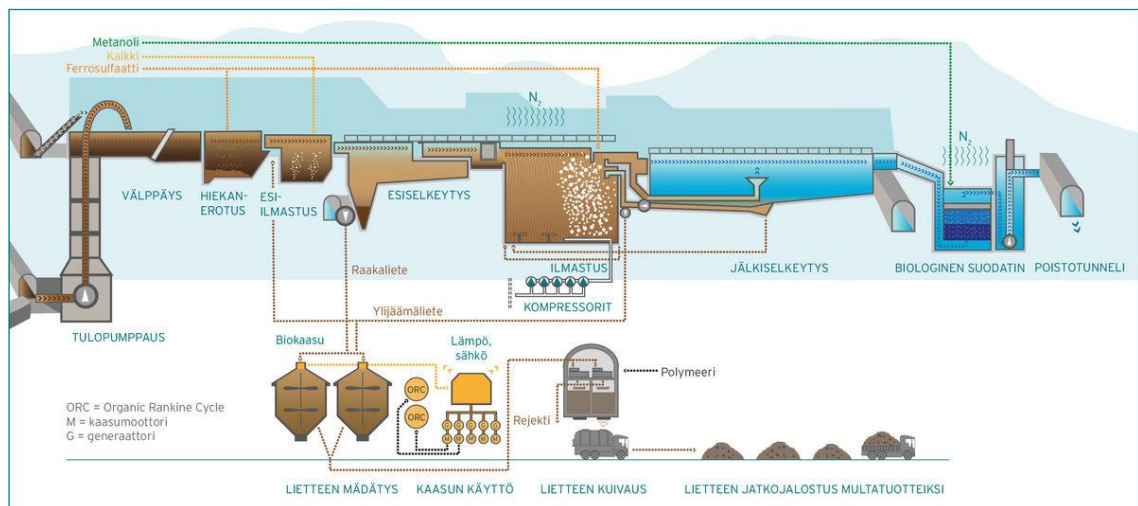
2.2 Vanhankaupungin vedenpuhdistamo

Vanhankaupungin vedenpuhdistamolla puhdistetaan Päijänteestä tuleva raakavesi talousvedeksi. Vesi johdetaan puhdistamolle 120 km pitkää Päijännetunnelia pitkin, joka on samalla maailman pisin kokonaan kallioon louhittu tunneli. Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta katsottuna Vanhankaupungin vedenpuhdistamo sijaitsee Vantaanjoen toisella puolella, Vanhankaupungin peruspiirissä. [6.] Vanhankaupungin vedenpuhdistamosta tekee insinööriyön kannalta merkitykselliseksi se, että vedenpuhdistamon ja Viikinmäen jätevedenpuhdistamon välille on louhittu tunneliyhteys Vantaanjoen ali. Tunneliyhteyttä käytetään huoltoyhteyden lisäksi myös sähkön varasyöttöyhteydelle sekä lämmön jakamiseen Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle. Vedenpuhdistamolle suurin lämpöenergiantuottaja onkin Viikinmäen jätevedenpuhdistamo, joka kattaa lähes koko puhdistamon lämpöenergiantarpeen. Vuonna 2017 lämpöenergiaa johdettiin Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle yhteensä 2,7 GWh [7, s. 36].

3 Energiantuotanto jätevedenpuhdistamolla

3.1 Jätevesiprosessi

Jätevesiprosessissa kuluttajan ja teollisuuden jätevedet ohjataan viemäri- ja hulevesiverkosta pitkin jätevedenpuhdistamolle, joka puhdistaa jätevedestä useita epäpuhtauksia. Jätevesien epäpuhtauksista merkittävämmät ovat fosfori- ja typpiravinteet sekä orgaaninen lika-aine. Jätevedenpuhdistamoiden lupamääräysten, toiminnallisten tavoitteiden saavuttamiseksi on näiden kolmen kuormituskomponentin poistaminen jätevedestä tärkeää. [7, s. 12.] Viikinmäen jätevedenpuhdistamo on aktiivilietelaitos, joka tarkoittaa, että prosessissa on kolme vaihetta. Vaiheet ovat mekaaninen, kemiallinen ja biologinen puhdistus. Prosessi on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Viikinmäen jätevedenpuhdistusprosessi [5].

Mekaanisen vaihteen tarkoitus on poistaa jätevedestä välpe, eli sekajäte, hiekka sekä muut kiinteät aineet, jotka kokonsa puolesta saattavat vahingoittaa prosessissa, esimerkiksi tukkimalla putkistolinjoja prosessin myöhemmässä vaiheessa. Kemiallisessa vaiheessa fosforin poisto toteutetaan rinnakkaissaostusperiaatteella, jossa ferrosulfaattia (FeSO_4) käytetään saostuskemikaalina. Saostuskemikaalia syötetään hiekanerotusaltaaseen prosessin alussa sekä ilmastusaltaaseen ennen jälkiselkeytystä. Ferrosulfaattia ja fosforista syntyvä fosforisakka sitoutuu lietteeseen, tämän jälkeen liete kerätään

ja käsitellään mädättämöissä. Typpeä (N_2) ei voida fosforin tapaan saostaa kemiallisesti, jolloin typen poisto tehdään kahdessa eri biologisessa vaiheessa. Ensimmäiseksi denitrifikaatio-nitrifikaatioperiaatteella typpeä poistetaan aktiivilieteprosessissa ilmastamalla. Toisessa vaiheessa nitraatin pelkistämiseksi käytetään denitrifikaatiosuodattimia tai yksinkertaisemmin biologiasuodattimia. Puhdistettu jätevesi ohjataan tämän jälkeen purkutunnelia pitkin Suomenlahdelle. [5; 7, s. 12–13.]

3.2 Mädätys, liete ja biokaasun tuotanto

Prosessissa syntyvä raakaliete kerätään esiselkeytysaltaiden lietetaskuista 10 000 m³:n kokoisille kallioon louhituille mädättämöille. Mädättämössä liete käsitellään anaerobisesti mädättämällä hapettomissa olosuhteissa noin 33–35 °C:ssa. Suurin osa lämpöenergiasta Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla kuluukin mädätysprosessin pitämisessä tässä oikeassa lämpötilassa. Anaerobisessa mädätyksessä orgaaninen aine hajoaa mikro-organismien tuottamien biokemiallisten reaktioiden seurauksena mm. vedeksi (H_2O), hiilidioksidiksi (CO_2) ja metaaniksi (CH_4). Näiden lisäksi syntyy muita vaarallisia yhdisteitä kuten rikkivetyä (H_2S) ja ammoniakkia (NH_3), mutta pääsääntöisesti mädätyksessä syntyvä biokaasu on 60–65 % metaania (CH_4) ja 30–35 % hiilidioksidia (CO_2). [8, s. 14-16.]

Jätevesiprosessissa tuotettu puhdistamoliete sisältää orgaanista ainetta, fosforia (P), typpeä (N_2) ja hivenaineita. Orgaaninen aine on eliöiden, kasvien, sienten, eläinten sekä mikrobien elintoimintojen seurauksena aikaan tuottamaa ainetta. Aineen tuottajasta sekä hajoamistaseesta riippuen on siinä useita eri yhdisteitä, ravinteita ja muita alkuaineita. Orgaanisen ja epäorgaanisen aineen tyypillinen ero on siinä, että orgaaninen aine sisältää hiiltä. Bakteerit käyttävät tätä hiiltä myöhemmin mädätysprosessissa ravintolähteenään. [9, s. 5.] Orgaanisesta aineesta noin puolet haihtuvista yhdisteistä hajoavat biokaasuksi mädätyksen aikana ja loput sitoutuvat lietteeseen. Lietteeseen jää esimerkiksi raskasmetalleja, kuten mm. sinkkiä (Zn), lyijyä (Pb), nikkeliä (Ni), elohopeaa (Hg), kuparia (Cu) ja muita haitta-aineita, joita bakteerit eivät pysty hyödyntämään ravintonaan. [10, s. 18.] Raskasmetallien lisäksi lietteestä on havaittu kotitalouksien käyttämiä lääkkeitä, pintakäsittelyaineissa (PFAS) sekä palonestoaineissa (PBDE) käytettyjä yhdisteitä. Määrät ovat vähäisiä, eivätkä nämä siirry puhdistamolietettä kasvualustanaan käyttäviin kasveihin [7, s. 26].

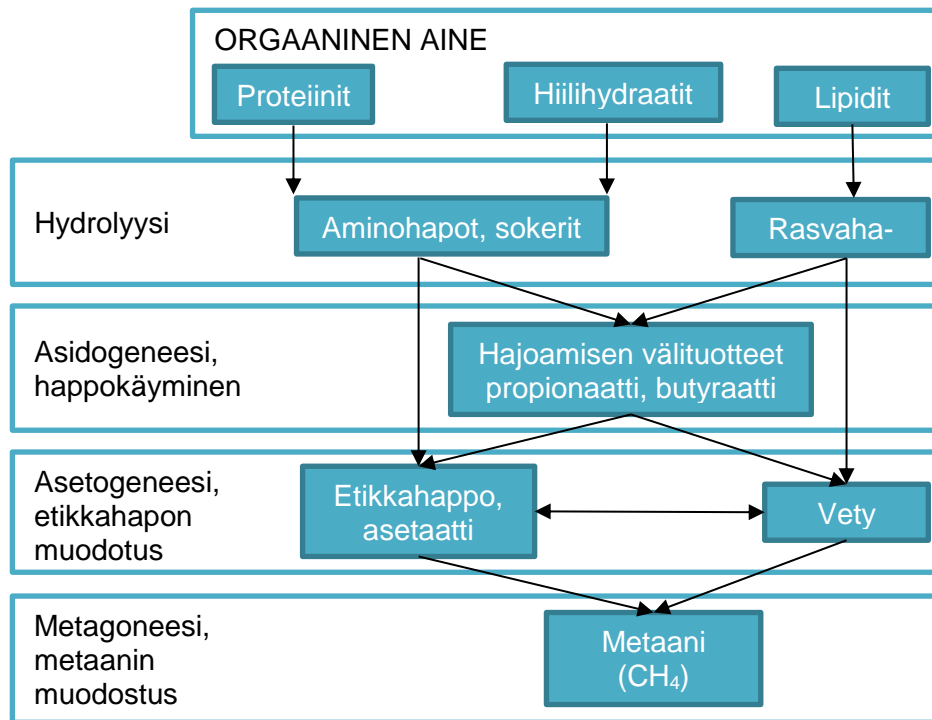
Vuonna 2017 kuivattua yhdyskuntajätevesilietettä muodostui Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla yhteensä n. 64 600 tonnia (30 % TS) [7, s. 38]. Mädätetyn ja koneellisesti kuivatun jätevesilietteen vuoden 2017 analyysitulokset ovat esitettynä taulukossa 1.

Taulukko 1. Lietteen laatu ja määrä Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla [7, s. 70].

		pienin	keskiarvo	suurin
pH		7,8	7,9	8,3
kuiva-aine %	TS	28	29,3	30
tuhka	%	44	46	48
kokonaistyppe	g/kgTS	30	32	34
kokonaisfosfori	g/kgTS	29	32	36
kalium	g/kgTS	1	1,5	2
kalsium	g/kgTS	25	39	48
alumiini	g/kgTS	4,4	5,8	7,6
magnesium	g/kgTS	2,7	3,6	4
rauta	g/kgTS	110	119	140
koboltti	mg/kgTS	5	6	7
elohopea	mg/kgTS	0,41	0,63	0,93
kadmium	mg/kgTS	0,4	0,57	0,9
kromi	mg/kgTS	22	31	35
kupari	mg/kgTS	330	368	410
lyijy	mg/kgTS	13	16	18
mangaani	mg/kgTS	250	310	380
nikkeli	mg/kgTS	15	20	26
sinkki	mg/kgTS	490	542	600
arseeni	mg/kgTS	6	6	6

Eloperäisen orgaanisen aineen anaerobinen mikrobiologinen hajoaminen voidaan jakaa neljän eri bakteerin aiheuttamaan pääreaktioon, jotka ovat hydrolyysi, happokäyminen, asetogeneesi sekä metanogeneesi. Aluksi hydrolyyttiset bakteerit hydrolysoivat orgaanisista raaka-aineista, hiilihydraatista, proteiineista, typpiyhdisteistä ja rasvoista yksinkertaisempia liukoisia monomeerejä, joita muut bakteerit pystyvät käyttämään ravintonaan prosessin myöhemmissä vaiheissa. Hydrolyysi tuottaa prosessiin sokeria, aminohappoja sekä pitkäketjuisia rasvahappoja. Seuraavassa happokäymisen vaiheessa, asidogeenisissä, haponmuodostajabakteerit käyttävät hydrolyysissä syntyneitä sokeita, aminohappoja ja rasvahappoja oman kasvunsa ravintolähteenään hajottaen raaka-aineita edelleen muodostaen molekyylisiä karboksyylihappoja sekä alkoholeja. Asetogeenisessä vaiheessa bakteerit, jotka muodostavat asetaattia, hajottavat anaerobisesti hapettuneet happoyhdisteet, kuten nitraatit, sulfaatit ja karbonaatit, muodostaen asetaatti-ioneita, vetyä sekä hiilidioksidiksiä. Asetogeeniset ja metanogeeniset bakteerit

ovat toisistaan riippuvaisia, ja nämä toimivatkin symbioosissa. Viimeisessä, metagoneesissä vaiheessa vedystä, hiilidioksidista sekä asetaatista tuotetaan metaania metaaninmuodostajabakteerien avulla. [11, s. 7 – 11.] Orgaanisen aineen hajoamisprosessin eli mädätysprosessin päävaiheet on esitetty kuvassa 2.



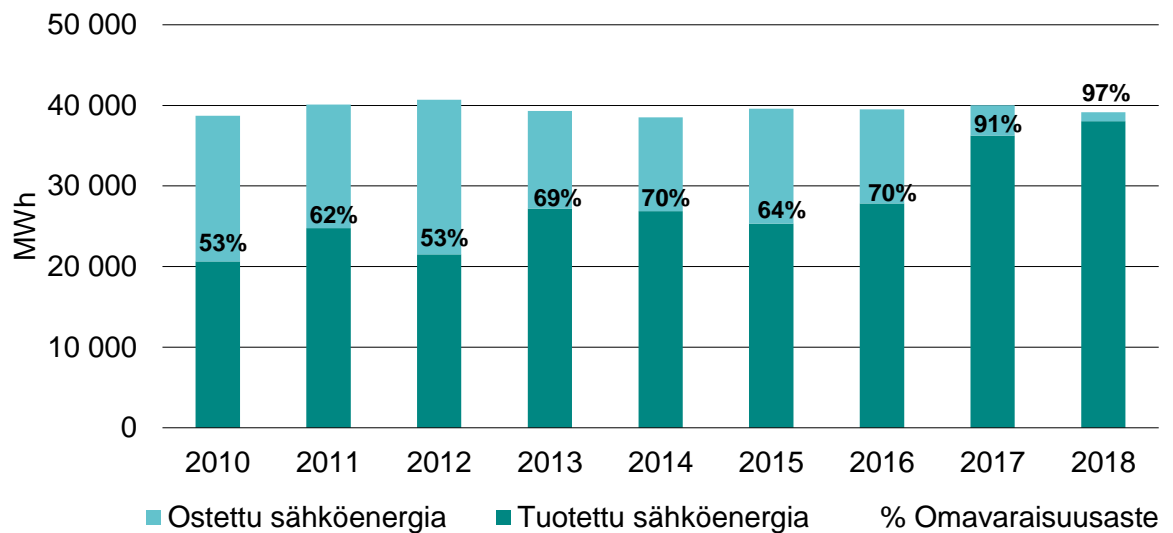
Kuva 2. Anaerobinen hajoamisprosessin osa-alueet [11].

Energiasisällöltään mädätetty biokaasu on noin 6,42 kWh/m³n [12]. Tätä arvoa on käytetty myöhemmissä laskuissa muutettaessa biokaasun energiasisältö energiamääräksi. Mädättämällä tuotetun biokaasun katsotaan olevan hiilineutraalia, tämän takia HSY onkin ollut pääkaupunkiseudun suurimpia uusiutuvan energian tuottajia vuonna 2017 [13]. Mädätysjäätös jatkojalostetaan multatuotteiksi. Mädätysjäätös kuivataan linko-kuivauksen avulla. Tähän syötetään myös polymeeriä parantamaan lietteen linkoavuutta. Linkoaminen ja polymeeri vähentävät merkittävästi lietteen massaa ja tilavuutta, mikä taas helpottaa kuivatun lietteen pois kuljettamista. Kuivattu liete kuljetetaan Metsäpirtin kompostointikentälle Sipooseen jatkojalostettavaksi. [5, s. 4.]

4 Energiantuotanto ja kulutus Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla

Tuotettua biokaasua käytetään jätevedenpuhdistamon omaan energiantuotantoon ja kulutukseen. Biokaasua tuotetaan yhteensä noin 14,5 milj. m³ vuodessa [7, s. 36]. Vuonna 2017 Viikinmäen jätevedenpuhdistamon sähköntuotannon omavaraisuusaste on ollut yli 90 %. Lämmöntuotannon osalta puhdistamo on ollut jo pitkään täysin omavarainen, jolloin tarvetta kaukolämpöön liittymiselle ei ole ollut. Sähköä tuotettiin yhteensä n. 36 100 MWh ja lämpöä yhteensä n. 38 400 MWh vuonna 2017 (ks. liite 1). Vuonna 2018 sähköntuotannon omavaraisuusaste on noussut jopa 97 %:iin, sähköenergiaa tuotettiin hieman enemmän n. 38 000 MWh ja lämpöenergiaa n. 36 900 MWh (ks. liite 2).

Sähköenergian omavaraisuusaste on ollut tasaisessa kasvussa Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla koko 2010-luvun, kuvassa 3.

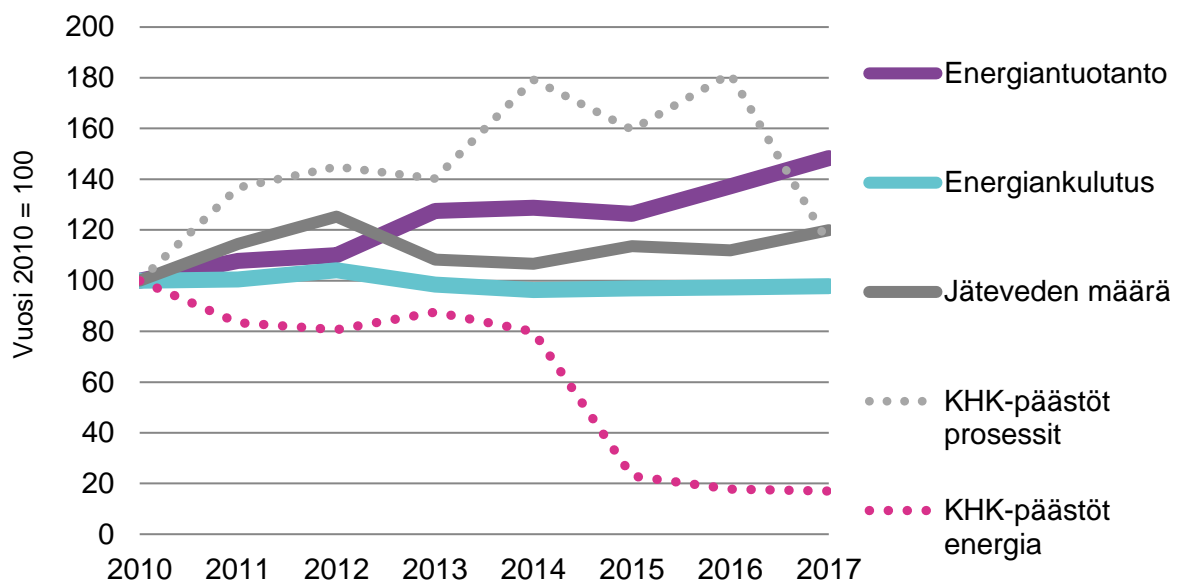


Kuva 3. Tuotetun ja ostetun sähköenergian suhde vuosina 2010–2018 [14].

Sähkötuotannon ja omavaraisuuden parantamiseksi on Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla tehty jatkuvaa parannustyötä. Parannustoimina on 2010-luvulla otettu käyttöön mm. ORC-laitteistoja ja aurinkovoimala sekä prosessia on tehostettu energiatehokkaammaksi mm. uusien energiatehokkaampien kaasumoottoreiden ansioista.

ORC-laitteet tuottavat sähköenergiaa perinteisen Rankine-kiertoprosessiin perustuvan höyryturbiinivoimalaitoksen tavoin mutta kiertävänä väliaineena käytetään orgaanista ainetta, jonka latenttilämpö on huomattavasti matalampi kuin veden. Viikinmäessä orgaanisena aineena käytetään tolueenia. Tämä avulla on mahdollista hyödyntää hukkalämpövirtoja sähkötuotannossa paremmin, jolloin ei perinteistä vesihöyryprosessia ole järkevä käyttää. [15, s. 38-45.] Ensimmäinen ORC otettiin puhdistamolla käyttöön maaliskuussa 2014 ja viimeisin vuonna 2017 [14].

Vaikka jätevesimäärät ja energiantuotanto ovat olleet kasvavia on energiankulutus onnistuttu pitämään aisoissa ja jopa lievästi laskevana 2010-luvulla, kuva 4.



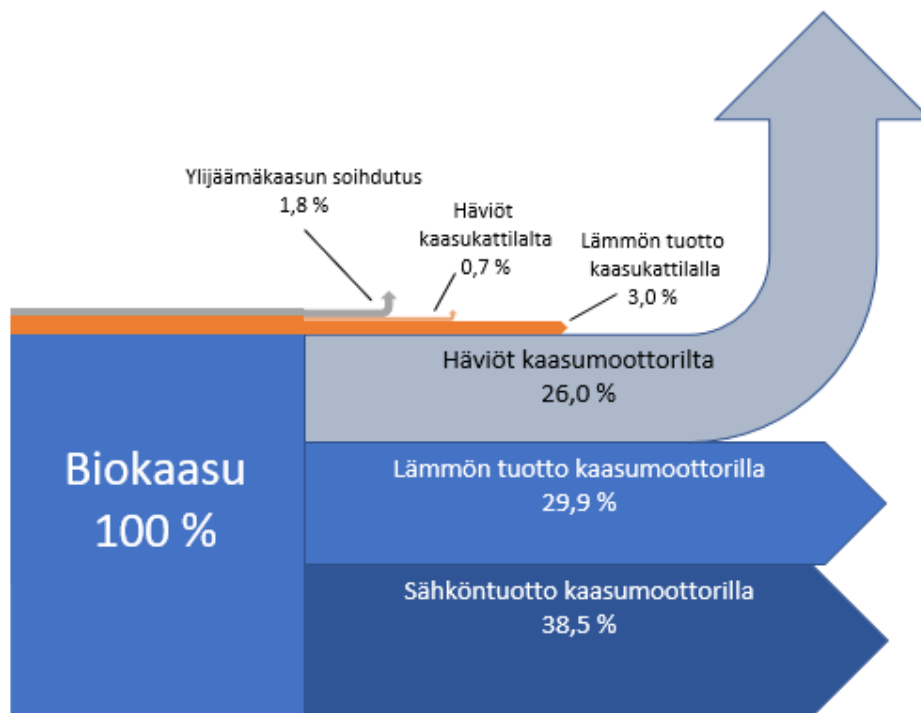
Kuva 4. Jätevedenpuhdistuksen energiankulutuksen, energiantuotannon, khk-päästöjen ja käsitellyn jätevesimäärän kehitys vuodesta 2010 [14].

Myös prosessissa ja energiantuotannossa syntyviä kasvihuonepäästöjä on saatu vähennettyä merkittävästi. [14.]

Sähkö- ja lämpöenergia biokaasusta tuotetaan pääsääntöisesti neljän kaasumoottorin avulla. Kaasumoottorit ovat MWM:n, nykyisin Caterpillar Energy Solutions, valmistamia TCG 2020 -mallisia ottomoottoreita. Moottoreita on 3 kpl 16-sylinterisiä, teholtaan 1560

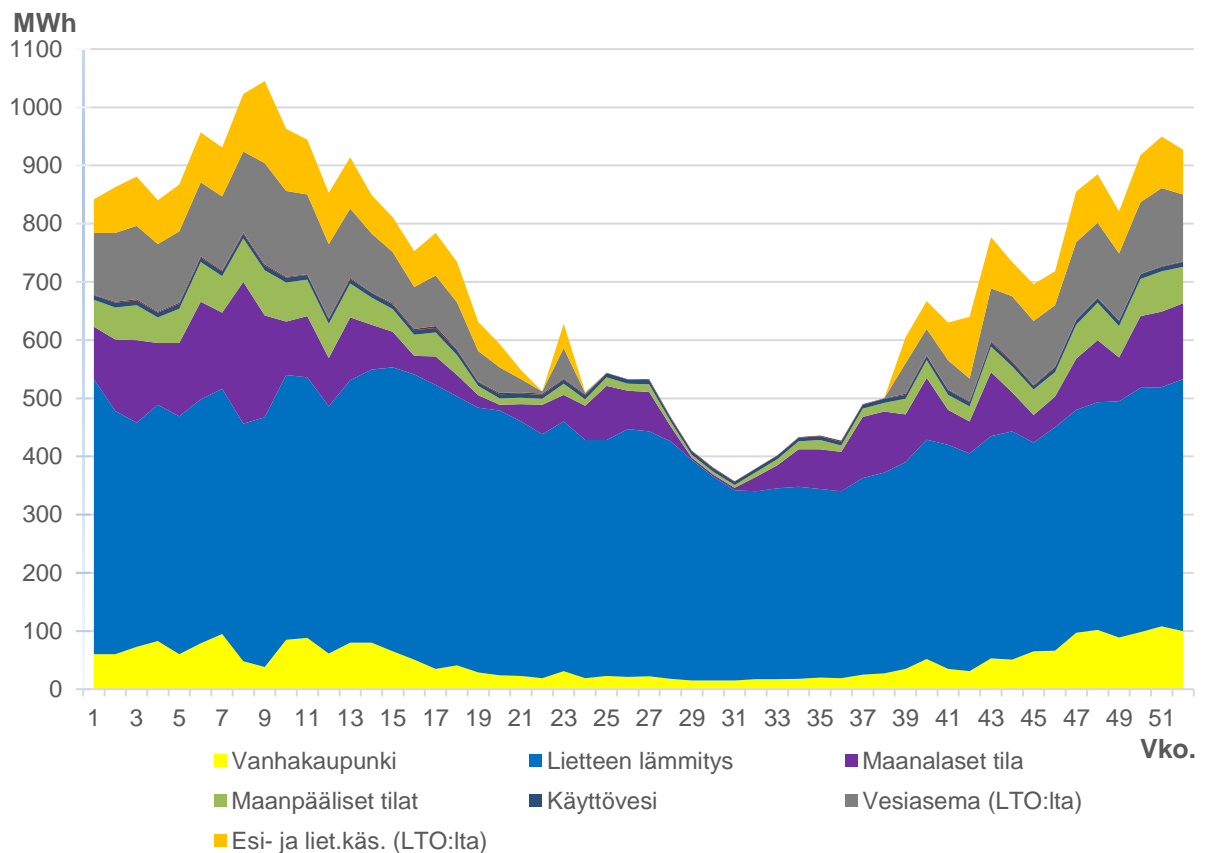
kW, ja yksi 12-sylinterinen, teholtaan 1050 kW [16]. Kaasumoottoreiden generaattoreiden avulla tuottaman sähköenergian lisäksi öljyn ja jäähdytysnesteen lämpöenergia otetaan talteen lämmönsiirtimien avulla, josta tämä johdetaan edelleen lämmitysverkon kautta lämmönkulutuskohteille. Viikniemän jätevedenpuhdistamo toimii siis CHP-toimintaperiaatteella, jossa sähkön lisäksi myös lämpö hyötykäytetään. Lisäksi kaasumoottoreiden pakokaasujen lämpöenergiaa otetaan talteen pakokaasukattiloilla sekä kahdella ORC-laitteella.

Biokaasua on mahdollista käyttää myös pelkästään lämmöntuottoon kolmella öljy-/kaasukattilalla. Kattilat ovat tehoiltaan 2500 kW (2 kpl) ja 2000 kW (1 kpl) [16]. Kattiloilla on myös poltettu kevyttä polttoöljyä 19 075 litraa, joka vastaa energialtaan noin 188 MWh:aa ollen vain 0,005 % koko lämmöntuotannosta vuonna 2018. [16; 17] Polttoöljyä on jouduttu käyttämään kattiloille apuna lähinnä kovilla pakkasilla, vähäisen biokaasun tai heikon metaanipitoisuuden takia. Kuvassa 5 sankey-diagrammin avulla on esitetty vuoden 2017 biokaasun kulutusvirrat (ks. liite 2).



Kuva 5. Energia aikaleima 2017 liitteen avulla tehty sankey-diagrammi, jossa prosenttein esitettyä biokaasun kulutusvirrat vuonna 2017.

Suurin yksittäinen jatkuva lämpöä kuluttava kohde on mädättämöt ja tämän lietteen lämmitykseen käyttämä lämpöenergia. Lietteiden lämmitys on koko jätevedenpuhdistuksen toiminnan kannalta tärkein yksittäinen tekijä, sillä tämä avulla tuotetaan biokaasua, jolla jätevedenpuhdistamoa voidaan ajaa energiatehokkaasti sekä omavaraisesti. Lietteiden lämmöntarpeeseen vaikuttaa suuresti jätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden määrä ja tästä mädättämöihin pumpattavan lietteiden määrä sekä sen lämpötila. Jäteveden määrään ja lämpötilaan vaikuttaa suuresti sateet ja lumien sulamisvedet. [18.] Lämmönkulutuskohteet on esitettyä kuvassa 6 pinottuna aluekaaviona (ks. liite 5).



Kuva 6. Vuoden 2018 lämmönkulutuskohteiden suuruus Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla [19].

Mädättämöiden kuluttaman lämpöenergian, kuvassa 6 sinisellä, voidaan nähdä olevan selvästi suurempaa kuin minkään muun yksittäisen lämmönkulutuskohteen. Muut kulutuskohteet seuraavat ulkolämpötilan muutosta huomattavasti selkeämmin ja herkemmin kuin mädätys ja lietteiden lämmittäminen. Tämä aiheuttaa omat haasteensa yhtenäisen lämmöntuotannon ja jakamisen saavuttamiseksi.

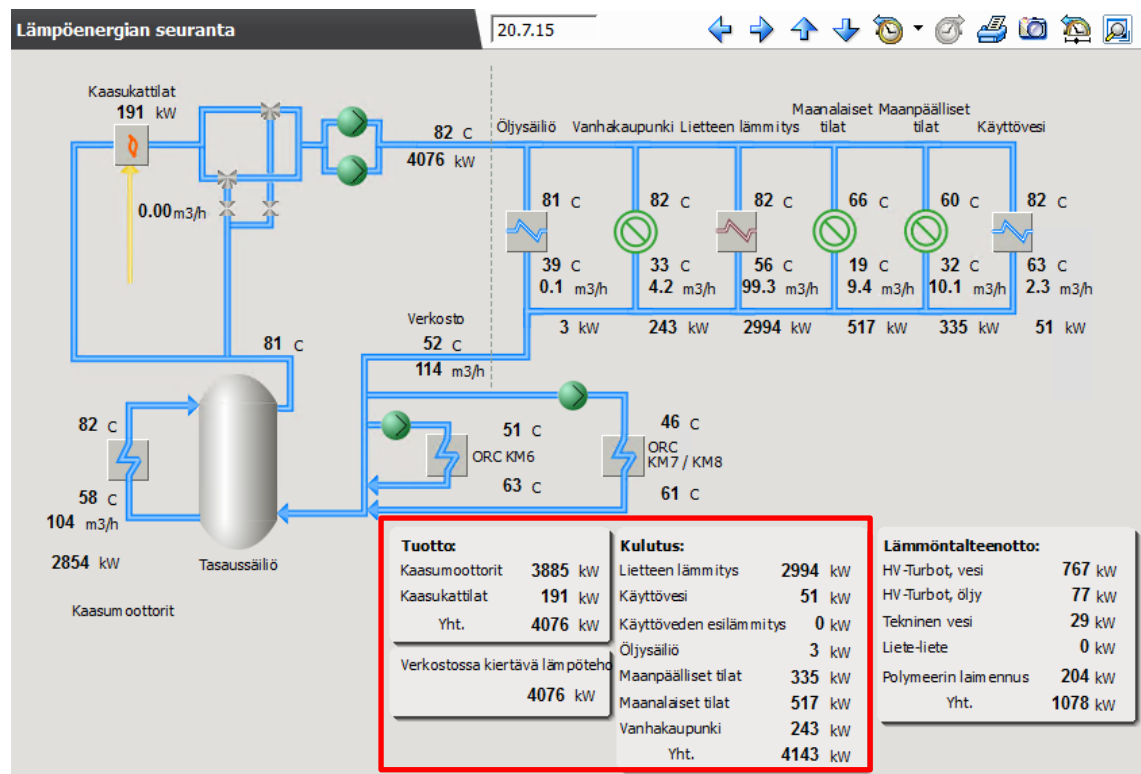
4.1 Prosessissa syntyvä ylijäämälämpö

Prosessissa tuotetun biokaasun määrään ja energiasisältöön vaikuttavat useat tekijät kuten suuret sade- tai rasvamäärät, jotka vaikuttavat suoraan mädätysprosessissa syntyvän metaanin määrään [18]. Tuotetun biokaasun määrää ja laatua on tällöin vaikea ennustaa mm. näiden ulkopuolisten tekijöiden takia. Tuotetulla biokaasun määrällä on paljon merkitystä syntyvän ylijäämälämmön määrään, sillä mitä enemmän kaasua pystytään tuottamaan, sitä todennäköisempiä ovat tilanteet, joissa ylijäämälämpöä syntyy.

Viikinmäen jätevedenpuhdistamon laitosalueella sijaitsee yksi 4000 m³:n kokoinen kaasukello, jossa tasataan kaasun laadun ja määrän vaihteluita sekä pidetään kaasunpaine vakiona. Kaasukellon koko on mitoitettu olevan noin 15 % koko vuorokautisesta kaasumäärästä [12]. Mitoitus ei ole kovin suuri, jolloin biokaasua voidaan varastoida vain hyvin lyhyitä aikoja. Tämä aiheuttaa tilanteita, erityisesti kesäaikaan ja/tai prosessin häiriötilanteissa, jolloin kaikkea syntyvää biokaasua ei saada käytettyä järkevästi. Tällöin kaasukellon ylitäytön ja paineen nousun estämiseksi joudutaan ylijäämäkaasua soihduttamaan. Vuonna 2017 ylijäämäkaasua soihdutettiin n. 268 000 m³, joka vastaa energialtaan n. 1 700 MWh:a. Tämä on kuitenkin vastannut vain n. 1,85 %:a koko vuotuisesta biokaasun käytöstä, joten kyseessä ei ole suuri ongelma tai merkittävä energiaa hukkaava tekijä (ks. liite 1). Noin 98,15 % biokaasusta on tällöin vuonna 2017 pystytty käyttämään joko kaasumootoreille, tai kattiloille. Suurempi osuus ylijäämälämpöä, noin 27 %, syntyy edellä mainittujen moottorien ja kattiloiden hukkaamasta lämmöstä, joka edellisen luvun kuvassa 5 tehdyssä sankey-diagrammissa voidaan havaita häviöt kaasumootorilta ja kattiloilta kohdissa. On kuitenkin huomattava, ettei tästä osuudesta kaikkea energiaa saada hyödynnettyä haluttuun muotoon, sillä hyötysuhde ei voi olla 100 %.

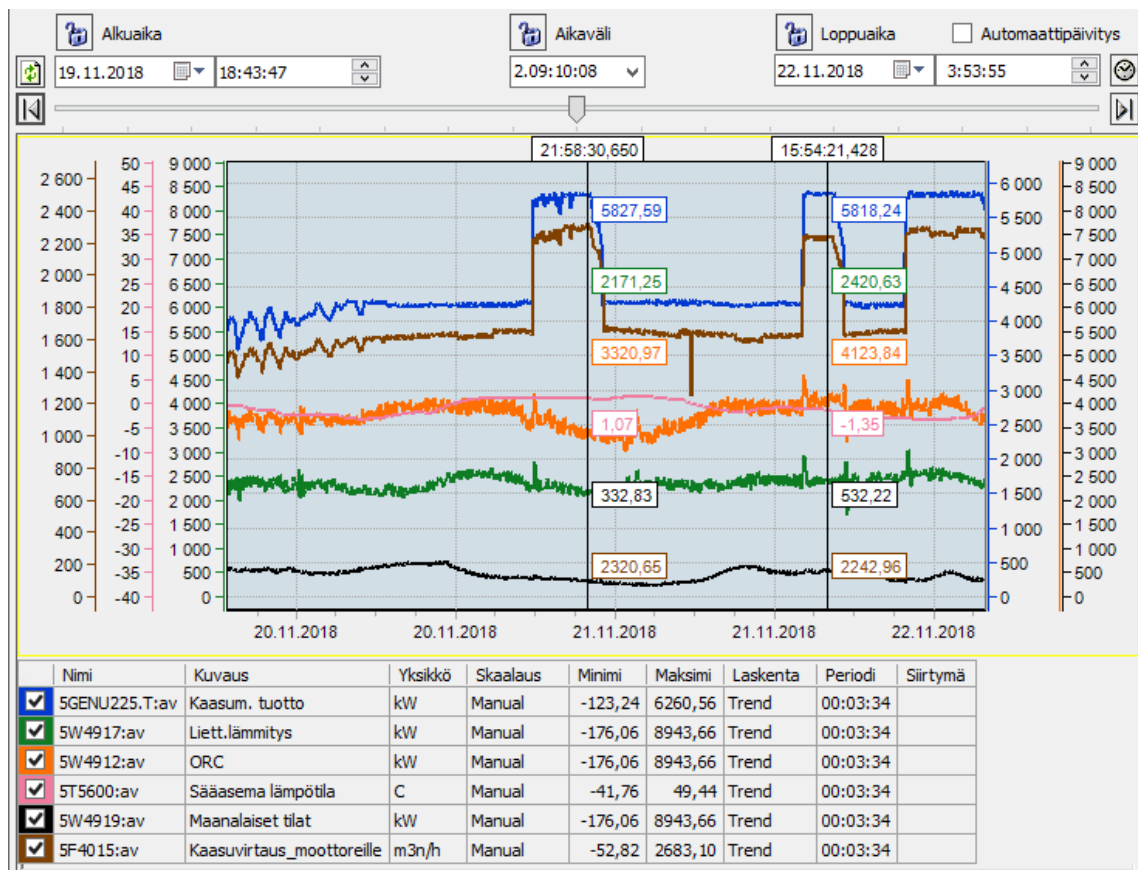
Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla käytetään kattavasti Metson kehittämää ja nykyisin Valmetin omistamaa Metson/Valmetin DNA -prosessiautomaatiojärjestelmää, jonka avulla laitoksen eri toimintoja ohjataan ja valvotaan. Järjestelmä kattaa myös laajat mahdollisuudet tarkastella historiadataa, jonka avulla mm. jätevedenpuhdistamon ajotavasta, biokaasun käytöstä, lämmöntuotannosta ja kulutuksesta yms. voidaan tehdä päätelmiä ja tuloksia.

Prosessiautomaatiojärjestelmästä on helppo löytää esimerkiksi data lämpöenergian kokonaistuotosta ja kulutuksesta, kuvassa 7 korostettuna punaisella alueella.



Kuva 7. Yleisnäkymä Valmet DNA (Operate Client) -prosessiautomaatiojärjestelmästä lämpöenergian seurantaikkunasta [20].

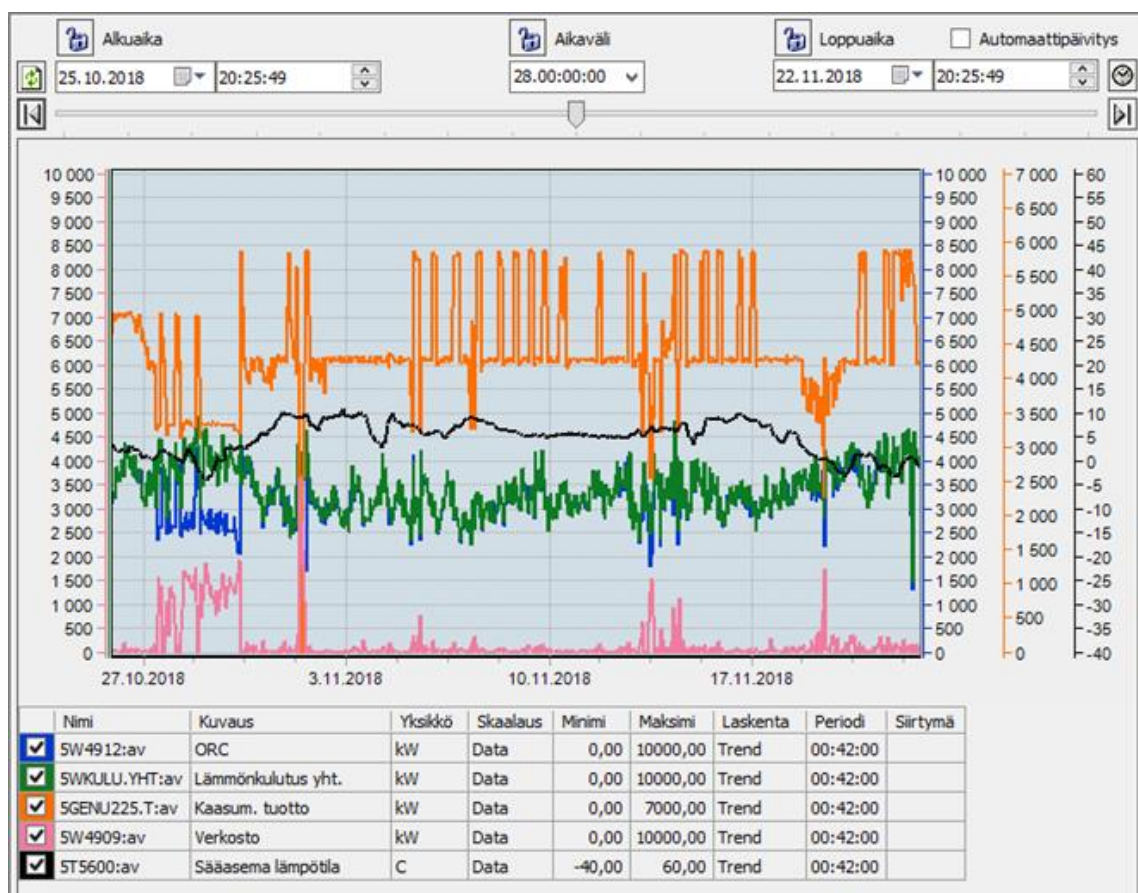
Valmetin ilmoittama lämpöenergian kokonaistuotto vastaa lähes aina kulutukseen. Esimerkiksi kuvan 8 tapauksessa, kahdessa tarkasteluun hiusviivalla valitussa kohdassa. Jokainen neljästä kaasumoottorista on ollut päällä ja sähkön kokonaistuotanto on tällöin ollut n. 5800 kW (sininen viiva). Lämpöenergian kokonaistuoton määrää samanlaisissa olosuhteissa tulisi olla sama, energian säilymislain perusteella, sillä biokaasua poltetaan kaasumootoreilla sama määrää molemmissa tapauksissa (ruskea viiva).



Kuva 8. Lietteen ja maanalaisen tilojen lämmityksen energiantarve kasvattaa energiantuotantoa, vaikka energiaa todellisuudessa tuotetaan kaasumoottorilla sama määrä [20].

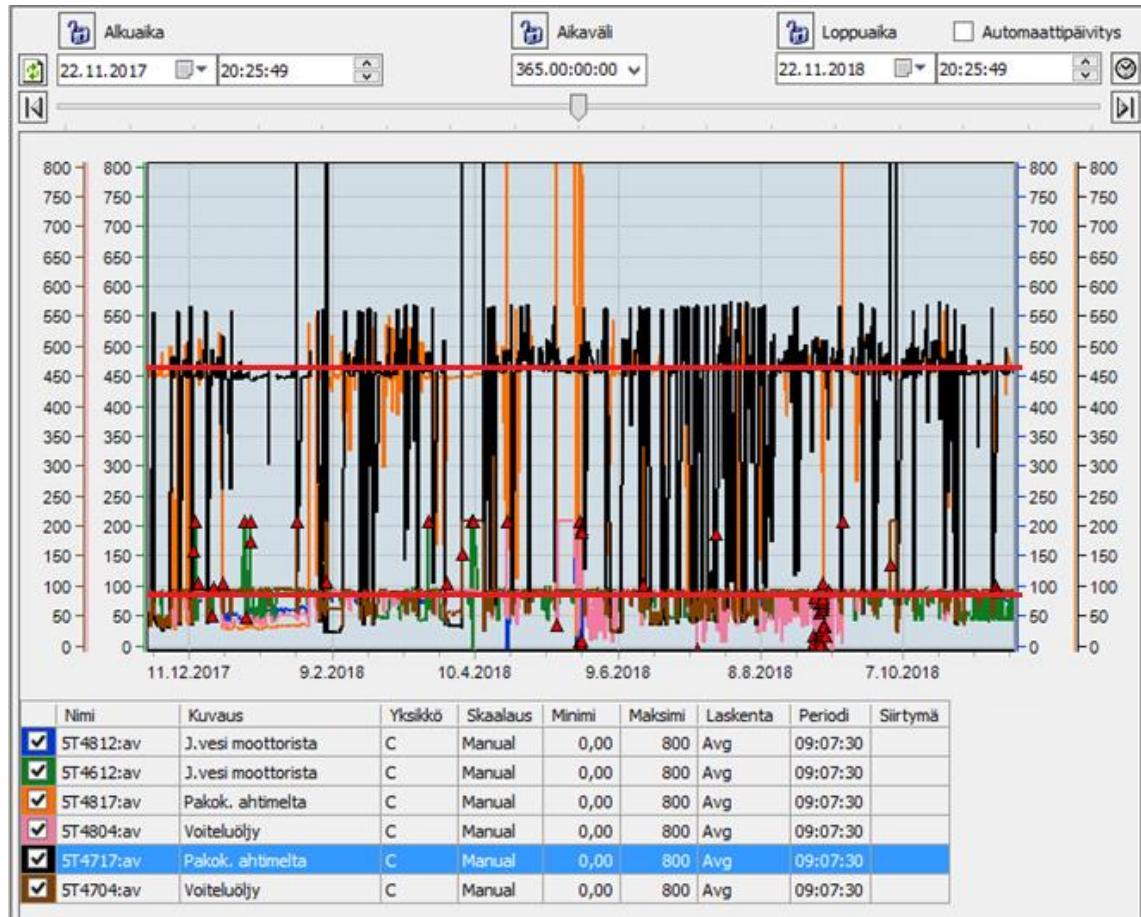
Näin ei kuitenkaan ole, koska kuvan 8 tilanteessa esimerkiksi liete (2 420 kW, ennen 2 171 kW) ja maanalaiset tilat (532 kW, ennen 332 kW) ovat vaatineet paljon isompaa lämmitystehoa kuin aiemmin, jolloin myös kaasumootoreiden lämmöntuotto (oranssi viiva) on kasvanut n. 800 kW (4 123 kW, ennen 3 320 kW). Kattiloilla ei esimerkikuvana aikana ole tuotettu lämpöä.

Kuvassa 9 vastaava tilanne pidemmältä, noin kuukauden ajanjaksolta. Kaasumootoreiden tuottama sähköteho pysyy lähes vakiona, riippuen montako kaasumootoria on päällä (oranssi viiva). Kaasumootoreiden lämmöntuotto (sininen viiva) seuraa lämmönkulutusta (vihreä viiva) lähes samassa ollen jatkuvasti päällekkäin. Isompana muuttujana lämmönkulutukselle ja sitä seuraavalle lämmöntuotolle on ulkolämpötilan (musta viiva) muutos. Lämpötilan laskiessa on lämmöntuotanto ja kulutus lähtenyt nousuun riippumatta siitä montako kaasumootoria on ollut päällä. Ajalla 27.10.–31.10. kaasumootoreita on ollut vain kaksi päällä, mistä on seurannut kaasumootoreiden lämmöntuoton romahtaminen, ja kulutusta vastaava lämpöteho on tuotettu kaasukattiloilla (vaaleanpunainen viiva).



Kuva 9. Kaasumootoreiden lämmöntuotto seuraa lämmönkulutusta. Sininen ja vihreä viiva ovat koko ajan lähes päällekkäin. Vaikka kaasumootoreita on ajettu vaihtelevasti, tämä ei ole vaikuttanut lämmöntuotantoon mitenkään [20].

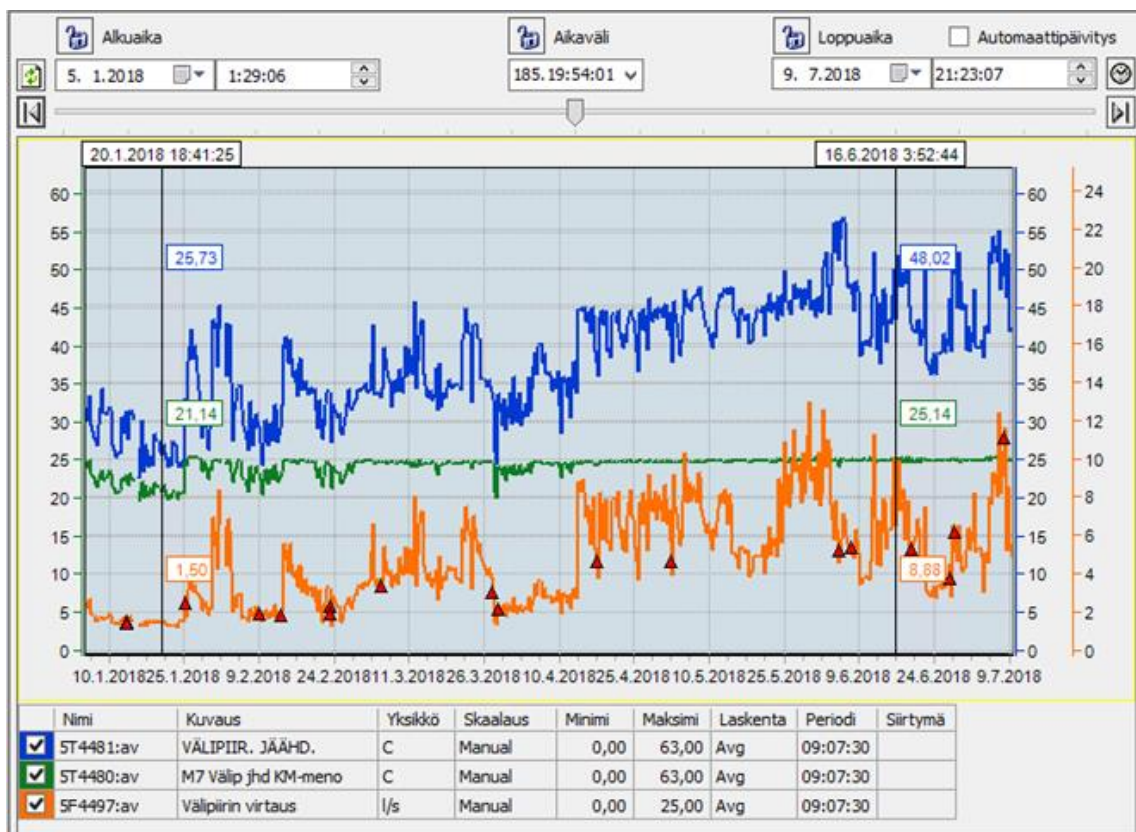
Kaasumootoreiden lämpöenergiantuoton pysyminen vakiona voidaan erikseen todentaa kuvasta 10, jossa vuoden ajanjaksolle on valittu kolmen 1 560 kW:n kaasumootorin pakokaasun, moottoriöljyn ja jäähdytysnesteen lämpötila.



Kuva 10. Kaasumootoreiden lämmöntuoton pysyminen tasaisesti vakiona vuoden ajanjaksolla, korostettuna punaisilla viivoilla [20].

Lämpötilat pysyvät koko vuoden vakiona, ollen pakokaasun ulostulolämmölle noin 450 °C, jäähdytysnesteen ja moottoriöljyn lämpötiloille noin 90 °C. Nesteiden lämpövirrat ohjataan tämän jälkeen lämmönsiirtimien ja tasaussäiliön kautta kulutuskohteille. Pakokaasun sisältämät lämpöenergiavirrat ohjataan joko ORC:lle tai pakokaasukattilalle.

Ylijäämälämmölle on vaikea lähteä määrittämään selvää tilannetta pelkästään Valmetin prosessiautomaatiojärjestelmän ilmoittaman lämmöntuoton ja kulutuksen perusteella, sillä edellä todettujen esimerkkien perusteella nämä seuraavat toisiaan. Ylijäämälämpöä ei pystytä yksinkertaisesti laskemaan vähentämällä tuotetusta lämpöenergiasta kulutettu energia, jolloin jäljelle jäisi vain ylijäämälämpö. Tämä johtuu siitä, että kulutukseen ja tuotantoon summataan vain kuvassa 7 esiintyvät kohteet. Lämpöenergiaa ajetaan myös näiden mittauspisteiden ulkopuolelle mm. tekniseen veteen, välipiiriin ja moottorien hätäjähdytyksen kautta voimalaitosrakennuksen katolle. Välipiirin prosessipisteet sijaitsevat päälämmityspiirin lämmönsiirtimien jälkeen. Tällöin päälämmityspiiristä jäljelle jäävä lämpöenergia kiertää välipiirin lämmönsiirtimien kautta ennen paluuta uudestaan lämmityskiertoon. Kuvassa 11 on nähtävissä välipiirin tulo- ja menolämpötilat sekä virtaama. Puolen vuoden jaksolla voidaan tammikuusta kesäkuuhun huomata virtauksen ja lämpötilan trendien olevan kasvava kesää kohti. Näiden tietojen perusteella pystytään laskea lämpöteho yhdelle lämpöenergian seurannan ulkopuolelle jäävälle prosessipisteelle.



Kuva 11. Lämpöenergiaa ja erityisesti ylijäämälämpöä ajetaan mitattujen kulutuskohteiden ulkopuolelle "välipiiriin," tämän takia ylijäämälämpö ei voida havaita suoraan [20].

Lämpöteho voidaan laskea massavirran, ominaislämpökapasiteetin ja lämpötila eron yli prosessin tulona, kaavan 1 avulla

$$\phi = c_p \dot{m} \Delta T \quad (1)$$

missä ϕ on lämpöteho (kW)

c_p on fluidin ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

\dot{m} on fluidin massavirta (kg/s)

ΔT on lämpötilaero yli prosessin (°C) [21, s.111.]

Laskemista varten vertailuun valitaan kesältä ja talvelta yksi ajankohta, joka ei poikkea merkittävästi keskimääräisestä tilanteesta ajanjaksolla. Taulukkoon 2 on merkitty laskennassa käytetyt arvot sekä tulokset. Veden ominaislämpökapasiteettina käytettiin arvoa 4,19 kJ/kg°C [21, s.178]. Veden tiheytenä pidetään 1000 kg/m³, jolloin yksiköt l/s ja kg/s ovat saman suuruiset.

Taulukko 2. Lämpötehon laskennassa kaavan 1 mukaan käytetyt arvot sekä tulokset.

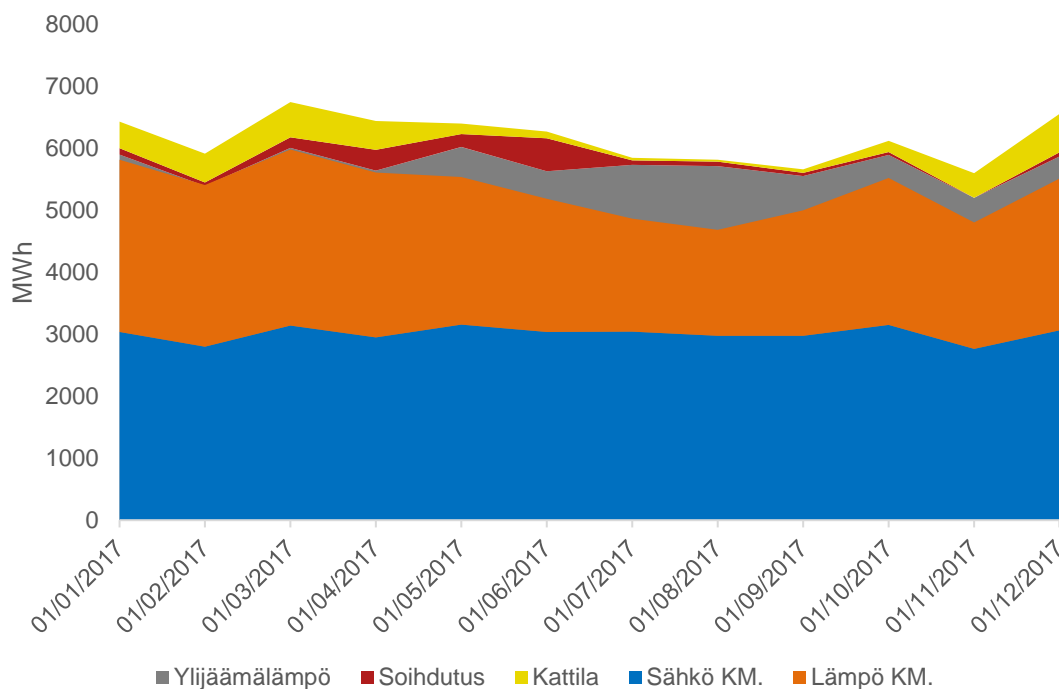
	Kesä	Talvi	Tulos (kW)
t1 (°C)	48,02	25,73	851,30
t2 (°C)	25,14	21,14	28,84
m (l/s)	8,88	1,50	

Laskutoimituksen perusteella huomataan kesällä jopa 850 kW lämmöstä menevän kuvassa 7 esitettyjen kulutuskohteiden ulkopuolelle välipiiriin. Välipiirin lämpöä käytetään lähinnä teknisen veden lämmittämiseen mutta myös osa lämmöstä käytetään polymeerin laimennusveden lämmitykseen. Teknisellä vedellä tarkoitetaan puhdistettua jätevettä, joka on kuitenkin juomakelvotonta ja huonompilaatuista kuin vesijohtovesi. Teknistä vettä käytetään jätevedenpuhdistamolla erilaisten kemikaalien, kuten polymeerin ja ferrosulfaatin valmistukseen sekä putkien, altaiden ym. pesuihin ja huuhteluihin [22.] Tämä selittää, miksi lämmitysenergian tuotannosta ja kulutuksesta ei suoraan voida havaita ylijäämälämmön tilanteita, sillä kuten todettu osa lämpöenergiasta käytetään mittauspisteiden ulkopuolella, eikä näitä lämpöenergioita kerätä mihinkään historiatietoihin tarkemmin.

4.2 Prosessissa syntyvä ylijäämälämpö teoreettinen

Tilanteita, joissa ylijäämälämpöä syntyy, voidaan havaita paremmin sen perusteella, miten paljon biokaasua on kaasumotoreille ja kattiloille syötetty, ja miten biokaasusta kemiallisesti palamisreaktion kautta saatu energia on muunnettu lämpö- ja sähköenergiaksi. Näitä energioita voidaan verrata biokaasusta tämän energiasisällön perusteella teoriassa enimmillään saatavissa olleeseen energiaan.

Tämän todentamiseksi kerättiin Valmetin DNA -automaatiojärjestelmästä historiatiedot kuukausitasolla kaasunkulutuksesta kattiloille, kaasumotoreille ja ylijäämäkaasunpolttimille sekä tuotetun sähköenergian määrä ja tuotetun lämpöenergian määrä. Biokaasun teoreettisen energiasisällön avulla kulutetusta kaasunmäärästä voidaan laskea teoriassa potentiaalisesti käytettävissä ollut kokonaisenergian määrä, jota voidaan suoraan verrata tuotettuihin lämpö- ja sähköenergian määriin kuukaudessa. Energiämääristä muodostettiin tämän jälkeen pinottu aluekaavio, kaaviokuva 12, jossa harmaalle alueelle muodostui kaasumotoreiden biokaasun polttamisen jälkeen hyödyntämättömäksi jäänyt lämpöenergia, eli ylijäämälämpö. Kaasumootorit eivät pysty käyttämään kaikkea biokaasua hyödynnettäväksi lämpö- tai sähköenergiaksi, vaan osa energiasta kuluu moottorin kitkahäviöihin mm. laakereissa MWM ilmoittaa TGC 2020 -mallin kaasumootorin hyötysuhteeksi n. 86 %. Tästä arvosta voidaan vielä olettaa tapahtuvan häviöitä mm. generaattorilla, lämmönsiirtimissä ja putkistoissa [23]. Lisäksi Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla koko laitoksen hyötysuhde vaihtelee suuresti sen mukaan, käytetäänkö pakokaasujen lämpöenergia hyödyksi ORC-laitteistolla vai pakokaasukattiloilla, jolloin tarkkaa arvoa on vaikea määrittää. Tämä vaikuttaa myös siihen, miten paljon ylijäämälämpöenergiaa on käytettävissä mihinkin vuoden aikaan (ks. liite 4). Tämä on huomioitu kaaviokuvassa todenmukaisemman käytettävissä olevan ylijäämälämmön määrään todentamiseksi. Kokonaishyötysuhteena on käytetty 78 %:a, joka perustuu vuoden lasketuun keskiarvoon.



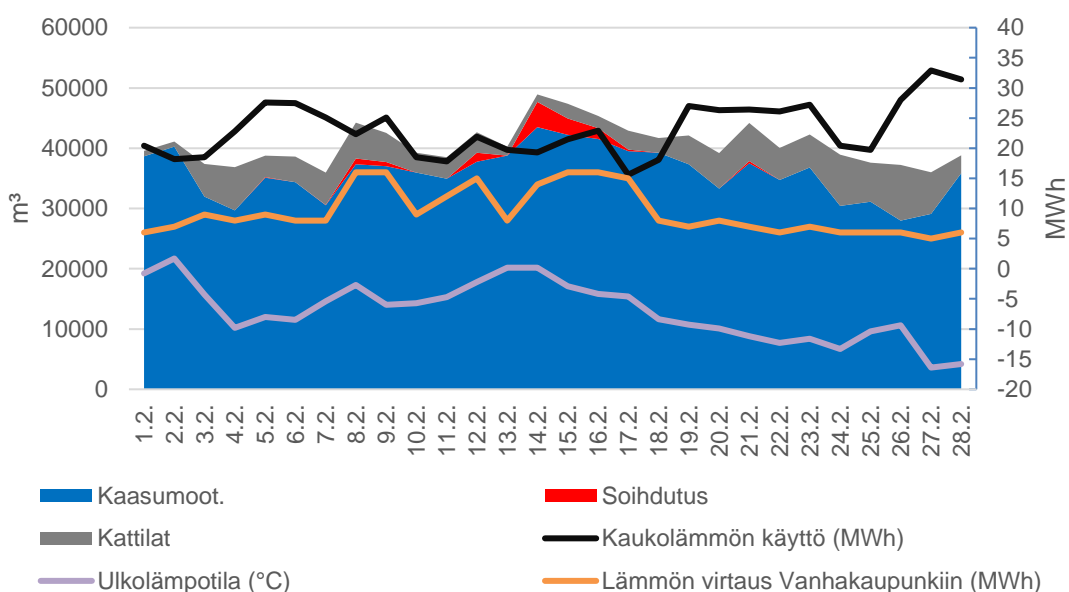
Kuva 12. Aluekaaviossa väreillä esitetty biokaasusta hyödyksi käytetty energia, harmaalla käytämättä jäänyt energia [24].

On tässä vaiheessa huomioitava se, että kuvaaja sisältää myös ORC:n tuottaman sähköenergian. Tämä johtuu siitä, että Valmetin DNA -automaatiojärjestelmän ”aikaleima” kerää tiedot kaikesta tuotetusta sähköstä laitoksella ilman erittelyä. ORC:n tuottama sähköenergia tulee kuitenkin kaasumootorin polttamasta kaasusta, jonka pakokaasuista ylijäämlämpöenergia ohjataan ORC:lle. ORC voidaan täten laskea kuvaajassa kaasumootorin alle tämän parantaessa vain sähköntuotannon tehoa. Prosessiautomaatiojärjestelmä kerää myös aurinkoenergian sähköntuotannon ”aikaleimalle”. Tämä on huomioitu kaaviossa 8, josta on poistettu joka kuukaudelta aurinkoenergian sähköntuoton luekemat. Vuonna 2017 aurinkoenergian sähköntuotto on ollut 197 MWh, joka on vastaavan ajan kokonaissähköntuotannosta ollut vain 0,005 %. Kesällä, suurimman aurinkosähköenergiapotentialin aikana, vastaava osuus on ollut noin 1,2 %. [24.]

Kaaviokuvasta 12 voidaan todeta, ettei ylijäämlämpöä tuoteta vuodenajasta riippuen yli 1–10 %. Tämä on kuitenkin isolle energiantuottajalle vastannut kokonaisenergia määrältään vuonna 2017 jopa 4,6 GWh:a. Harmaalla alueella kaaviokuvassa 12 merkitty ylijäämlämpö on selvästi isompaa kesäisin lämpimän aikaan, jolloin lämmöntarve on pienempää, jolloin myös ylijäämlämpöä syntyy runsaasti.

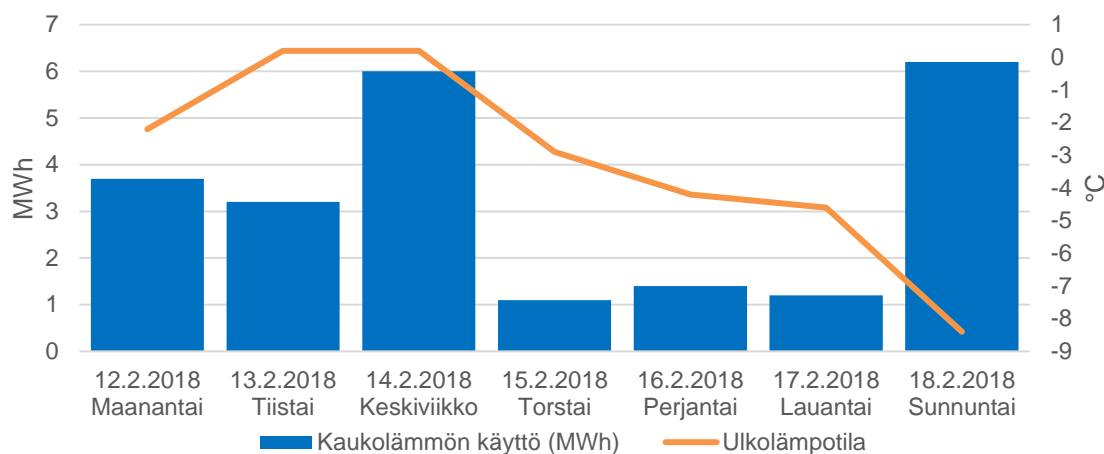
4.3 Ylijäämälämpö talvella ja häiriön aikana

Ylijäämälämpöä muodostuu kesän lisäksi myös häiriöiden tai runsaan biokaasun tuotannon takia myös kylmempinäkin aikoina, esimerkiksi kuvan 12 mukaan loka-joulukuussa 2017 sekä tammi-maaliskuussa 2018. Tällä ajalla on ilmennyt myös tilanteita, jolloin ylijäämäkaasua on jouduttu myös soihduttamaan, vaikka lämmölle olisi ollut Vanhankaupungin vedenpuhdistamolla kysyntää. Tilanne ilmenee tarkemmin vertaillen päiväkohtaista biokaasun kulutusta lämmönkäyttöön Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla ja Heleenin Sävel+ -palvelusta Vanhankaupungin kaukolämmön kulutuksesta. Esimerkiksi kuvaajasta 13 voidaan havaita 14.2.–17.2.2018 ylijäämäkaasun soihdutuksen olleen kohdallaista (punainen alue), kun taas vastaavalla aikavälillä lämmönvirtaama Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle (oranssi viiva) on ollut tasaista, eikä merkittävää piikkiä lämmönsiirtymisessä ole havaittavissa ylijäämälämmön siirtymiseksi Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle.



Kuva 13. Ylijäämäkaasua (punainen alue) soihdutetaan, vaikka lämmönkysyntää on Vanhankaupunkiin [24; 25].

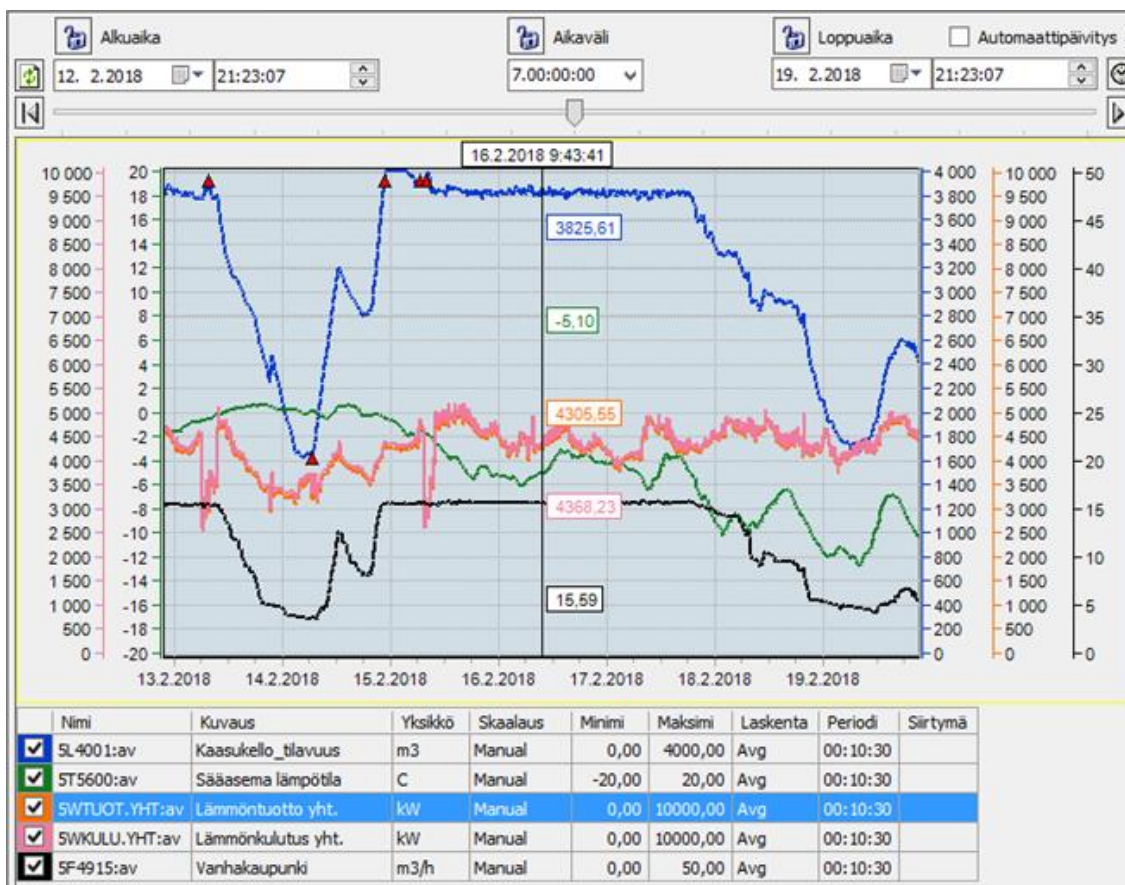
Lämmönkysyntä Vanhankaupungin vedenpuhdistamolla on kuitenkin Sävel+ -palvelusta tehdyn kaukolämmön kulutuksen kuvaajakuvan 14 perusteella ollut isompaa, mitä annettu lämmönvirtaama Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta on ollut, sillä kaukolämpöä on jouduttu käyttämään noin 1 MWh:n verran päivässä 15.2.–17.2.2018.



Kuva 14. Kaukolämmönkulutus Vanhankaupungin vedenpuhdistamolla ei ylijäämälämmöntuotannosta huolimatta ole täysin loppunut [25].

Vastaavasti kuvaajassa 13 soihdutukseen hukattu energia (punainen alue) on suuruudeltaan ollut peräti 60 MWh, joka olisi riittänyt helposti kattamaan koko Vanhankaupungin vedenpuhdistamon lämmitystarpeen. Tilanne on myös ollut ympärivuorokautista, jolloin yksittäisellä lämpöenergian kysyntäpiikillä ei ole merkitystä, vaan lämmönkysyntä on ollut tasaista kyseisinä päivinä.

Tarkasteltaessa vastaavan ajan tilannetta vielä Valmetin prosessiautomaatiojärjestelmän kautta kuvasta 15 voidaan nähdä virtauksen olevan rajoittunut 15,4 m³:iin/h:ssa (musta viiva), vaikka biokaasuakin (sininen viiva) olisi runsaasti käytettävissä.



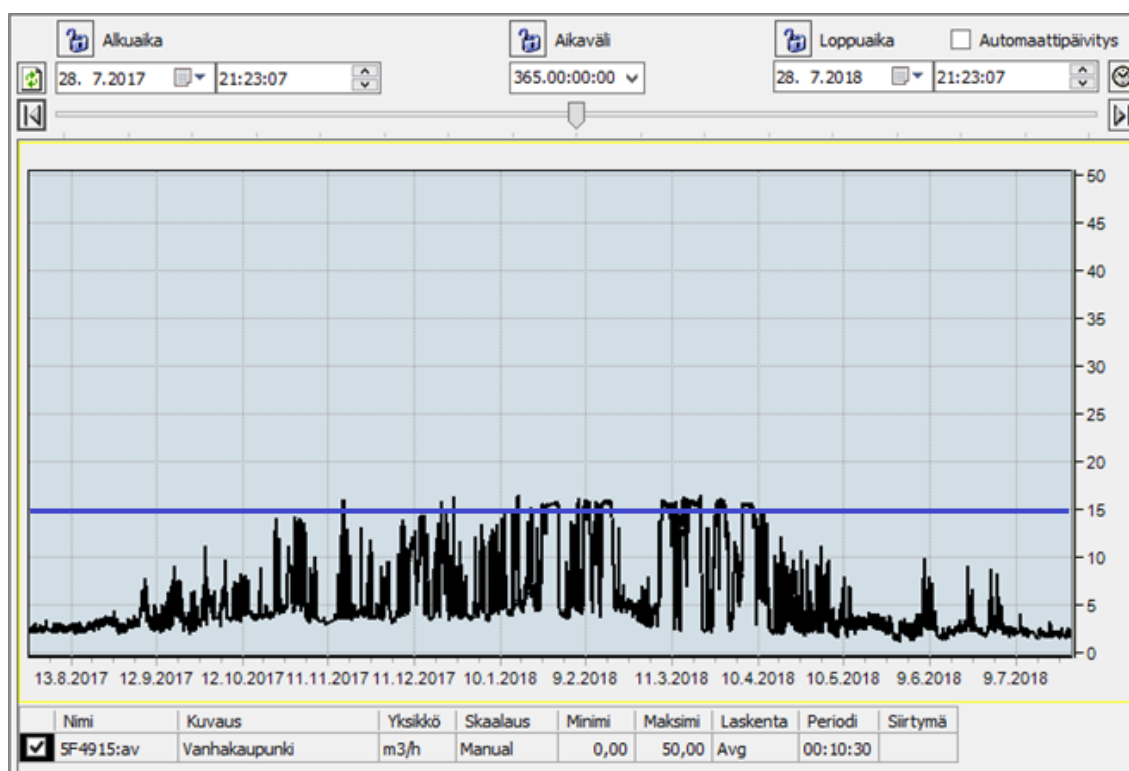
Kuva 15. Kaasukellossa runsaasti kaasua käytettävänä mutta lämmitysveden on rajoittunut 15,4 m³:iin/h asti [20].

Kaasukattiloissa on oletettavasti ollut vikaa, tai ylijäämäkaasua on syntynyt ajanjaksolla runsaasti, osa ylijäämäkaasusta on pystytty hyödyntämään lämmöntuotannossa ja edelleen Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle. Suuri osa ylijäämäkaasusta on kuitenkin jouduttu soihduttamaan, sillä kaasua ei ole pystytty käyttämään järkevästi energiantuotantoon. Tilanteen perusteella voidaan kuitenkin päätellä se, ettei lämmönsiirto ole ollut riittävän tehokasta laitosten välillä ajanjaksolla, jossa häiriö on ilmennyt ja ulkolämpötila on reilusti pakkasen puolella (-6 °C), sillä lämpöenergia ei ole virrannut potentiaalisella maksimäärällään Vanhankaupungin vedenpuhdistamon lämmön kattamiseksi.

Tilanteesta voidaan myös päätellä, ettei laitosten välinen lämpöenergian jakotapa toimi loogisesti, koska häiriötilanteessa, jossa kaasukattila ei toimi, ei lämpöenergiaa tulisi voida jakaa yli omien lämpöenergiatuotantorajojen.

4.4 Virtauksen luonne

Jos virtauksen tilaa katsotaan ainoastaan Vanhankaupungin vedenpuhdistamon ja Viikinmäen jätevedenpuhdistamon välillä, noin vuoden ajanjaksolla, voidaan huomata kuvasta 16 virtauksen kaikissa tilanteissa suurimmillaan olevan noin 15,5 m³/h luokkaa. Lämmönkysyntää Vanhankaupungin vedenpuhdistamolla ja mahdollisuudet antaa lämpöenergiaa Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta tämän virtausnopeuden yli olisi kuitenkin ollut olemassa edellä mainittujen esimerkkien perusteella.



Kuva 16. Lämmönvirtaama Vanhankaupunkiin nousee harvoin 15 m³/h rajan yli [20].

Lämmönsiirtokyvyn kannalta on oleellista selvittää putkivirtauksen luonne. Laminaarisessa virtauksessa lämmönjohtumisen seurauksena lämpöhäviöt ovat paljon suuremmat kuin turbulentsisessa virtauksessa, jossa lämpö siirtyy pyörteilyn mukana tehokkaammin nesteeseen kuin putken pinnalle. [26.]

Putkivirtaukselle pystytään laskemaan dimensioton Reynoldsin luku, jonka avulla virtauksen luonne saadaan selville, kaavalla 2

$$Re = \frac{D v \rho}{\mu} \quad (2)$$

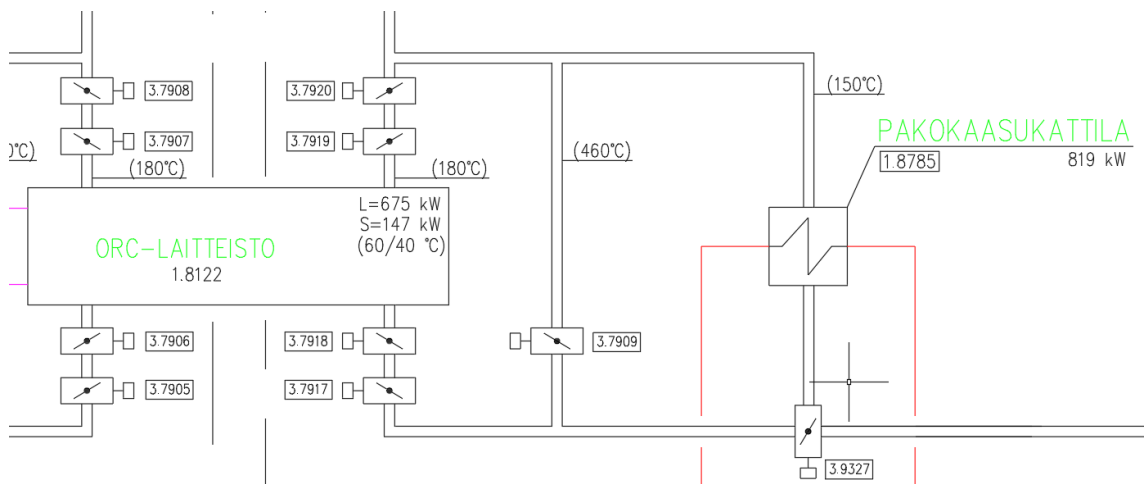
missä Re on dimensioton Reynoldsin luku
 D on putken halkaisija (m)
 v on keskimääräinen fluidin virtausnopeus (m/s)
 ρ on fluidin tiheys (kg/m³)
 μ on fluidin dynaaminen viskositeetti (Pa·s) [21, s.101.]

Excelin avulla muodostettiin yhtälö, jossa virtausnopeutta pystyttiin muuttamaan halutuksi. Putken halkaisija on 0,1 m, ja fluidin ominaisuudet katsottiin vedelle olevan tiheydelle 997 kg/m³ ja viskositeetille 1,0020 · 10⁻³ Pa·s. Näiden perusteella Reynoldsin luvuksi 15,5 m³/h virtaukselle saadaan 54 500, jolloin virtaus on turbulენტista. Myös 1 m³/h virtauksella Reynoldsin luku ylittää rajana pidettävän 2300 ollen 3500. Voidaan tällöin putkivirtauksen luonteen todeta olevan oikeanlainen, eikä aiheuttavan ylimääräistä lämpöhäviötä lämmityspiirissä. [21, s. 101.]

4.5 ORC ja pakokaasukattilat

Kaasumootorit käynnistyvät kaasukellon tilavuuden mukaan portaittain. Moottorien käynnistymisjärjestys riippuu suuresti siitä, mitkä kaasumootoreista ovat käytettävissä, mitkä huollossa ja/tai vikaantuneet. Yleensä kaasumootoreita 6,7 ja 8 pyritetään ajamaan ensisijaisesti näiden pystyessä hyödyntämään pakokaasun hukkalämpö ORC-laitteistolla, jotka parantavat laitoksen sähkön omavaraisuutta. Kaasumoottori 5:llä ei ole olemassa ORC-laitteistoa vaan pelkkä pakokaasukattila. Kaasumoottori 6:lle ei puolestaan ole pakokaasukattilaa vaan pelkkä erillinen ORC-laitteisto. Kaasumoottorit 7 ja 8 pystyvät ajamaan ORC-laitteistoja tai pakokaasukattiloita pakokaasuläppäventtiilien avulla. [27.]

Kuvassa 17 on PI-kaaviossa esitetty kaasumoottori 8:n kytkentätapa pakokaasukattilan ja ORC-laitteiston välillä, laitepaikkanumerolla 3.9327 on ohjaava pakokaasuläppäventtiili.

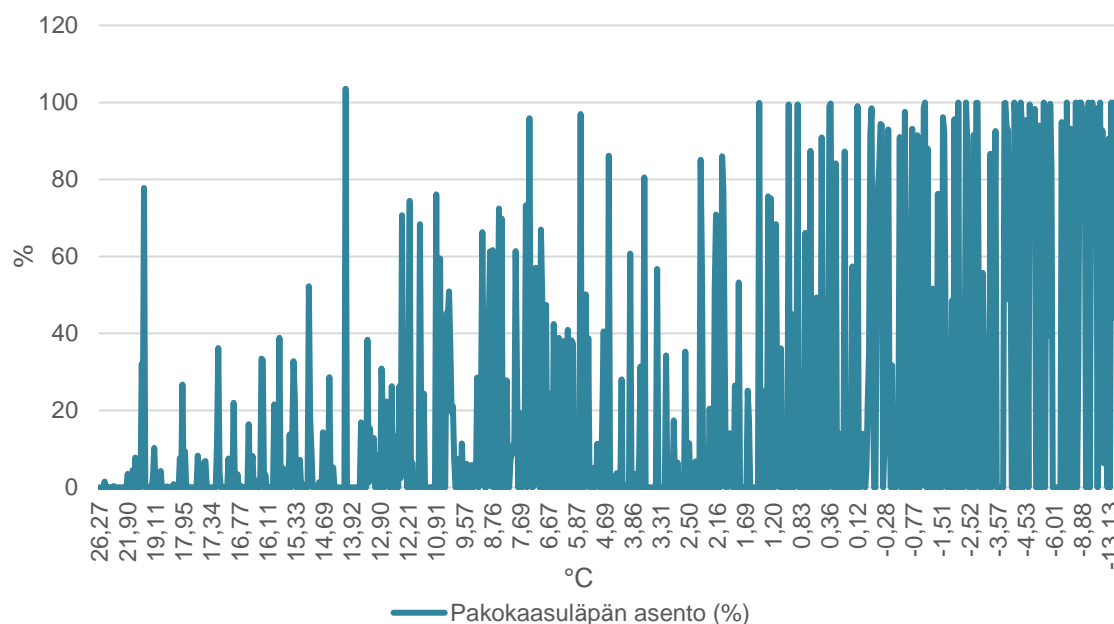


Kuva 17. Kaasumoottori 8:n kytkentätapa pakokaasukattilan ja ORC-laitteiston välillä [28.]

Oletusarvona on siis aina tuottaa mahdollisimman paljon sähköenergiaa, jolloin käynnistymisjärjestyksestä riippuen ensimmäisen (KM. 7 tai KM. 8) moottorin pakokaasunläppä on aina pakotettu ajamaan kaikki kaasumootorin pakokaasu ORC-laitteelle, jolloin läpän asento on 0 %.

Seuraavana käynnistyvän 7 tai 8 moottorin pakokaasulämpän asennolle määrittävä tekijä on verkoston lämpötila kaasumoottoreiden ja pakokaasukattiloiden jälkeen. Pakokaasuläppäventtiilin asento seuraa tämän lämpötilamittauksen arvoa siten, että lämpötila-arvon ollessa asetusarvoa matalampi avataan pakokaasuläppäventtiiliä 0 – 100 % väliltä ja vastaavasti lämpötila-arvon ollessa asetusarvoa suurempi suljetaan pakokaasuläppäventtiiliä. Näin saadaan ohjattua pakokaasujen lämpöenergia ORC-laitteilta pakokaasukattiloille lämmöntarpeen mukaan. Ylijäämälämmön kannalta voidaan siis päätellä, että kun säädettävänä olevan pakokaasuläppäventtiilin asento on alle 100 %, on laitoksen lämmöntarve pienempää, mitä tuotettu lämpöenergia, jolloin myös syntyy ylijäämälämpöä.

Tilanne voidaan havaita kuvasta 18, jossa molempien pakokaasuläppäventtiilien asento on esitetty suhteessa ulkolämpötilaan.



Kuva 18. Pakokaasuläppäventtiilien asento suhteessa ulkolämpötilaan [20].

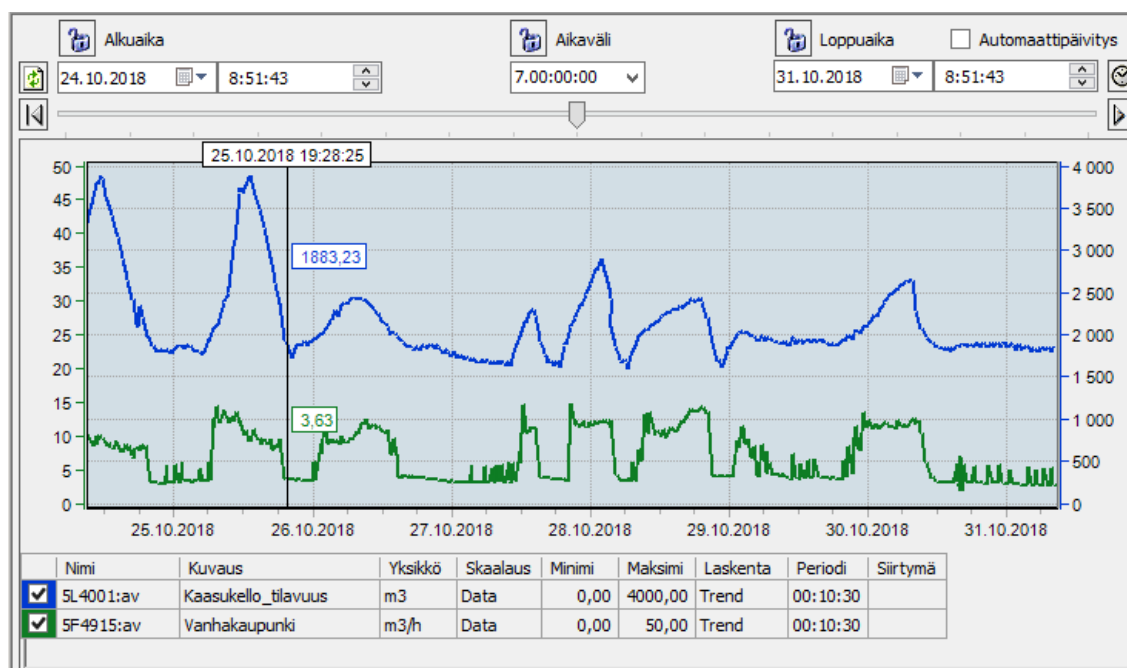
Kuvassa 18 huomattavaa on, että kesällä lämpimän ja pienemmän lämmöntarpeen aikaan pakokaasuläppäventtiilit ovat usein lähellä 0 %:a tai reilusti alle 40 %, muutamaa yksittäistä piikkiä lukuun ottamatta. Talvella ja kylmän aikaan on lämmöntarve isompaa, jolloin myös pakokaasukattiloita tarvitaan enemmän, tällöin venttiilin asento n. 1°C:n jälkeen on usein lähellä 100 %:a.

5 Järjestelmän optimointi- ja parannusehdotukset

Ylijäämälämmön ajamista Vanhankaupungin vedenpuhdistuslaitokselle voidaan parantaa mm. muuttamalla säätöventtiilin rajajoen asetusarvoja, käyttämällä olemassa olevia pumppuja lämmönsiirron tehostamiseen ja muuttamalla yleisesti laitosten toiminta- ja ohjaustapoja lämmönsiirtämisessä. Tässä luvussa on käyty läpi joitakin konkreettisia ja teoreettisia tapoja parantaa lämpöenergian ja ylijäämälämmön käyttöä.

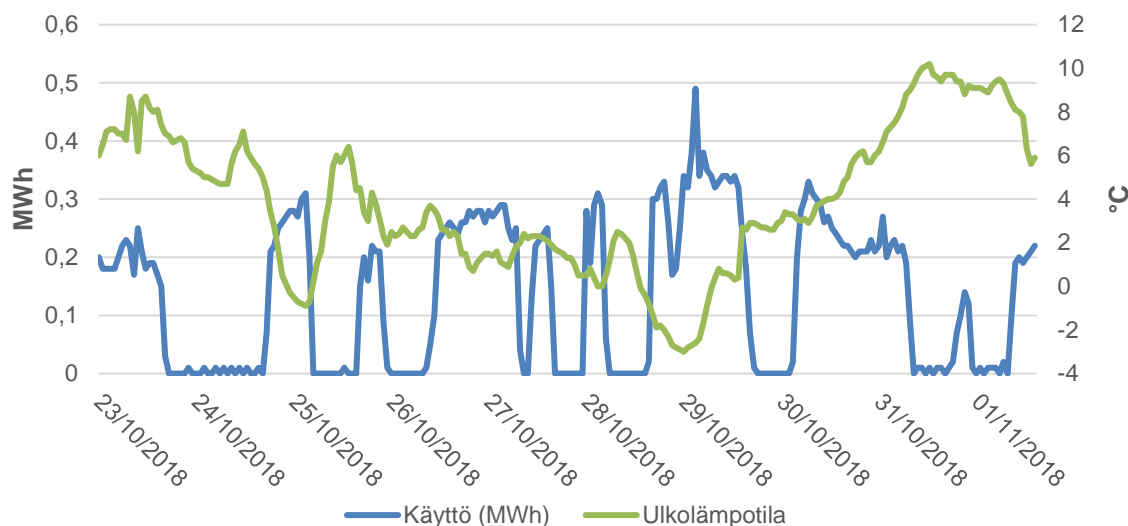
5.1 Ylijäämälämmön ajaminen Vanhankaupungin vedenpuhdistuslaitokselle

Lämmönvirtaus laitosten välillä perustuu Viikinmäen kaasukellossa olevaan kaasunmäärään, joka säätää säätöventtiilin avulla virtausta laitosten välillä. Kuvasta 19 voidaan nähdä, miten kaasukellon täytyessä on virtaamaa, Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle kasvanut. Päinvastoin kaasukellon tyhjentäessä alle 2000 m³:n on virtaama laskeutunut.



Kuva 19. Kaasukellon tilavuuden tippuessa alle 2000 m³:n on virtaus Vanhankaupunkiin laskeutunut merkittävästi [20].

Sama tilanne voidaan havaita Helenin Sävel+ -energiaseurantapanelun kautta samalta ajanjaksolta kerätyn datan avulla muodostetusta kuvaajakuvasta 20, jossa Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta tulevan lämpövirtauksen pieneneminen näkyy Vanhankaupungin vedenpuhdistamon kasvavana kaukolämmön kysyntänä.



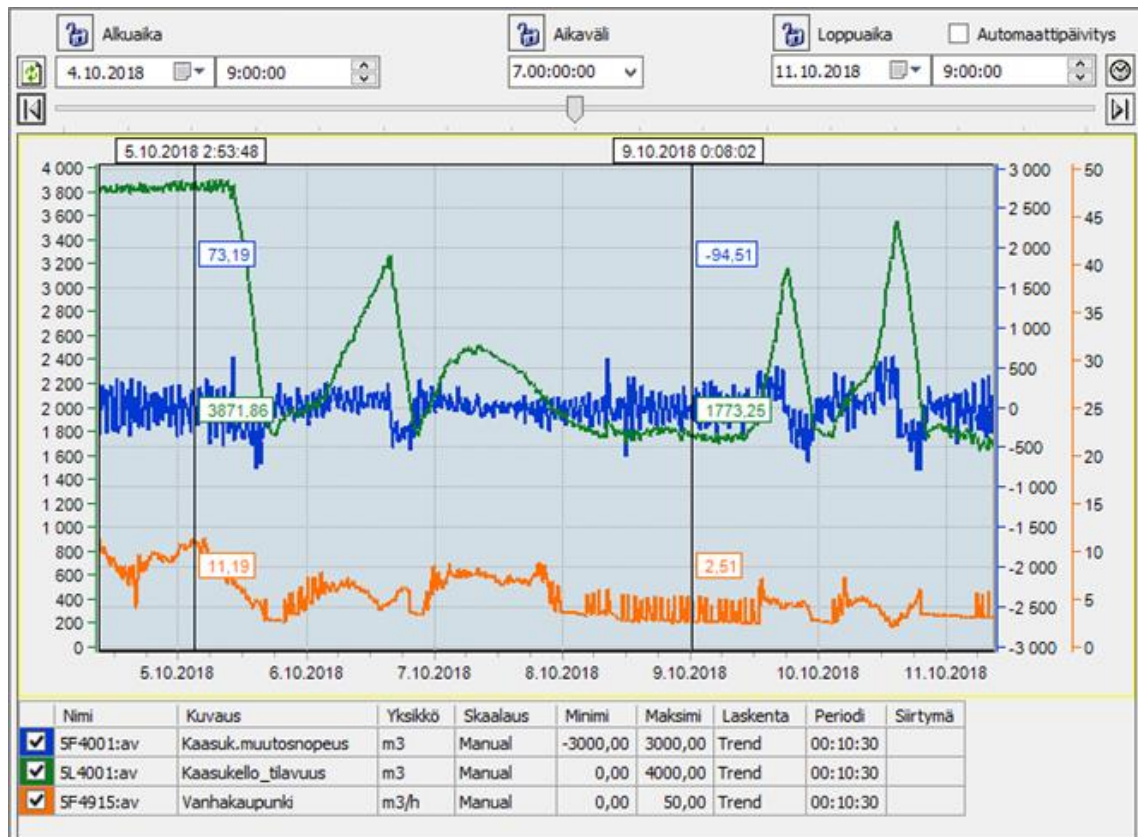
Kuva 20. Kaukolämmön kysyntä Vanhassa kaupungissa nousee huomattavasti Viikinmäen kaasukellon tilavuuden alittaessa 2000 m³, edellisen kuvan 19 mukaisesti [25].

Säätötavan ajatuksena on ollut turvata Viikinmäen jätevedenpuhdistamon biokaasun riittävyys.

5.2 Säätöventtiili laitosten välillä

Kaasukellon kaasunmäärään perustuva ohjaustapa ei ole optimaalinen, sillä kulutettaessa kaasua kaasumootoreille tai kattiloille tuottavat nämä lämpöä. Samalla rajoitetaan kulutuskohteeseen menevän lämmön virtaamaa kaasumäärän pienentyessä kaasukellossa kaasunkulutuksen kasvaessa. Tämä aiheuttaa kuvan 19 kaltaista tarpeetonta huojuntaa, joka näkyy Vanhassa kaupungissa kaukolämmön kulutuksen kasvuna ja sitä myöten kaukolämpölaskussa. Kaasukellon kaasumäärä ei myöskään ota mitenkään kantaa siihen onko ylijäämälämmön tilanne todellinen, ja myös häiriötilanteissa saateen lämpöenergiaa jakaa yli omien tuotannon rajojen. Lämmön riittävyys olisikin järkevämpää määrittää esimerkiksi kaasumootoreiden kaasun kulutuksen sekä mädätyksessä tuotetun biokaasun mukaan, sillä kaasumootoreilla poltettu biokaasu määrittää

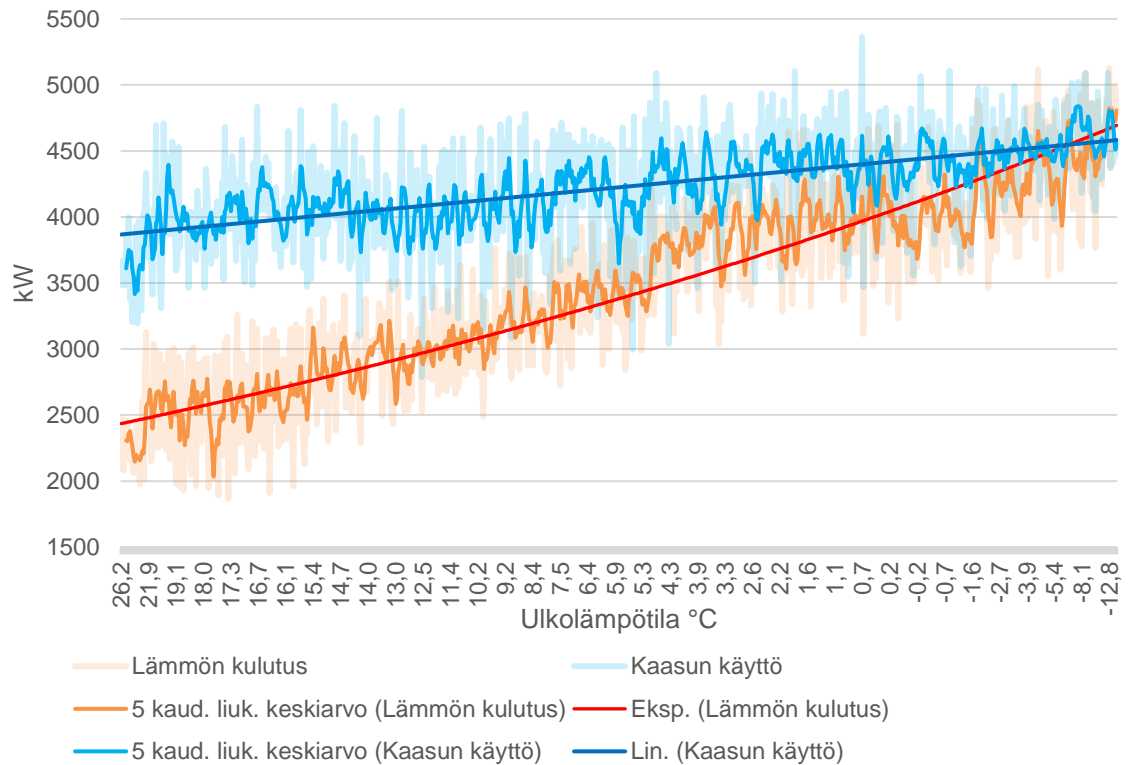
hyvin pitkälle, kuinka paljon lämpöenergiaa on mahdollista tuottaa ja miten paljon biokaasua todellisuudessa kulutetaan. Tämän seuraamiseen voitaisiin käyttää mm. muutosnopeutta mädätyksessä syntyvän biokaasun kaasukellon täyttymisen ja kaasun kulutuksen suhteen. Kuvassa 21 hiusviivalla valitussa kohdassa nähdään, kun kaasukellon tilavuus on alle 1770 m³:n on virtaus Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle vain 2,54 m³:iin/h, kuitenkin kaasua tuotetaan mädätyksessä ja kulutetaan kaasumoottoreilla tasaisesti, jolloin muutosnopeuskin vaihtelee tasaisesti -150...+150 m³.



Kuva 21. Kaasukellon tilavuus vaikuttaa virtauksen nopeuteen Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle, vaikka kaasun kulutus ja tuotto ovat lähes tasaisia muutosnopeuden mukaan [20].

Täten, jos säätöventtiili seuraisikin tässä tilanteessa muutosnopeutta, ei Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle menevä virtaus rajoittuisi ja huojuisi näin rajusti, ja lämmönjako pysyisi tasaisempänä.

Vaikuttava tekijä kokonaislämmönkulutukselle on ulkolämpötila. Kuvaajassa 22 on esitetty biokaasun kulutuksen perusteella tuotetun lämpöenergian määrää sekä lämmön kulutuksen kasvun suhdetta ulkolämpötilan laskiessa.



Kuva 22. Lämmöntuotannon ja kulutuksen suhde lämpötilaan [20].

Lämmöntuotannon ja kulutuksen kuvaajille on Excelin avulla laskettu trendiviivat, joidenka leikkauskohdan jälkeen ei ylijäämälämpöä käytännössä enää muodostu ja kaikki tuotettu lämpö on yleisesti käytetty Viikinmäen jätevedenpuhdistamon kulutuskohteille. Lämmönkulutus saattaa tämän leikkauskohdan jälkeen nousta jopa niin, että lämmöntuotannon riittävyys joudutaan turvaamaan polttamalla kevyttä polttoöljyä kattiloilla. Kuvaajassa 22 biokaasun kulutus nousee kylmempään mentäessä, koska kuvaajasta on poistettu sähköntuotannon tunnusluvut, mikä tarkoittaa, että ORC-laitteet on sähköntuoton osalta ohitettu ja lämmöntarpeeseen on vastattu pakokaasukattiloilla. Vastaava tilanne on nähtävissä aiemmassa luvussa 4.1.4 esitetystä kuvasta 18, jossa pakokaasuläppäventtiilin asentoa tarkasteltiin.

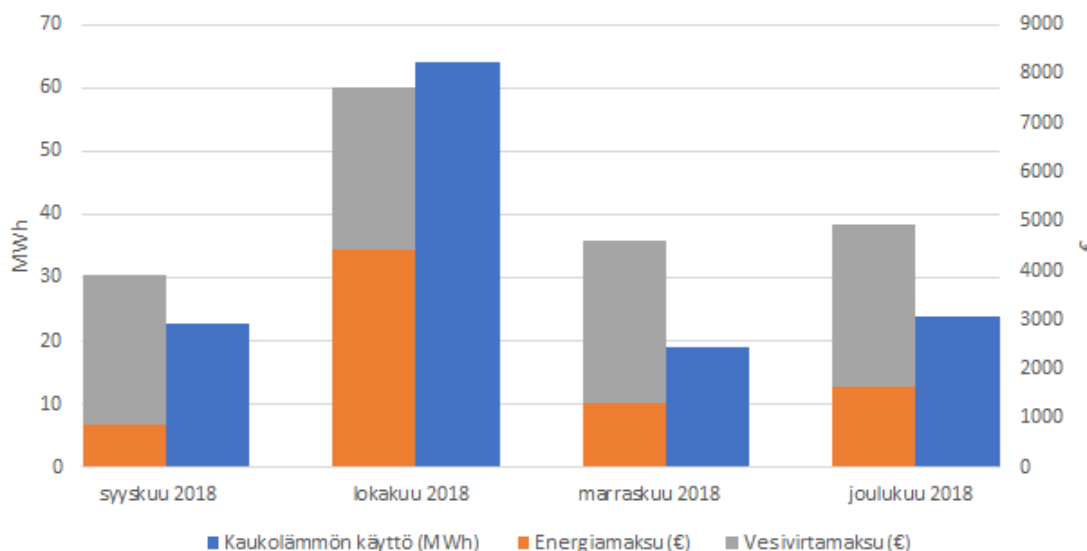
Kuvaajan 22 perusteella voidaan päätellä lämmöntuotannon riittävyttä tiettyyn lämpöön asti ja tehdä nykyiseen energiatuotanto/-kulutustilanteeseen soveltuva viitteellinen ulkolämpötilan mukaan kompensoitu säätökäyrä. Säätökäyrällä voitaisiin erityisesti Viikimäen jätevedenpuhdistamon lämmönriittävyys turvata, esimerkiksi kuvan 13 kaltaisilta häiriötilanteilta, jossa kattilat eivät toimi, mutta lämpöä silti jaetaan yli omien lämmöntuotantorajojen. Huomioitavaa on, että kuvaaja perustuu tilastolliseen keskiarvoon sekä ennusteeseen, jossa mädätyksessä kaasua tuotetaan vakiomäärä, ollen näin vain suuntaa antava. Tilanteet onkin huomioitava päiväkohtaisesti mädätyksessä syntyvän biokaasun määrän mukaan. Lisäksi, kuten todettu, lietteen lämmitys on suurin yksittäinen lämpöenergiaa kuluttava kohde, jonka lämpöenergian tarve ei noudattele muiden lämmönkulutuskohteiden tavoin selkeästi ulkolämpötilan muutosta. Mädätyksen lämmöntarpeen takaaminen on tällöin ensisijaisesti varmistettava ennen säätökäyrän noudattamista.

Ulkolämpötilan ollessa n. -5 °C ei enää ylijäämälämpöä muodostu, eikä näin ollen ole enää mahdollista jakaa Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle. Mentäessä yli n. 3 °C :n on ylijäämälämmön määrä yleensä riittävä kattamaan Vanhankaupungin lämmöntarpeen, poikkeustilanteita lukuun ottamatta.

Laitosten välisen venttiilin säätörajan muutos

Todettujen esimerkkien ja tapausten perusteella päätettiin säätöventtiilin 2000 m^3 :n virtauksen rajoituksen rajaa laskea niin, että virtaus ei romahda rajusti $3 - 4\text{ m}^3$:iin/h tietämille, vaan pysyy noin 8 m^3 :ssa/h. Kuitenkin kaasukellon tilavuuden alittaessa 1700 m^3 lasketaan virtausta jälleen merkittävästi Viikimäen jätevedenpuhdistamon biokaasun riittävyden takaamiseksi. Tällä säädöllä haettiin tasaisempaa ja suurempaa lämmönvirtaamaa Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle. Erityisesti tilanteissa, joissa kaasua tuotetaan ja käytetään tasaisesti, mutta tuotettua lämpöä ei saada siirrettyä säätöventtiilin rajoittaessa virtausta toimittaessa kaasukellon tilavuuden 2000 m^3 säätörajan alapuolella.

Tehtyjen säätötoimien vaikutus voidaan havaita Helenin Sävel+ -palvelun kautta muodostetusta kuvaajasta 23. Kuvaajasta huomataan kaukolämmön kulutuksen laskeneen selvästi marras- ja joulukuussa 2018 verrattuna lokakuuhun tehtyjen säätötoimien jälkeen, vaikka marras- sekä joulukuu olivat selvästi kylmempiä kuukausia kuin lokakuu.



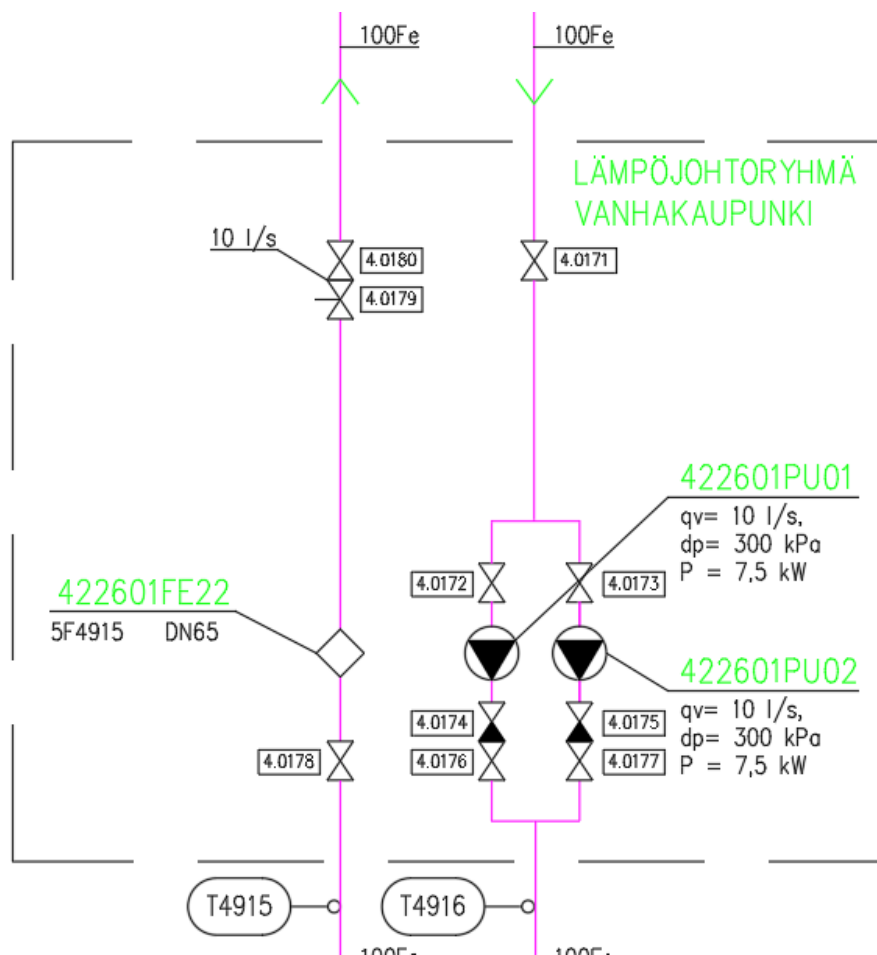
Kuva 23. Kaukolämmönkulutuksen tunnuskuja, kulutus tippunut huomattavasti tehtyjen säätoimien jälkeen marraskuusta eteenpäin [25].

Jos aikaansaatuja säästöjä verrataan marras-joulukuuhun 2017, on energiaa saatu säästettyä tähän aikaan nähden jopa 86 % vähemmän. Energiämäärältään tämä vastaa noin 264 MWh:a, rahallisesti säästö on ollut noin 14 000 €. Eroa keskiarvoulkolämpötiloissa vuodentakaiseen oli noin +0,2 °C marraskuussa ja +1,0 °C joulukuussa, joten ulkolämpötilalla ei ole merkittävää vaikutusta tuloksiin [25]. Biokaasua tuotettiin marras-joulukuussa 2017 noin 2 380 000 m³ ja marras-joulukuussa 2018 noin 2 400 000 m³, joten käytettävissä olleen biokaasun määrälläkään ei ole suurta vaikutusta tuloksiin [24.] Säätoventtiilin optimoinnilla pystyttiin saamaan jo selkeitä säästöjä aikaiseksi. Jos säästölukemat jatkuvat vastaavanlaisina, voi vuotuisen säästön kaukolämpölaskusta ennustaa nousevan yli 40 000 euroon vuodessa. Myös tammi-helmikuussa 2019 säästöä syntyi noin 10 000 €, mutta eroa keskiarvolämpötiloissa ajanjaksolla vuodentakaiseen on ollut paljon, jolloin tarkempaa vertailua ei ole järkevää toteuttaa. [25.]

Lisäksi kuvassa 23 ilmenevään vesivirtamaksuun vaikuttaa sopimusvirran suuruus, jonka huomattiin myös olevan ylimitoitettu (22 m³/h). Tällöin myös kiinteitä kaukolämmön kustannuksia saataisiin laskettua päivittämällä sopimusvirran suuruus [29].

5.3 Virtauksen tehostuspumppujen käyttötapa

Yksi tarkasteluissa esiin tulleista haasteista on Viikinmäen jätevedenpuhdistamon ja Vanhankaupungin vedenpuhdistamon välillä ajoittain tehoton lämmönsiirto. Lämmönsiirtokyvyn tehostamiseksi on mahdollista ottaa käyttöön jo olemassa olevat pumput 422601PU01 ja 422601PU02, kuvassa 24, Viikinmäen jätevedenpuhdistamon lämmönjakuhuoneesta. Ylijäämälämmön tehostetulla ajolla pysytään Viikinmäen kaasumotto-roiden jäähdytysveden lämpötilaa ennaltaehkäistä nousemasta liian suureksi sekä käyttämään tämä lämpö hyödyksi. Lisäksi ylijäämäkaasun polttoa voidaan ennaltaehkäistä polttamalla ylijäämäkaasu kattiloilla ja ohjaamalla lämpö pumppujen avulla Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle.



Kuva 24. PI-kaaviokuva pumppuista, joiden avulla Viikinmäen JVP:lla virtausnopeutta Vanhankaupungin VP:lle on mahdollista nostaa [28].

Pumput ovat tehoiltaan 7,5 kW. Yhden pumpun avulla olisi mahdollista teoriassa kasvattaa virtausta 36 m³:iin/h. Pumppuja ei tähän asti ole käytetty tehostamaan virtausta, jolloin virtaus laitojen välillä on tapahtunut Viikinmäen jätevedenpuhdistamon lämmitysverkon pääkiertopumppujen ja konvektion avulla. Pumppuja ei ole haluttu käyttää nykyisen virheellisesti toimivan ohjaustavan takia. Ohjaustapa ei huomioi lainkaan kaasukellon tilavuuteen perustavan säätöventtiilin asentoa. Tällöin vaarana on, että paine-eroon perustava ohjaustapa käynnistää pumput säätöventtiilin ollessa lähes kiinni, sillä paineeron havaitaan olevan matalalla, mikä merkitsee virheellisesti myös lämmönkysynnän kasvua Vanhankaupungin vedenpuhdistamon päästä. Tämä nostaa paineen verkossa vaarallisesti pumppujen pakottaessa virtausta venttiiliä vasten. [27.]

Pumppujen toimivuutta lämmönsiirtämisen tehostamiseksi testattiin Vanhankaupungin vedenpuhdistamolta käsin. Koska Vanhankaupungin vedenpuhdistamon prosessiautomaatiojärjestelmä on erillään suljetussa verkossa, on tulokset listattu taulukoihin 3 ja 4.

Testien alkutilanteessa taulukosta 3 nähdään Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta tulevan lämmön olevan 78 °C, jonka pitäisi riittää pitämään Vanhankaupungin vedenpuhdistamon lämmityspiirin lämpötilan asetetussa 63 °C:ssa.

Taulukko 3. Arvot kokeen aloitushetkellä.

	Tulo (°C)	Meno (°C)	Vent. asento (%)
Viikinmäki JVP	78	36,6	100
Vanhankaupungin VP	-	63	-
Helen kaukolämpö	92	55,7	23

Valmetin prosessiautomaatiojärjestelmän mukaan lämmönvirtaama Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta on kuitenkin alkutilanteessa ollut 15 m³/h ja lämpöteho 685 kW. Tämä lämmitysteho ei ole ollut riittävä, sillä Helenin kaukolämmöstä on jouduttu ottamaan loppu tarvittava lämpömäärä, jolloin Helenin kaukolämmön lämmönsiirtimen säätöventtiili on ollut 23 % auki. Käynnistämällä yksi pumppu taajuusmuuntajan avulla 70 %:n teholla saatiin lämmönvirtaamaa kasvatettua 22 m³:iin/h, joka vastaa lämpöteholtaan noin 1150 kW. Taulukosta 4 voidaan huomata massavirtauksen kasvun avulla nousseen läm-

pötehon, aiemmin esitetyn kaavan 1 mukaisesti, pystyvän nyt kattamaan Vanhakaupungin vedenpuhdistamon lämmöntarpeen, sillä Helenin kaukolämmön lämmönsiirtimeen säätöventtiili on sulkeutunut täysin 0 %:iin.

Taulukko 4. Arvot kokeen loppuvaiheessa.

	Tulo (°C)	Meno (°C)	Vent. asento (%)
Viikinmäki JVP	78,4	41,4	100
Vanhankaupungin VP	-	66,7	-
Helen kaukolämpö	91,7	57,2	0

Testitilanteessa lämpöteho nousi jopa liiaksi, sillä myös Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta tulevaa lämpöä alettiin rajoittaa testin loppuvaiheessa. Testien perusteella voidaan todentaa pumppujen käytöllä olevan mahdollista nostaa virtausnopeutta ja tehostaa lämmönsiirtoa laitosten välillä. Lisäksi, kuten aiemmin luvussa 4.1.3. todettu, lämmönsiirto-kyky ja energiatehokkuus paranee, kun lämpöhäviöt putkivirtauksessa pienenevät lämmönjohtumisen vähentyessä pumppujen tehostaessa virtausta [26].

5.3.1 Teoreettinen ajotapa

Teoriassa pumppujen ohjaustapa voitaisiin toteuttaa energiataseen kautta, sillä lämpötehoon yksi suuresti vaikuttava tekijä on massavirta. Vanhankaupungin vedenpuhdistamon energian tarpeen ollessa suurempi mitä Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta tuleva ylijäämälämpö, on Helenin kaukolämmöstä lisätty tarvittava lämpöteho kaavan 3 mukaisesti.

$$\text{Vanhakaupunki VP} = \text{Viikinmäen JVP} * \text{Helen KL} \quad (3)$$

Jos kaava avataan lämpötehon kaavan muotoon, kaava 4, voidaan todeta, että kasvatamalla massavirtausta Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla pumppujen avulla saadaan Helenin kaukolämmön kerroin kompensoitua pois. Kaavasta voidaan poistaa ominaislämpökapasiteetin arvot näiden ollessa kaikissa kohteissa vedelle samat. Mikäli ylijäämälämpöä ei ole mahdollista jakaa, voidaan vastaavasti Helenin kaukolämmön kerrointa kasvattaa Vanhankaupungin vedenpuhdistamon lämpöenergian tasapainottamiseksi.

$$\dot{m}_{VKVP} \Delta T = (\dot{m}_{VKM JVP} \Delta T) * (\dot{m}_{Helen KL} \Delta T) \quad (4)$$

Näistä arvoista Helenin arvoihin ei voida vaikuttaa, joten muuttamalla ja seuraamalla Viikinmäen ja Vanhankaupungin laitosten lämmönkäytön arvoja voitaisiin ohjata pumppuja tarpeen mukaan. Tämä ohjaustapa vaatisi jonkin tason älyä automaatiolta seurataksaan ja muuttaakseen kaikkia muuttujia taseenkaavasta.

5.3.2 ORC ja pakokaasukattiloiden säätö

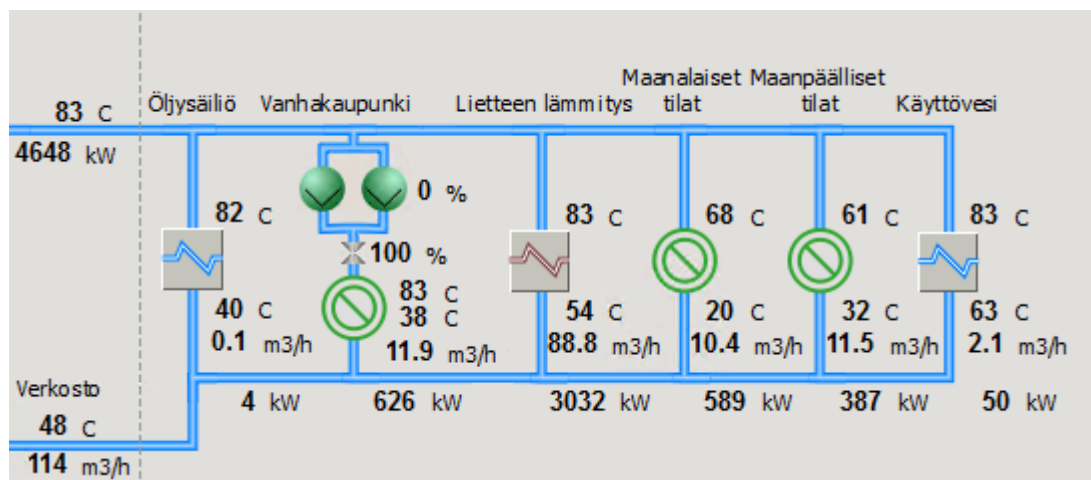
Yksi tapa havaita ylijäämälämpö on luvussa 4.1.4 esitetty pakokaasuläppäventtiilien asento. Pumppujen ohjaus voitaisiin toteuttaa tämän asentomittauksen perusteella, liitteen 3 mukaisesti. Aluksi laitosten välinen virtauksen säätöventtiili pyritään avaamaan, ettei pumppuja ajeta nykyiseen tapaan vasten säätöventtiiliä. Säätöventtiilin ohjaus seuraa pakokaasuläppäventtiilien 3.9326 (KM7) ja 3.9327 (KM8), kuvassa 17, asentomittauksista, pakotetun ORC-laitteistolle ohjatun pakokaasuläppän asentomittaus ohitetaan. Seuratun pakokaasunläppäventtiilin asennon mittausarvon alittaessa <99 % aloitetaan avaamaan Viikinmäen jätevedenpuhdistamon ja Vanhankaupungin vedenpuhdistamon välistä virtauksensäätö venttiiliä toteutettavan PID-säädön mukaisesti. Paine-eromittaus tarkastelee paine-eron muutosta venttiilin avautuessa. Paine-eromittauksen ollessa käyttäjän määrittelemissä rajoissa ja venttiilin avauduttua yli n. 80 %, aletaan lämmönkehityspumppuja ajamaan toteutettavan PID-säätöohjelman mukaisesti. Paineen kasvaessa lämmityspiirissä liian suureksi pumput sammutetaan ja palataan säätämään virtauksensäätöventtiilillä.

Seuratun pakokaasuläppäventtiilin ylittäessä asentomittauksen arvon 100 % ja kattiloiden ollessa päällä siirrytään tarkastelemaan kaasukellon tilavuutta. Kaasukellon tilavuuden ylittäessä esimerkiksi 3000 m³:n rajan, ohitetaan pakokaasuläppäventtiilin asentoon perustava PID-säätö ja siirrytään taulukkofunktion mukaiseen ohjaustapaan, jossa ensimmäisenä avataan säätöventtiiliä ja kaasukellon kaasumäärän edelleen kasvaessa käynnistetään pumput. Paine-eron kasvaessa liian suureksi rajoitetaan pumppuja taulukkofunktion perustuvan säätökäyrän kertoimen mukaisesti.

ORC-laitteiston ollessa pois käytöstä, huollon tai vian takia, tulisi pakokaasuläppäventtiili poistaa pakotetusta ORC-laitteelle ajosta ja läpät ohjata automaatile. Pakokaasuläppäventtiilien asentomittaus seuraisi tällöin matalamman arvon omaavan pakokaasuläpän asentomittauksen arvoa. Pumppujenohjaus toteuttaisi tällöin vastaavat toimenpiteet kuin PID-säätöön perustuvassa ylijäämälämmön ajossa Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle.

5.4 Prosessiautomaatiojärjestelmän parannukset

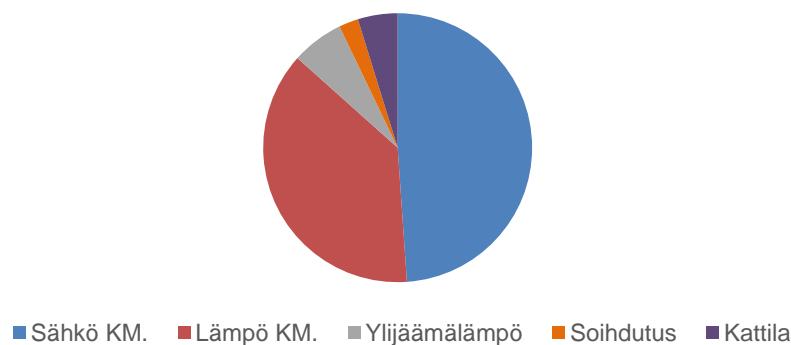
Edellisissä luvuissa esitellyt laitosten välinen virtauksensäätöventtiili sekä pumput ovat Valmetin prosessiautomaatiojärjestelmästä erillään LVI-automaatiojärjestelmässä Atmoscaressa, eivätkä täten keskustele keskenään. Lisäksi Atmoscaren käytettävyys ja historiatietojen saanti on hyvin haastavaa. Oleellinen muutos kaikkien toimenpiteiden kannalta olisi tuoda kyseiset laitteet saman prosessiautomaatiojärjestelmän alle paremman käytön ja seurannan kannalta. Pumput ja venttiili voitaisiin tuoda luvussa 4.1 esitettyyn kuvaan 7 kuvan 25 mukaisesti.



Kuva 25. Parannusehdotus pumppujen ja säätöventtiilin tuomiseksi Valmetin prosessiautomaatiojärjestelmään.

Pumpuille ja venttiilille olisi tämän jälkeen mahdollista toteuttaa luvuissa esitetyt toimenpiteet säätöjen osalta. Paine-eromittauksen lisäys Valmetin prosessiautomaatiojärjestelmään olisi myös välttämätöntä asetusten toimimiseksi. Lisäksi paremman ja tarkemman

kokonais kuvan lämpöenergian tuoton ja käytön saamiseksi tulisi kehittää. Tällöin pystyttäisiin myös helpommin ja nopeammin havaita tilanteet, joissa ylijäämälämpöä muodostuu, jolloin esitettyjen pumppujen ja venttiilin säätö onnistuisi vaivatta myös manuaalisesti prosessiautomaation käyttäjältä. Tällä hetkellä ylijäämälämpöä ei selkeästi voida havaita kuin ORC:n ja pakokaasukattiloiden välisestä pakokaasuläppäventtiilin asennosta, joka ei sekään anna 100 %:n varmuutta ylijäämälämmön tilanteesta lukuisten muuttujien takia. Järjestelmään voitaisiin kehittää energiataseeseen perustuva mittaus, jossa tarkasteltaisiin Viikinmäen jätevedenpuhdistamon mädätyksessä tuotetun ja suodatetun metaanin pitoisuutta ja määrää. Tästä voidaan päätellä käytettävissä oleva kokonaisenergian määrä. Metaanipitoisuutta pysytään Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla seuraamaan reaaliaikaisesti, jolloin päästäisiin kohtuullisen tarkkaan arvioon kokonaisenergian määrästä. Tämän avulla pystyttäisiin reaaliajassa vähentämään kuluttettu sähkö- ja lämpöenergia, ottaen huomioon laitteistojen hyötysuhteet, jolloin taseessa jäljelle jäävä energia olisi ylijäämälämpöä. Valmis kuvaaja voisi olla piirakkakuviota, josta pystytään helposti graafisesti havaitsemaan ylijäämälämmön määrä. Kuvassa 26 on esimerkiksi luvun 4.1.1. kuva 12 esitettyä piirakkakuvaajana, jossa vuoden 2017 energiataseen kohteet ovat esitettyinä käytetyn biokaasun perusteella, harmaalla voidaan huomata ylijäämälämmön määrä.



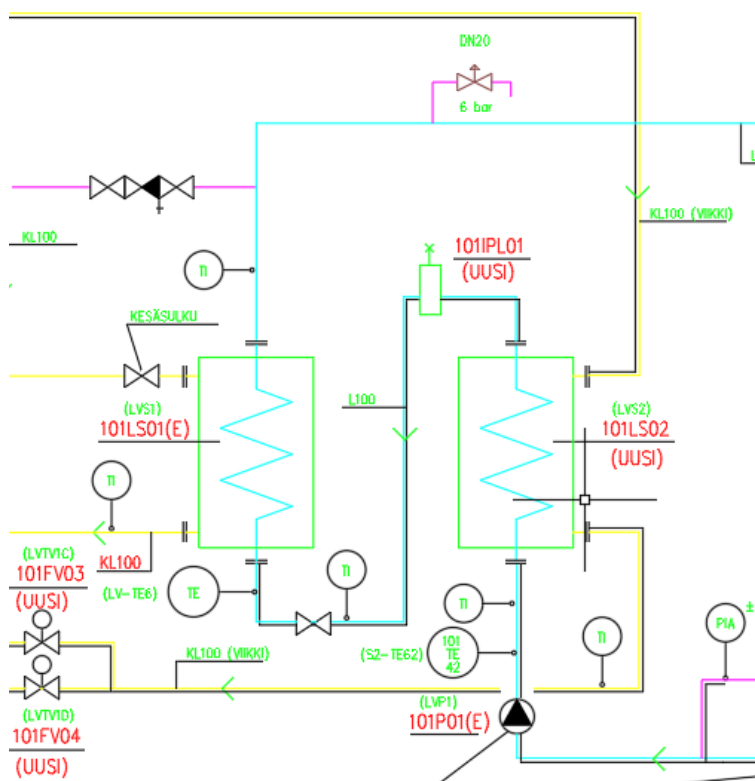
Kuva 26. Piirakkakuvaaja, joka voitaisiin esittää prosessiautomaatiojärjestelmässä ylijäämälämmön havaitsemiseksi energiataseen avulla [24].

Myös lisää mittauspisteitä lämpöenergian kulutuksen seuraamiseen voitaisiin lisätä, sillä esimerkiksi pakokaasukattiloiden tuottamaa lämpöenergiaa ei tällä hetkellä pystytä tarkasti seuraamaan, eikä hätäjähdytyksenä tai välipiiriin hukattavaa lämpöä kerätä tai eritellä historiatietoihin.

5.5 Kaksisuuntainen kaukolämpö Vanhassakaupungissa

Tulevaisuudessa olisi järkevää hyödyntää kaksisuuntaisen kaukolämmön mahdollisuuksia. Kaksisuuntaisen kaukolämmön avulla olisi mahdollista poistaa ongelmat, joissa lämpöä ei saada ”hukattua” mihinkään. Lämpöä voitaisiin häiriötilanteissa ja erityisesti keuhällä jakaa kaukolämpöverkkoon, josta tämä menisi edelleen hyötykäyttöön kaukolämmön kuluttajalle. Lisäksi kaksisuuntaisesta kaukolämmöstä olisi mahdollista saada jonkinlaisia tuloja ja/tai säästöjä sopimuksesta riippuen. Myös ympäristö kiittää, kun lämpö ei ole tuotettu fossiililla polttoaineilla.

Tapa, jolla Helenin kaukolämpöverkko ja Viikinmäen jätevedenpuhdistamon lämmönsiirrin on Vanhankaupungin vedenpuhdistamolla asennettu, mahdollistaisi jo olemassa olevilla rakenteilla kaksisuuntaisen kaukolämmön toteutuksen. Kuvassa 27 on esitetty PI-kaaviossa kytkentätapa Vanhankaupungin vedenpuhdistamolta, miten lämpöpiirit ovat kytkettyinä toisiinsa.

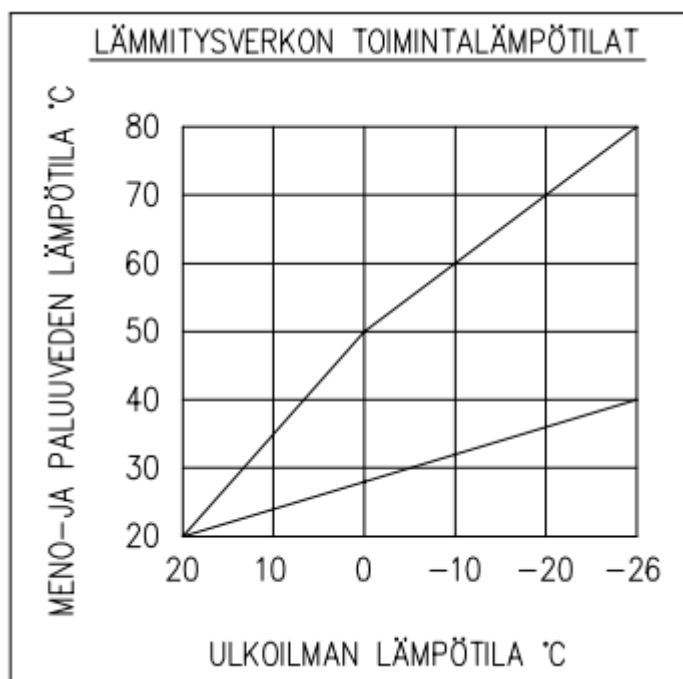


Kuva 27. PI-kaaviokuva lämmönjakotavasta Vanhankaupungin vedenpuhdistamolla [30].

Viikinmäestä tuleva ylijäämälämpö, keltainen linja, menee ensimmäiseksi lämmönsiirtimeen (101LS02), jossa kiertää Vanhankaupungin lämmitysvesi, sininen viiva. Viikinmäen jätevedenpuhdistamon ylijäämänlämmön määrästä ja lämmöntarpeesta riippuen saa Vanhankaupungin vedenpuhdistamo tarvittavan lämmön ensisijaisesti tämän lämmönsiirtimen kautta. Vanhankaupungin vedenpuhdistamon lämmitysverkon piiri jatkaa tämän jälkeen lämmönsiirtimeen (101LS01), johon Helen toimittaa kaukolämpöä. Tästä lämmönsiirtimestä saadaan lopuksi tarvittava lämpö, mikäli ylijäämälämpö Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta ei ole lämmitystarpeeseen riittävä. Täten ylijäämälämpö Viikinmäen jätevedenpuhdistamolta olisi mahdollista suoraan ajaa Helenin kaukolämmön lämmönsiirtimeen, josta kaksisuuntaisen kaukolämmön avulla ylijäämälämpö pysytään ajamaan matalampilämpöisen kaukolämpöverkon menoveteen suoraan. [30].

5.5.1 Säättömuutokset kaksisuuntaisessa kaukolämmössä

Lämmitysverkon lämmöntarve Vanhankaupungin vedenpuhdistamolla määräytyy ulkolämpötilan mukaan, joka säättää meno- ja paluuveden lämpötilaa kuvan 28 säätökyvän mukaisesti.



Kuva 28. Vanhankaupungin vedenpuhdistamon lämmitysverkon toimintalämpötilat [30].

Verkoston menoveden lämpötila pidetään lämpötila-anturin 101TE41 avulla oikeassa lämpötilassa ulkolämpötila-anturin 101TE00 kuvan 28 käyrän mukaisesti. Nämä säätävät säätöohjelman mukaisesti portaittain ensin venttiiliä 101FV03 ja sitten 101FV04. Venttiilit 101FV03 ja 101FV04 ovat kuvan 27 mukaisesti Viikinmäen ylijäämälämmön lämmönsiirtimen (101LS02) jälkeen ja säätävät ensisijaisesti verkoston lämpötilaa. Tarvittaessa otetaan seuraavaksi portaittain käyttöön venttiilit 101FV01 ja 101FV02 Helenin kaukolämmön lämmönsiirtimen jälkeen lämmitystarpeen takaamiseksi, kun molemmat Viikinmäen jätevedenpuhdistamon säätöventtiilit ovat 100 % auki. Käyttövedelle on olemassa vastaavat erilliset lämmönsiirtimet, jotka noudattavat samaa säätöohjelmaa. [31.]

Kaksisuuntaisen kaukolämmön toimimiseksi vaatisi edellä mainittu säätötapa muutoksia Vanhankaupungin vedenpuhdistamolla, sillä kesällä ylijäämälämpöä ei pystytä siirtämään kaukolämpöverkkoon, koska venttiilit rajoittavat lämmitysverkoston toimintalämpötilan noin 30 °C:seen. Myös kykyä hukata lämpöä kaukolämpöverkkoon voitaisiin käyttää hyödyksi silloin, kun ylijäämäkaasun soihdutusta halutaan välttää Viikinmäen jäteveden puhdistamolla. Kun kattilat eivät ole päällä ja kaasukellon tilavuus ylittää esimerkiksi 3500 m³:n rajan, aloitetaan vastaavat toimenpiteet kuin luvussa 5.3.2. ja liitteessä ”Pumppujen ja säätöventtiilin ohjaus toimintaperiaate” ylijäämälämmöllä soihdutuksen ennaltaehkäisemiseksi. Mikäli toimenpiteet laitosten välisen säätöventtiilin täysin avaamisella ja pumppujen ajolla eivät ole riittäviä ylimääräkaasun vähentämiseksi ja kaasun kulutuksen/tuoton muutosnopeus on edelleen kasvava, kattilat laitetaan päälle. Kattiloilla tuotettu lämpö ohjataan tällöin Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle ja sitä kautta kaukolämpöverkkoon. Paineen kasvaessa lämmityspiirissä liian suureksi pumput sammutetaan ja palataan säätämään virtauksensäätöventtiilillä. Mikäli toimenpiteet eivät riitä ylimääräkaasun vähentymiseen, joudutaan kaasu soihduttamaan.

5.5.2 Kaksisuuntaisen kaukolämmön tuottopotentiali

Jos luvun 4.1.1. kuvassa 12 esitetty vuoden 2017 ylijäämälämpö myytäisiin kaksisuuntaiseen kaukolämpöverkkoon, Helenin ilmoittaman taulukon 5 hinnoittelun mukaisesti, olisi mahdollista saavuttaa noin 38 500 €:n vuotuinen tuotto. Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla tuotettu ylijäämälämpö, joka lämmityspiiriin ajetaan, on yli 80 °C. Tämä lämpötila on riittävä vastaamaan Helenin kaukolämpöverkkoon myytäväksi asetettua vaatimusta. [32.]

Taulukko 5. Helenin maksamat hinnat lämmön tuottamisesta kaksisuuntaiseen kaukolämpöverkkoon 2019 [31].

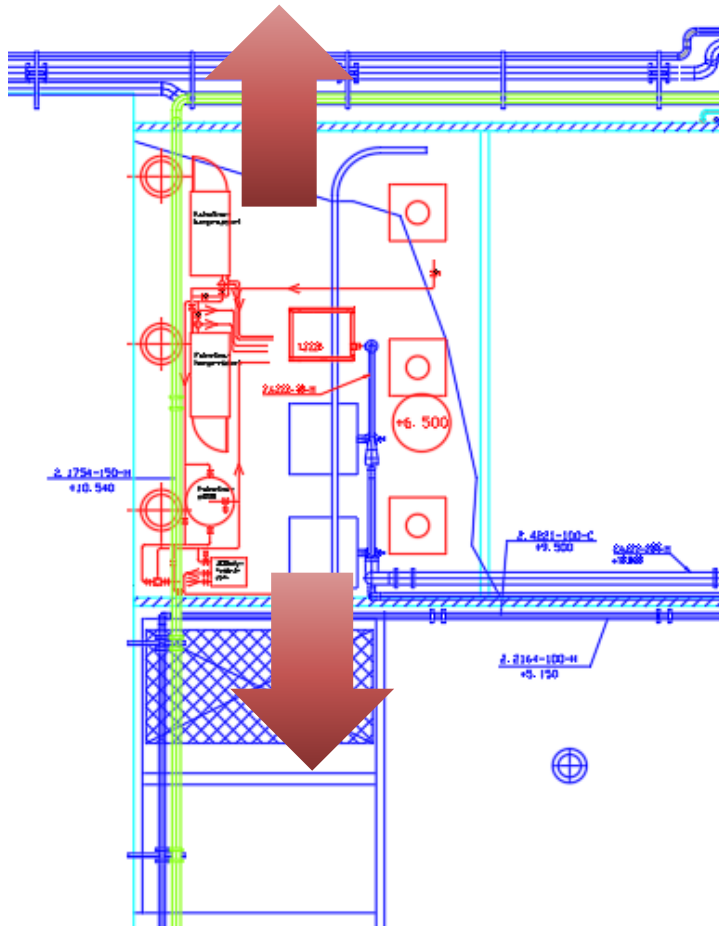
Kausi	Ajanjakso	Ostohinta	Hintakerroin kaukolämmön
		€/MWh, alv 0 %	energiamaksusta
Kevät	1.3.–30.4.2019	28,72	50 %
Talvi	1.1.–28.2.2019	41,55	70 %
Syksy	1.10.–31.12.2018	30,6	55 %
Kesä	1.5.–30.9.2018	12,12	40 %

On oletettavaa, että hyödynnettävän ylijäämälämmön määrä pienenee vuodesta 2017 tehtyjen säätötoimien seurauksena mutta kesällä potentiaalia olisi edelleen runsaasti, sillä kesällä laitosten lämpöenergian kulutus on hyvin vähäistä. Jos lasketaan pelkästään kesäajalta (1.5.–30.9.) saatavat tuotot, ylijäämälämpöenergian myynnistä kaksisuuntaiseen kaukolämpöverkkoon, tuottaisi tämäkin taulukon 5 hinnoittelun mukaisesti n. 26 600 € vuodessa. Mikäli ylijäämäkaasu vastaavalta kesäjakson ajalta olisi soihduttamisen sijaan poltettu kattiloilla ja käytetty kaksisuuntaisen kaukolämmön tuotantoon olisi mahdollinen tuotto, kattilan hyötysuhde huomioituna, ollut noin 1 300 € kyseisellä ajanjaksolla [19].

5.6 Ylijäämä-/hukkalämpöenergian muu hyödyntäminen

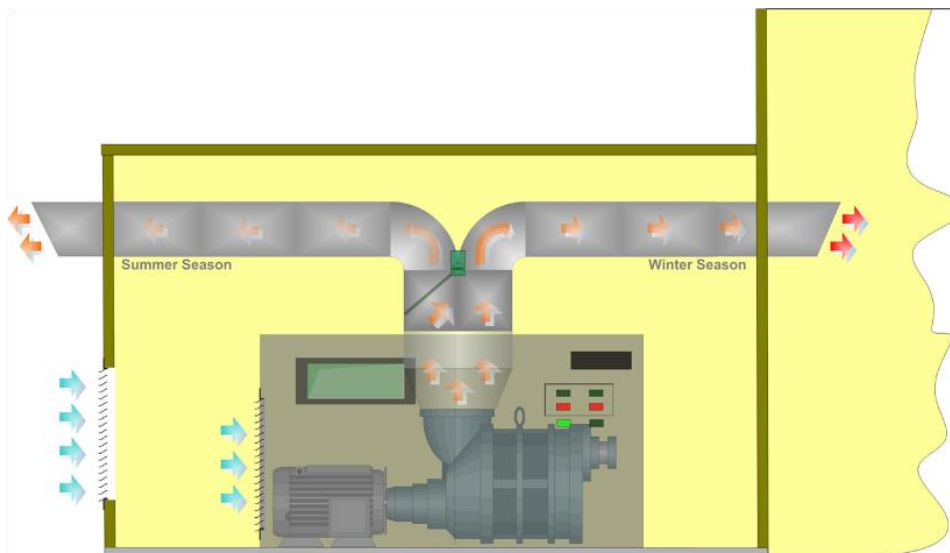
5.6.1 LTO kompressoreilta

Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla lämpöä kerätään laajasti talteen mm. ilmastusilmakompressoreilta, lietteestä ja välipiiriltä. LTO:lla saatavat lämmöt ovat verrattain matalia, noin 20 °C, ja soveltuvat lähinnä esilämmitykseen tai läheisten tilojen lämmitykseen. Puhdistamolla isojen ilmastusilmakompressoreiden lisäksi on myös paljon muita pienempiä kompressoreita, joiden avulla ilmaa paineistetaan. Näiden kompressoreiden tuottamaa lämpöä ei kerätä talteen. Energiatohokkuuden parantamiseksi voitaisiin näiden kompressoreiden lämmittämä ilma ottaa talteen ja esimerkiksi lämmittää osittain maanalaisia tiloja talviaikaan. Tällaisia kompressoreita Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla ovat esimerkiksi rejektivedenkäsittelyyn käytettävät kompressorit, kuvassa 29.



Kuva 29. Rejektiveden paineilmakompressoreiden jäähdytyslämmön jako viereisiin tiloihin ferrosulfaatin purkauspisteelle ja välipetoihin [33].

Kuvan 29 mukaisesti lämpö voitaisiin ohjata kompressorihuoneesta nuolien mukaan ferrosulfaatin purkaus- ja välpetiloihin. Lämmönsiirto näihin tiloihin vaatisi kanavoinnin kuvan 30 mukaisesti, mahdollisesti myös lisäpuhaltimen tarvittavan paineen saavuttamiseksi.



Kuva 30. Paineilmakompressorin jäähdytyslämmön ohjaaminen viereisten tilojen lämmitykseen [34].

Kuvan 30 mukaisesti lämpö ajetaan talvella ja muun lämmitystarpeen mukaan lämmitettäviin tiloihin. Se miten hyödyllistä hukkalämmön hyödyntäminen kustannuksiin nähden on, voidaan päätellä kompressorin koon perusteella olevan taloudellisempaa, mitä isompi kompressor on kyseessä. Usein yli 10–30 kW:n moottoritehon kompressoreissa hukkalämmön hyödyntäminen muodostuu kannattavaksi. [35, s. 93.] Esimerkkinä käsiteltävät rejektivedenkäsittelyn kompressorit ovat moottoriteholtaan kooltaan 22 kW, jolloin jotain hyötyjä olisi mahdollista saavuttaa [16]. Takaisinmaksuaikaan investoinnille vaikuttaa kompressorin kuormitusaste, se kuinka pitkän matkaa lämpöä joudutaan siirtämään kohteeseen ja miten paljon tällä matkalla tapahtuu lämpösäteilyä, mahdollisen lisäpuhaltimen kustannukset ja lisäksi mahdollisten kanavointien kustannukset. [35, s. 93.] Jätevedenpuhdistamolla lämpöenergia tuotetaan mädättämisen avulla laitokselle tulevista jätevesistä, jolloin lämpöenergialle ei ole kiinteitä polttoainekustannuksia, joista investoinnin takaisinmaksuaika voitaisiin laskea. Takaisinmaksuaika ei tällöin järkevästi voida määrittää, jolloin investoinnin perusteena pitäisi puhtaasti pitää energiatehokkuuden parantamista.

5.6.2 Energian varastointi

Ylijäämälämpö tai LTO:n lämpö olisi myös mahdollista varastoida säiliöön tai altaaseen. Lämpöenergiaa lämmitysverkkoon pystyttäisiin jakamaan tällöin tasaisemmin ja kulutus- huippuja pienentämään. Lämpöakku voitaisiin mitoittaa kattamaan koko jätevedenpuhdistamon lämpöenergiatarpeen, mutta koska polttoainekustannuksia ei ole, eikä lämpöenergiantuottaminen kuluttajille ole jätevedenpuhdistamon liiketoimintamalli, ei tällöin myöskään ole tarvetta hyödyntää lämpöakun kykyä optimoida lämpöenergian myyntiä tuottavammille kulutushuipuille.

Yksi mahdollinen kehityskohde lämpöakulle olisi ylijäämäkaasun soihduttamisen sijaan polttaa kaasu kaasukattilalla ja varastoida lämpöenergia lämpöakkuun. Jos esimerkiksi lasketaan kuvassa 13 esiintyvän päivän (14.2.2018) soihdutukseen käytetyn energiamäärän olleen noin 2,9 MWh, voidaan päivätason lämpöenergian varastointiin päätellä riittävän noin 3 MWh:n kokoinen lämpöakku.

Sami Raatikainen on insinööriyössään selvittänyt kaukolämpöakkujen investointia. Hän on muodostanut selvityksensä pohjalta kaavan 5, jonka avulla voidaan laskea kaukolämpöakun tilavuus lämpöenergian määrän perusteella. Kaavassa on verrattu Suomessa rakennettuja kaukolämpöakkuja ja näiden varauskapasiteetin suhdetta tilavuuteen [36].

$$V_{akku} = \frac{Q_{akku} + 67,81}{0,0529} \quad (5)$$

Saadaan kaavan avulla säiliön kooksi n. 97,3 m³, jolloin 100 m³:n säiliön voidaan katsoa olevan riittävä. Yleisesti investoinnin järkevyys riippuu kustannuksista ja säästöistä energiantuottamiseen käytetyn polttoaineen osalta. Kuten on jo edellä mainittu ei polttoainekustannuksia jätevedenpuhdistamolla ole, jolloin investoinnin perusteena pitäisi pitää pelkästään energiatehokkuuden parantamista. Jos tilannetta halutaan miettiä tulevaisuuden kannalta, jossa kaksisuuntaisen kaukolämmön mahdollisuuksia hyödynnettäisiin, voitaisiin teoriassa käyttää Helenin kaukolämpöverkkoon tuotetusta lämmöstä maksama hintaa taulukon 5 mukaan, investoinnin takaisinmaksuajalle. 100 m³:n säiliölle hintaan vaikuttaa monet tekijät, kuten tarvittavat teräs-, eristemateriaalit sekä töiden mää-

rää. Kahdelta säiliövalmistajalta pyydettyjen tarjousten perusteella säiliön hinta paineetomalle lämminvesisäiliölle on noin 100 000 € ja paineelliselle 200 000 €. Täten jos ylijäämäkaasu myytäisiin kattiloiden avulla lämpöenergiaksi kaksisuuntaiseen kaukolämpöverkkoon, luvussa 5.5.2. esitetyn hinta-arvion avulla, on takaisinmaksuaika yli 60 - 130 vuotta, jolloin investointi ei ole tällä perusteella ole kannattavaa [37].

Energiaa voitaisiin myös varastoida primäärienergiana kasvattamalla myös kaasunvarastoinnin kapasiteettia. Tämä olisi järkevämpää kuin yksittäinen lämpöakun hankinta, sillä häviöt putkistoista ja kattiloilta olisi pienemmät. Lisäksi biokaasua pysyttäisiin käyttämään halutulla ajalla ja tavalla joko sähkö- tai lämpöenergian tuotantoon. Koska toimenpiteet Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla kaasun varastoinnin lisäämiseksi on jo aloitettu, ei insinööriyössä käsitellä tätä aihetta enempää tai syvällisemmin.

6 Yhteenveto ja havainnot

On tärkeää tietää, mihin käytämme energiaa ja miten sen hyödynnämme. Parempi energiatehokkuus takaa pienemmät päästöt, puhtaamman ympäristön ja pienemmän laskun käyttäjälle. Työssä tarkasteltiin HSY:n Viikinmäen jätevedenpuhdistamon lämpöenergian kulutusta ja erityisesti ylijäämälämpöä ja sen parempaa hyödyntämistä. Yksi merkittävimmistä ylijäämälämpöä hyödyntävistä kohteista on Vanhankaupungin vedenpuhdistamo, jolloin laitosten välistä energiatehokkuutta lähdettiin parantamaan. Tulevaisuutta ajatellen työssä käsiteltiin myös kaksisuuntaisen kaukolämmön mahdollisuuksia.

Selkeitä tilanteita, joissa ylijäämälämpö muodostuu, saatiin tarkasteluissa esille. Näiden todentamiseksi on mahdollista käyttää teoreettista tapaa, jossa biokaasun energiasisällöllä voidaan laskea biokaasun määrälle jokin energiamäärä ja vähentää tämä todellisesta kulutetusta sähkö- ja lämpöenergian määrästä. Helpompi tapa automaation kannalta on tarkastella laitoksen lämmityspiirin lämpötilaa ja sitä, miten ORC-laitteiston ja pakokaasukattiloiden välinen pakokaasun läppäventtiili reagoi tähän. Ylijäämälämmön havaitsemiseksi voitaisiin tulevaisuudessa kehittää prosessiautomaatiojärjestelmää niin, että ylijäämälämmön tilanteet olisivat suoraan ja helposti havaittavissa. Laitosten välistä ajotavasta lämpöenergian suhteen löydettiin myös selkeitä epäloogisuuksia, joihin prosessiautomaatiojärjestelmän yhtenäistämällä voitaisiin parantaa.

Tarkasteluissa ja testien avulla selkein esiin tullut havainto oli virtauksen rajoittuminen noin 15 m³:iin/h sekä virtauksen raju putoaminen kaasukellon kaasumäärän vähentyessä. Työssä saatiin kaasukellon kaasumäärään perustuvan ohjaustavan muutoksella jo selkeitä säästöjä sekä rahallisesti että ympäristön kannalta. Marras-joulukuussa 2018 kaukolämmön kulutus laski peräti 86 %. Rahallisesti säästö oli noin 14 000 € tältä ajalta, vuodessa säästöjen uskotaan kasvavan edelleen jopa 40 000 euroon asti. Lämmönsiirtokyvyn tehostamiseksi alettiin Viikinmäen jätevedenpuhdistamon lämmönjakohuoneessa olevien pumppujen käyttöä ja ohjausta selvittämään viitteen 3 mukaisesti. Pumpuilla on mahdollista tehostaa laitosten välistä energiatehokkuutta entisestään.

Yleinen haaste Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla ja muilla lämpöenergian tuottajilla on kesällä syntyvä runsas ylijäämälämpö ja sen järkevä hyödyntäminen käyttöön. Muista paikoista poiketen on Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla loistava mahdollisuus tulevaisuudessa kaksisuuntaisen kaukolämmön toteutukseen jo olemassa olevilla ratkaisuilla. Kaksisuuntaisen kaukolämmön avulla olisi mahdollista saada joitain tuloja ja/tai säästöjä sopimuksesta riippuen. Helenin kaukolämmön hinnoittelun mukaan ja nykyisellä kesän ylijäämälämmön määrällä voisivat tuotot olla noin 26 600 €. Myös ylijäämäkaasun soihduttamisia voitaisiin vähentää polttamalla kaasu kattiloilla ja ajamalla lämpö Vanhankaupungin vedenpuhdistamon kautta kaukolämpöverkkoon.

Myös lämmöntalteenottoa pohdittiin jätevedenpuhdistamon pienemmiltä kompresso-reilta. Näiden vähäinen ja matala lämpö soveltuu lähinnä viereisten tilojen lämmittämiin talviaikaan. Lämpöenergian varastoimista tutkittiin, mutta tämä osoittautui nopeasti kannattamattomaksi. Lisäksi Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla on biokaasun kapasiteetin lisäämiseksi aloitettu toimia, joten aiheeseen ei paneuduttu tässä insinööriyössä syvällisemmin.

On mielenkiintoista nähdä, miten tehdyt säätötoimet ja parannukset vaikuttavat vuoden 2019 tuloksiin. Oletettavaa on, että Vanhankaupungin vedenpuhdistamolle siirrettävä lämpömäärä olisi suurempi ja tätä myöten myös kaukolämpölasku pienempi. Toivottavaa olisi myös ylijäämäkaasun soihdutuksen väheneminen, jolloin energia ei täysin karkaisi harakoille. Työnaiheita kirjattiin HSY:n tavoitteeksi tuloskorttiin vuodelle 2019, joten insinööriyössä käsiteltyjen aiheiden selvitykset ja toteutukset jatkuvat.

Lähteet

- 1 Päästöjen vähentäminen Suomessa. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas. <<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/d88180dc-1fa8-436c-8036-4411ae5ff252/paastojen-vahentaminen-suomessa.html>>. Luettu 15.12.2018.
- 2 Energian alkuperä. Verkkoaineisto. Helen oy. <<https://www.helen.fi/yritys/energia/energiantuotanto/energia-alkupera/>>. Luettu 15.12.2018.
- 3 Helsingin seudun ympäristöpalvelut kuntayhtymä, perussopimus. 15.5.2009. <<https://www.hsy.fi/fi/tietoa-hsy/Documents/HSYn-perussopimus.pdf>>. Luettu 20.12.2018.
- 4 Tietoa HSY:stä. Verkkoaineisto. HSY. <<https://www.hsy.fi/fi/tietoa-hsy/Sivut/default.aspx>>. Luettu 13.12.2018.
- 5 Viikinmäen jätevedenpuhdistamo. Verkkoaineisto. HSY. <https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/viikinmaki_tekninenesite_FI.pdf>. Luettu 14.12.2018.
- 6 Pitkälampi ja Vanhakaupunki. Verkkoaineisto. HSY. <<https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/vedenpuhdistuslaitokset/Sivut/Pitkälampi-ja-Vanhakaupunki.aspx>>. Luettu 20.12.2018
- 7 Jätevedenpuhdistus pääkaupunkiseudulla 2017. Verkkoaineisto. HSY. <https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Julkaisusarja/1_2018-jatevedenpuhdistus-paakaupunkiseudulla-2017.pdf>. Luettu 15.12.2018
- 8 Kymäläinen, Maritta & Pakarinen, Outi (toim.). 2015. Biokaasuteknologia, Raaka-aineet, prosessointi, ja lopputuotteiden hyödyntäminen. E-kirja. Suomen Biokaasu yhdistys ry. Verkkoaineisto. <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- 9 Sarkkola, Sakari & Nieminen, Mika. 2014. Vesistöjen orgaanisen aineksen lisääntymisen syitä. Vesitalous 1.6.2014, s. 5. Verkkoaineisto. <https://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2014/12/Vesitalous_1406_netti.pdf>
- 10 Ruuhela, Sanna. 2017. Puhdistamolietteen käsittelyn hankinnan laatukriteerien kehittäminen. Raportti. Elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskus. <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/136226/Raportteja_18_2017.pdf?sequence=10>. Luettu 10.3.2019.
- 11 Bajpai, Pratima. 2017. Anaerobic Technology in Pulp and Paper Industry. 14th ed. Springer Singapore.

- 12 Kaasun käyttö, toimintaselostus. 1993. Yrityksen sisäinen dokumentti. HSY.
- 13 Olemme pääkaupunkiseudun suurimpia uusiutuvan energian tuottajia. Verkkoaineisto. HSY. <https://www.hsy.fi/fi/tietoa-hsy/Vastuullisuus/Ymparist%C3%B6vas-tuu/Energiankulutusjatuotanto/Sivut/uusiutuvan_energian_tuottajia.aspx>. Luettu 10.1.2019.
- 14 Energian kulutus ja tuotanto HSY:n jätevedenpuhdistuksessa. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. HSY.
- 15 Maaskola, Ilkka & Kataikko, Matti. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/files/13513/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu_ja_ORC-sovellukset.pdf>. Luettu 28.1.2019.
- 16 HSY:n sisäinen Artturi -kunnonhallinnan tietojärjestelmä.
- 17 Tuotetieto, Shell Thermo City. Verkkoaineisto. Shell. <https://www.shell.fi/motorists/tuotetiedot-ja-kayttoturvallisuustiedotteet/_jcr_content/par/textimage.stream/1519841970739/4e32b090baae3b1a1bc4a41f5e5c25199ed13b3e3f147c32d51d1e644e9e60d8/thermo-city-talvi2011.pdf>. Luettu 2.2.2019.
- 18 Reipsar, Oskari. 2018. Laitosinsinööri, HSY, Helsinki. Keskustelut joulukuussa 2018.
- 19 Valmetin DNA -prosessiautomaatiojärjestelmän MyComminty, Lämpöenergian kulutus.
- 20 Valmetin DNA -prosessiautomaatiojärjestelmä, Operate Client.
- 21 Mäkelä, Mikko; Soininen, Lauri; Tuomola, Seppo & Öistämö, Juhani. 2005. Tekniikan kaavasto. 13. uudistettu painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.
- 22 Kemikaalit, polttoaineet ja veden käyttö. Verkkoaineisto. HSY. <<https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/jatevedenpuhdistus/suomenoja/Documents/Liite%2008%20Raaka-aineet,%20kemikaalit,%20polttoaineet,%20veden%20k%C3%A4ytt%C3%B6.pdf>>. Luettu 20.1.2019.
- 23 Performance Data - Gas Engine TCG 3020 V20. Verkkoaineisto. Caterpillar Energy Solutions. <<https://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/gas-engines-power-generators/gas-engine-tcg-20>>. Luettu 2.2.2019.
- 24 Valmetin DNA -prosessiautomaatiojärjestelmän MyComminty, Aikaleima.

- 25 Helen Sävel+ -verkkopalvelu, energianseuranta.
- 26 Sipilä, Seppo. 2016. Lämmönsiirto pois reaktorista, termohydrauliikka, luentokalvot. Aalto Yliopisto. Saatavilla: <<https://docplayer.fi/42724229-Lammonsiirto-pois-reaktorista-termohydrauliikka-seppo-sipila.html>>. Luettu 10.2.2019.
- 27 Reipsar, Oskari. 2018. Laitosinsinööri, HSY, Helsinki. Keskustelut helmi-, maaliskuu 2019.
- 28 PI-kaaviokuva 5IP7010 lämmitysjärjestelmä periaatekaavio. Yrityksen sisäinen dokumentti. HSY.
- 29 Lallukka, Samppa, ryhmäpäällikkö & Salo, Kimmo, kunnossapidon esimies. HSY. Sähköpostikeskustelut helmikuu 2019.
- 30 PI-kaaviokuva 8IP6700 lämmitys, kytkentäkaavio vanhakaupunki. Yrityksen sisäinen dokumentti. HSY.
- 31 Haalahti, Pekka. Projektinsinööri. HSY. Sähköpostikeskustelut helmikuu 2019.
- 32 Avoin kaukolämpö. Verkkoaineisto. Helen oy. <<https://www.helen.fi/lampo/yritykset/avoin-kaukolampo/?faqNav=#miksi-ylimaarainen-lampo-kannattaa-myyda-verkoon>>. Luettu 2.2.2019.
- 33 Putkistokuva 5PR8007J, uudisrakennus. Yrityksen sisäinen dokumentti. HSY.
- 34 Mort, Thomas. Using 4 Waste Heat Sources for HVAC Optimization. Verkkoaineisto. Mission Point Energy. <<https://www.coolingbestpractices.com/industries/hvac/using-4-waste-heat-sources-hvac-optimization>>. Luettu 24.2.2019.
- 35 Airila, Mauri; Hallikainen, Keijo; Kääpä, Juha; Laurila, Timo. 1983. Kompressorikirja Hydor. Helsinki, KK laakapaino.
- 36 Raatikainen, Sami. 2015. Kaukolämpöakku investoinnin teknistaloudellinen selvitys. Insinööriyö. Savonia-ammattikorkeakoulut, energiatekniikan koulutusohjelma. Theseus-tietokanta.
- 37 Projektipäällikkö Orava, Antti. Nakkila Works. Sähköpostikeskustelut helmikuu 2019.

Energiankäytön ja tuoton tunnusluvut 2017 (aikaleima)

Aikaleima



Start time: 1.1.2017 0:00:00
End time: 1.1.2018 0:00:00

23.1.2019 11:50



Tiedot valitulla aikavälillä

Sähköenergia

Ostettu sähkö	Tuotettu sähkö	Omavaraisuusaste	Kokonaiskulutus
12 358 MWh	36 097 MWh	90,31%	39 647 MWh
(Vanhakaupunki)	-8 515 MWh		

Kaasunkulutus

Kattilan 1 kaasumäärä	Kattilan 2 kaasumäärä	Kattilan 3 kaasumäärä	Kattilat yhteensä
489 249 m3n	0 m3n	61 006 m3n	550 254 m3n
Kaasum. 5 kaasumäärä	Kaasum. 6 kaasumäärä		
1 575 857 m3n	3 803 152 m3n		
Kaasum. 7 kaasumäärä	Kaasum. 8 kaasumäärä		Kaasum. yhteensä
3 774 034 m3n	4 547 700 m3n		13 700 740 m3n
			Ylijäämäkaasupolttimet 268 325 m3n
			Kaikki käytetty kaasu
			14 519 320 m3n

Lämpöenergia

Kattilat	Kaasumoottorit	Liete-liete	LTO (kulutus arvo)	Lämpö yhteensä
2 839 MWh	27 835 MWh	200 MWh	7 498 MWh	38 373 MWh
(Vanhakaupunki)		Polym.	LTO (tuotto arvo) ei laskennassa	Lämpö kulutus kaasum.+kat. (ei laskennassa)
2 706 MWh		0 MWh	8 577 MWh	30 407 MWh

Käyttöveden kulutus

M700/Luolasto/Pol ymeeri	Lingot	B-rakennus	A-rakennus ja maanalaiset tilat	Käyttöveden kulutuksen summa
26 692,3 m ³	3 925,6 m ³	2 149,1 m ³	1 147,2 m ³	35 475,3 m ³

Energiankäytön ja tuoton tunnusluvut 2018 (aikaleima)

Aikaleima



Start time: 1.1.2018 0:00:00
End time: 1.1.2019 0:00:00

4.3.2019 10:10



Tiedot valitulla aikavälillä

Sähköenergia

Ostettu sähkö	Tuotettu sähkö	Omavaraisuusaste	Kokonaiskulutus
12 264 MWh	38 026 MWh	97,05%	38 682 MWh
(Vanhakaupunki)	-11 124 MWh		

Kaasunkulutus

Kattilan 1 kaasumäärä	Kattilan 2 kaasumäärä	Kattilan 3 kaasumäärä	Kattilat yhteensä
492 340 m3n	22 m3n	35 256 m3n	527 617 m3n
Kaasum. 5 kaasumäärä	Kaasum. 6 kaasumäärä		
1 699 508 m3n	3 987 327 m3n		
Kaasum. 7 kaasumäärä	Kaasum. 8 kaasumäärä		Kaasum. yhteensä
3 992 049 m3n	4 527 860 m3n		14 206 740 m3n
			Ylijäämäkaasupolttimet
			175 104 m3n
			Kaikki käytetty kaasu
			14 909 470 m3n

Lämpöenergia

Kattilat	Kaasumoottorit	Liete-liete	LTO (kulutus arvo)	Lämpö yhteensä
2 814 MWh	27 009 MWh	351 MWh	6 339 MWh	36 851 MWh
(Vanhakaupunki)		Polym.	LTO (tuotto arvo) ei laskennassa	Lämpö kulutus kaasum.+kat. (ei laskennassa)
2 583 MWh		339 MWh	8 654 MWh	30 189 MWh

Käyttöveden kulutus

M700/Luolasto/Polymeeri	Lingot	B-rakennus	A-rakennus ja maanalaiset tilat	Käyttöveden kulutuksen summa
57 124,7 m ³	2 997,6 m ³	1 728,8 m ³	2 349,6 m ³	69 510,2 m ³

Energiatase 2017

	KWh	KWh	KWh	KWh	KWh
	Sähkö KM.	Lämpö KM.	Ylijäämälämpö	Soihdutus	Kattila
01/01/2017	3 040	2779	80,46	102,42	429,49
01/02/2017	2801	2607	0,00	60,98	460,59
01/03/2017	3143	2839	27,26	168,53	569,97
01/04/2017	2952	2659	28,26	338,38	466,66
01/05/2017	3156	2384	482,45	209,72	168,53
01/06/2017	3038	2148	446,04	529,16	113,15
01/07/2017	3042	1822	869,93	74,02	40,22
01/08/2017	2974	1710	1028,77	72,45	33,33
01/09/2017	2975	2026	553,57	52,16	56,77
01/10/2017	3149	2376	370,65	46,65	177,31
01/11/2017	2765	2039	399,60	0,00	398,21
01/12/2017	3064	2447	357,08	68,17	618,39
Summa	36099,00	27836,00	4644,06	1722,65	3532,63

Energiankulutus 2018

Viikot	MWh										Kaikki
	Ölly	Vanhakaupunki	Uuteenlammitys	Maanasettilä	Maanpäällisetilat	Käyttövesi	Käyttöveden esilämmit.	Vesiasema (LTOlta)	Esti-jalietkäs. (LTOlta)	Kaikki	
1	0	60	473	90	46	8	8	1	106	58	842
2	0	60	418	123	55	8	2	2	118	79	863
3	0	73	385	142	60	8	2	2	126	85	879
4	0	83	406	106	44	8	2	2	116	75	841
5	0	60	409	126	59	8	2	2	123	80	866
6	0	79	419	168	68	8	2	2	127	86	956
7	0	95	421	131	63	8	2	2	127	84	931
8	0	48	408	244	75	8	2	2	139	99	1022
9	0	38	429	175	78	8	2	2	174	141	1046
10	0	85	455	92	67	8	2	2	147	107	963
11	0	88	448	105	63	8	1	1	137	94	944
12	0	61	425	83	59	8	2	2	127	88	852
13	0	80	451	108	58	8	2	2	119	88	914
14	0	80	469	77	47	8	1	1	101	66	848
15	0	65	488	61	39	8	2	2	88	60	812
16	0	51	490	32	36	8	2	2	72	62	754
17	0	35	488	49	41	8	3	3	87	73	785
18	0	41	462	37	34	8	2	2	81	69	735
19	0	29	455	21	16	7	1	1	52	50	633
20	0	24	455	10	11	7	2	2	44	40	592
21	0	23	437	30	11	7	2	2	23	15	549
22	0	19	419	51	10	7	2	2	4	4	512
23	0	31	429	46	19	7	2	2	52	42	630
24	0	19	409	59	11	7	2	2	11	2	511
25	0	23	405	93	15	7	1	1	0	0	543
26	0	21	426	66	12	7	1	1	0	0	533
27	0	22	421	68	13	7	2	2	0	0	532
28	0	18	408	26	8	6	2	2	0	0	467
29	0	15	379	4	5	6	1	1	0	0	411
30	0	15	350	4	5	6	1	1	0	0	380
31	0	15	327	4	5	5	1	1	0	0	358
32	0	17	323	25	8	6	1	1	0	0	380
33	0	17	328	40	10	6	1	1	0	0	404
34	0	18	330	64	14	6	1	1	0	0	434
35	0	20	324	68	16	7	1	1	0	0	434
36	0	19	321	68	11	6	2	2	0	0	428
37	0	25	338	105	14	7	1	1	0	0	489
38	0	27	345	105	15	7	1	1	0	0	501
39	0	35	355	82	27	7	2	2	52	45	606
40	0	52	377	106	31	7	1	1	45	48	667
41	0	35	385	60	26	8	1	1	50	65	629
42	0	31	374	55	26	7	2	2	39	106	639
43	0	53	382	110	44	7	2	2	91	88	777
44	1	50	392	67	45	7	2	2	111	59	733
45	1	64	359	47	44	7	1	1	110	63	696
46	1	65	394	53	42	8	2	2	105	58	716
47	1	96	383	88	58	8	1	1	133	87	856
48	1	101	391	107	64	8	1	1	129	83	885
49	1	88	406	75	54	9	1	1	115	72	821
50	1	97	420	123	64	8	1	1	123	81	885
51	1	107	411	130	69	8	1	1	134	89	949
52	1	99	433	130	63	8	1	1	115	77	926