



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

AARNE MUURINEN

Jäteveden lämmöntalteenoton taloudellinen kannattavuus asuin- kerrostalossa

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN
KOULUTUSOHJELMA

2020

Tekijä Muurinen, Aarne	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2020
	Sivumäärä	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Jäteveden lämmöntalteenoton taloudellinen kannattavuus asuinkerrostalossa		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma (Insinööri AMK)		
<p>Opinnäytetyössä oli tarkoitus perehtyä jäteveden lämmöntalteenottoon ja järjestelmän liittämistä poistoilmalämpöpumpun ja aurinkokeräimien rinnalle, sekä eri järjestelmävariaatioiden taloudellista kannattavuutta asuinkerrostalossa. RTC Vahanen Turku Oy:n kannalta tavoite oli saada tietoa jäteveden lämmöntalteenotosta ja sen mahdollisuuksista uudis- ja saneerauskohteissa ja näin ollen laajentaa palveluitaan.</p> <p>Työ tehtiin Turun keskustassa sijaitsevalle taloyhtiölle. Kohteessa suoritettiin lämpötilamittaus jätevedelle. Lämpötilamittauksella pystyttiin selvittämään kohteen jätevedestä saatavissa olevaa energian määrä ja suoritettua laskelmia järjestelmän kannattavuudesta.</p> <p>Työn avulla saatiin kohteelle selvitettyä järjestelmän kannattavuus eri vaihtoehdoilla ja mahdollisia kannattavuuteen liittyviä riskejä, joiden avulla taloyhtiö pystyy tekemään päätöksen järjestelmän hankinnasta. Lopputuloksena taloyhtiön hallitus päätyi pyytämään tarjouksen jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmästä, jonka toteutuksesta taloyhtiö myöhemmin päättää.</p> <p>Työhön liittyen tehdyllä Excel –taulukolla RTC Vahanen Turku Oy pystyy tulevaisuudessa arvioimaan jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän soveltuvuutta muihin uudis- ja saneerauskohteisiin.</p>		
energiansäästö, hybridivaihdin, jäteveden lämmöntalteenotto, jätevesi, lämmönsiirrin, lämmöntalteenotto, lämpöpumppu		

Author(s) Muurinen, Aarne	Type of Publication Bachelor's thesis	Date April 2020
	Number of pages	Language of publication: Finnish
Title of publication Economical beneficiality of a wastewater heat recovery in a block of flats		
Degree programme Construction and Civil Engineering		
<p>In this thesis consists of researching wastewater heat recovery generally and possible applications with exhaust air heat recovery system and solar thermal collectors. Point of view was the economical beneficiality of a wastewater heat recovery system in a block of flats. RTC Vahanen Turku Oy goal was to get information about the system and possibilities to expand their services in both, new constructions and building renovations.</p> <p>Work was done for housing cooperative residing in the city centre of Turku. Temperatures of the wastewater was measured at the site. Purpose of the measurement was to define the potential energy output of heat recovery system and to get more accurate calculations for the economical side of the project.</p> <p>With this project the housing cooperative got results of a different situations and various applications whether the wastewater heat recovery system is economically a viable solution or not. With the results the housing cooperative got knowledge of possible gains and risks that could affect the decision of acquiring a wastewater heat recovery system as a part of their energy efficiency improvement. Board of the housing cooperative ended up requesting an offer of a wastewater heating recovery system for housing cooperative to decide.</p> <p>RTC Vahanen Turku Oy has the information needed to broaden their services and got a tool created with MS Excel for calculating the economics of wastewater heating recovery system for other constructions or renovations.</p>		
energy savings, heat exchanger, heat pumps, heat recovery, sewage, wastewater		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
1.1 RTC Vahanen Turku Oy	6
1.2 As Oy Linnankatu 19	6
1.3 Työn aihe ja tavoite	6
2 LÄMMITYSENERGIAN HINTA JA KÄYTTÖVEDEN KULUTUS	8
3 LÄMMÖNTALTEENOTTO JÄTEVEDESTÄ	10
3.1 Harmaat ja mustat jätevedet	10
3.2 Erilaiset järjestelmät Suomessa	11
3.2.1 Finess Energy Oy	11
3.2.2 Suomen Energiatehdas Oy	12
3.2.3 Hydropress Huber Ab	13
3.2.4 Ecopal Oy	14
3.3 Kytkentävat	15
3.3.1 Käyttöveden esilämmitys	15
3.3.2 Lämpöpumppukytkennät	16
4 SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVAA	19
4.1 Rakentamismääräykset	19
4.2 Energiateollisuus ry:n julkaisu K1	20
4.3 Rakennusvalvonta	23
4.4 Energialaitos	23
4.5 Jätevedenpuhdistamo ja vesilaitos	24
5 MITTAUKSET	25
5.1 Dataloggeri	25
5.2 Termopari	25
5.3 Mittaus	26
5.4 Tulokset	26
6 LASKENTA	27
6.1 Asiakkaan tiedot	27
6.1.1 Nykyinen vedenkulutus	27
6.1.2 Nykyinen lämmitykseen tarvittava energia	28
6.1.3 Asuntokohtaisten vesimittareiden tuoma pudotus	28
6.2 Lämmönsiirtonesteen ja jäteveden lämpötila	29
6.3 Käyttöveden kulutus	29
6.4 Jätevesivirtaama	31
6.5 Jäteveden lämmöntalteenoton tehon laskenta	32
6.6 Energian tuotto ja säästö	36

6.6.1 Energian tuotto	37
6.6.2 Järjestelmällä tuotetun energian tuoma säästö	39
6.6.3 Takaisinmaksuaika	40
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	43
7.1 Tulosten analysointi.....	43
7.2 Tulokset	44

LÄHTEET

LIITTEET

1 JOHDANTO

1.1 RTC Vahanen Turku Oy

RTC Vahanen Turku Oy on osa Vahanen konsernia ja tuottaa kiinteistö- ja rakennusalan konsulttipalveluita. Yritys on asuinkerrostalojen, liikekiinteistöjen ja julkisten rakennusten rakentamisen ja ylläpitopalveluiden asiantuntija, jonka toimialueena on Lounais-Suomi ja Satakunta. RTC Vahanen Turku Oy on perustettu vuonna 1997 ja työllistää 50 henkilöä.

1.2 As Oy Linnankatu 19

Asunto-osakeyhtiö Linnankatu 19 omistaa yhden rakennuksen Turun keskustassa ja isännöitsijäntodistuksen mukaan rakennuksessa on 43 asuinhuoneistoa, 4 liikehuoneistoa ja 1 muu huoneisto.

1.3 Työn aihe ja tavoite

Energiatehokkuus ja hiilijalanjälki ovat termejä, jotka näkyvät tällä hetkellä kaikkialla. Rakennusalallakin on nähtävissä suurta kiinnostusta eritoten energiatehokkaisiin ratkaisuihin, sekä mahdollisuuksiin säästää rahaa ja samalla pienentää hiilijalanjälkeä. Sekä korjaus-, että uudisrakentamisen puolella haetaan erilaisia ratkaisuita päästä energiatehokkaampiin rakennuksiin. Erilaiset lämmöntalteenottojärjestelmät ovat yksi näistä tavoista, joihin kuuluu myös jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmät.

Rakennuksissa käytettävästä kaikesta käytettävästä vedestä osa lämmitetään ja lähes kaikki käytetty vesi virtaa suoraan kunnalliseen jätevesiviemäriin. Viemäri-vesien mukana hukataan kohtalaisen paljon energiaa ja oikeanlaisella laitteistolla tästä hukatusta energiasta voidaan saada osa talteen.

Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmät eivät ole varsinaisesti uutta teknologiaa, mutta Suomessa tätä ei ole vielä paljoa hyödynnetty, varsinkaan asuinrakennusten osalta. Jäteveden lämmöntalteenoton harvinaisuudesta kertoo myös Suomessa markkinoilla olevien laitteistojen maltillinen määrä.

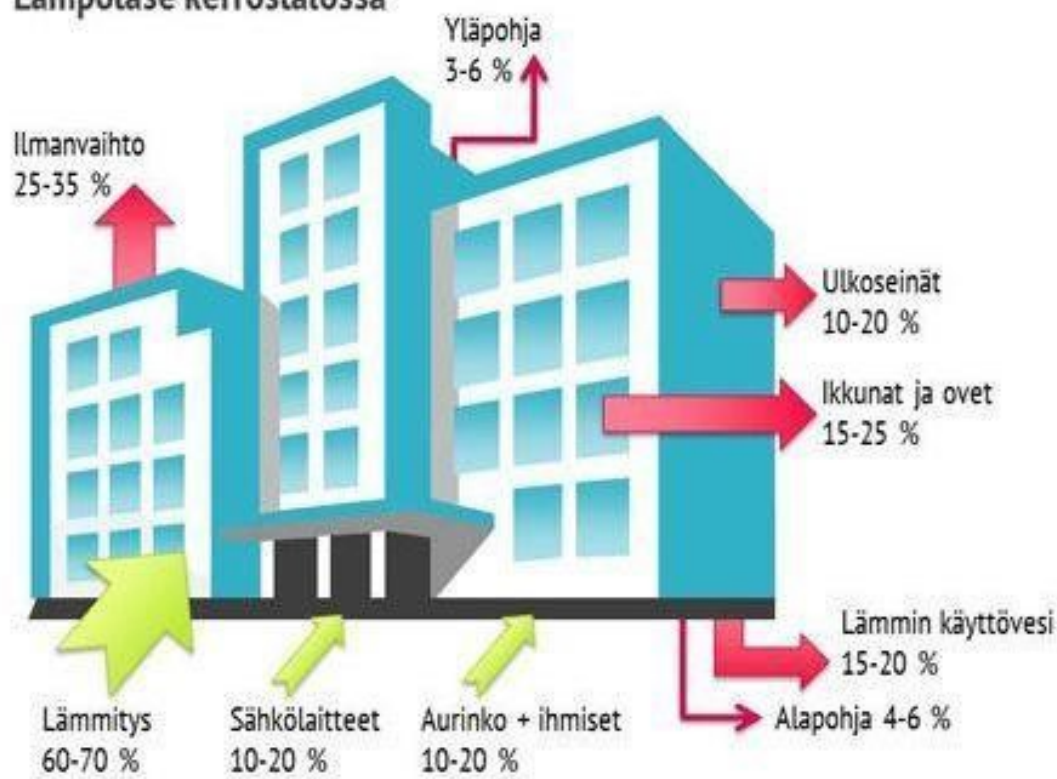
RTC Vahanen Turku Oy:n asiakkaana toimiva asunto-osakeyhtiö Linnankatu 19 pyysi selvittämään mahdollisuutta hyödyntää jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmää osana energiatehokkuuteen liittyviä parannuksia. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää kyseiselle asunto-osakeyhtiölle jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän toteutettavuus, eli tarkastella soveltuvia järjestelmiä ja taloudellista kannattavuutta. Opinnäytetyön tuloksien avulla myös RTC Vahanen Turku Oy laajentaa suunnittelu- palveluitaan.

Opinnäytetyössä keskitytään jäteveden lämmöntalteenoton toimintaan ja kyseisen asiakkaan tarpeeseen soveltuvaan järjestelmään ja sen kannattavuuteen kohteessa.

2 LÄMMITYSENERGIAN HINTA JA KÄYTTÖVEDEN KULUTUS

Asuinrakennuksen käytetystä lämmitysenergiasta menee hukkaan suuria määriä vuosittain, kuten kuva 1 havainnollistaa. Lämmitysenergian vuotuisesta kulutuksesta menee noin 20-30 prosenttia käyttöveden lämmitykseen. Uudemmissa rakennuksissa kiiristyneiden määräysten ja säästösten takia käyttöveden lämmitykseen kuluva energia on suhteessa vielä suurempaa. Käyttöveden lämmitykseen käytetty energia poistuu rakennuksesta käytännössä täysin hyödyntämättä kunnalliseen jätevesiviemäriin. Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmällä saadaan käyttöveden lämmitykseen käytettyä energiaa kierrätettyä suoraan kohteella ja näin ollen vähennettyä ostoenergian määrää. (Ecopal Oy:n www-sivut 2019; Motiva Oy:n www-sivut 2019)

Lämpötase kerrostalossa



Kuva 1. Lämpötase kerrostaloissa. (3)

Kiinteistölle tulevan kylmän käyttöveden lämpötila on tyypillisesti 10 °C ja lämminvesijohtolaitteistot on suunniteltava rakentamismääräysten mukaan siten, että lämpimän käyttöveden lämpötila ei laske alle 55 °C:n. Lämmin käyttövesi lämmitetään

usein 58 °C:ta Energiateollisuuden kaukolämpö K1:n ohjeistuksen mukaan. (Energiateollisuus ry K1 2013, 8; Asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistosta 1047/2017, 6 §)

Kulutetun käyttöveden määrä asuinkerrostalossa on keskimäärin 155 litraa vuorokaudessa henkilöä kohden, josta lämpimän käyttöveden osuus on keskimäärin 40%, joka vastaa 62 litraa lämmitettyä vettä. Asuntokohtaisilla vesimittareilla kulutus vähenee keskimäärin 10-30 prosenttia, joka tarkoittaa 3-9 prosentin säästöä lämmitysenergian kulutuksessa. (Motiva Oy:n www-sivut 2019)

3 LÄMMÖNTALTEENOTTO JÄTEVEDESTÄ

Jäteveden lämmöntalteenotto ei ole uusi keksintö, esimerkiksi Wavin Labko lämmöntalteenottokeskus on kehitetty 70-luvun öljykriisien aikaan ja valmistus lopetettiin 90-luvulla. Tuote käväisi markkinoilla uudelleen 2010 luvulla, mutta lopetettiin jälleen liian suppeiden markkinoiden vuoksi. Aikanaan valmistajia on ollut useampiakin, mutta näistä on osa mennyt konkurssiin ja osa lopettanut. Nykyään tämä tekniikka näyttää herättävän jälleen kiinnostusta ja markkinoille on Suomessakin tullut uusia valmistajia. (Kauppi sähköposti 20.4.2020)

Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmällä otetaan rakennuksessa tai kiinteistössä tuotetusta jätevedestä sen sisältämää lämpöenergiaa talteen ennen jäteveden poistumista kunnalliseen jätevesiverkoston. Lämmöntalteenotto suoritetaan joko varaajan tai lämmönsiirtimen avulla. Talteen otettu lämpöenergia käytetään käyttöveden esilämmitykseen tai lämpöpumpun primääripuolen nesteen lämmitykseen. Järjestelmien tuottama hyöty on riippuvainen eri tekijöistä, kuten jäteveden lämpötilasta, jäteveden määrästä ja lämmönsiirtimen kytkentätavasta. (Helppolainen 2019)

Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmät ovat Suomessa suhteellisen harvinaisia. Jätevedestä on otettu lämpöä talteen harvoissa uimahalleissa ja esimerkiksi jätevedenpuhdistamoilla. Nykyään tarjolla on järjestelmiä myös pienemmän kokoluokan kiinteistöihin, mutta toistaiseksi vastaavat järjestelmät ovat melko harvinaisia edelleen. (Helppolainen 2019)

3.1 Harmaat ja mustat jätevedet

Jäteveden lämmöntalteenottolaitteisto voidaan jakaa kahteen päälinjaan. Laitteistot jotka vaativat jätevesien erottelun mustiin ja harmaisiin jätevesiin, sekä laitteistot jotka toimivat myös mustilla jätevesillä. Harmailla jätevesillä tarkoitetaan mm. suihkujen, pesuallaiden ja muiden saman kaltaisten vesipisteiden tuottamia jätevesiä, jotka eivät sisällä kiinteitä partikkeleita. Mustat jätevedet koostuvat jätevesistä, joissa kulkee kiinteää ainesta mukana, esimerkkinä WC istuimien jätevedet.

Harmaille jätevesille soveltuvat laitteistot vaativat kaksiviemäröintijärjestelmän, jolloin kaikki harmaat jätevedet voidaan johtaa lämmöntalteenottojärjestelmään ja mustat jätevedet suoraan kunnalliseen jätevesiverkostoon. Kaksiviemäröintijärjestelmän tekeminen, etenkin saneerauskohteissa, on lähes aina taloudellisesti kannattamatonta. Mustille jätevesille sopivat laitteistot sen sijaan voidaan hoitaa yhdellä viemärillä, ollen näin huomattavasti taloudellisesti järkevämpi ratkaisu.

3.2 Erilaiset järjestelmät Suomessa

3.2.1 Finess Energy Oy

Finess Heat LTO järjestelmän käyttökohteita ovat enimmäkseen suuret laitokset ja teollisuus. Finess Energy Oy listaa potentiaalisiksi kohteiksi elintarviketeollisuuden, jätevedenpuhdistamot, pesulat, prosessiteollisuuden, sairaalat, sekä uimahallit ja kylpylät. (Finess Energy Oy:n www-sivut 2020)

Järjestelmä on suunniteltu Finessin omalla XTUBE-putkilämmönsiirtimillä toimivaksi, jossa putki valitaan käyttökohteessa toimivan jätevesilaadun perusteella.

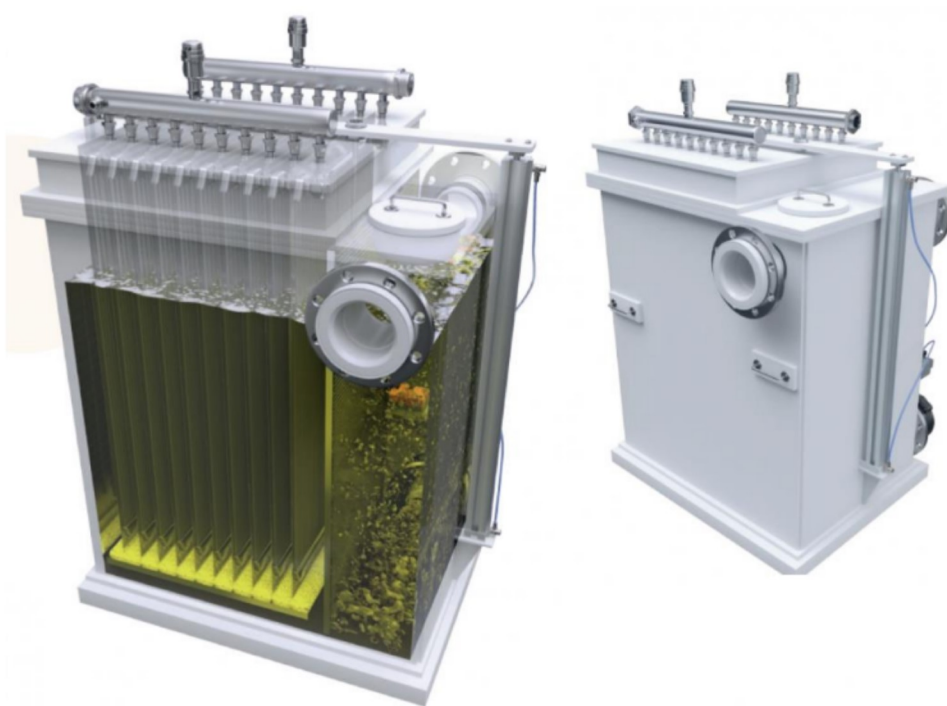
Järjestelmä synkronoi jäteveden ja raakaveden virtauksen, parantaen talteenoton hyötyä ja vähentäen jäteveden poistumista lämpimänä läpi laitteiston. Kuvassa 2 näkyy Finess Energy Oy:n periaatekaavio lämmöntalteenottojärjestelmälle. (Finess Energy Oy:n www-sivut 2020)



Kuva 2. Finess Energy Oy:n lämmöntalteenottojärjestelmän periaatekaavio. (Finess Energy Oy:n www-sivut 2020)

3.2.2 Suomen Energiatehdas Oy

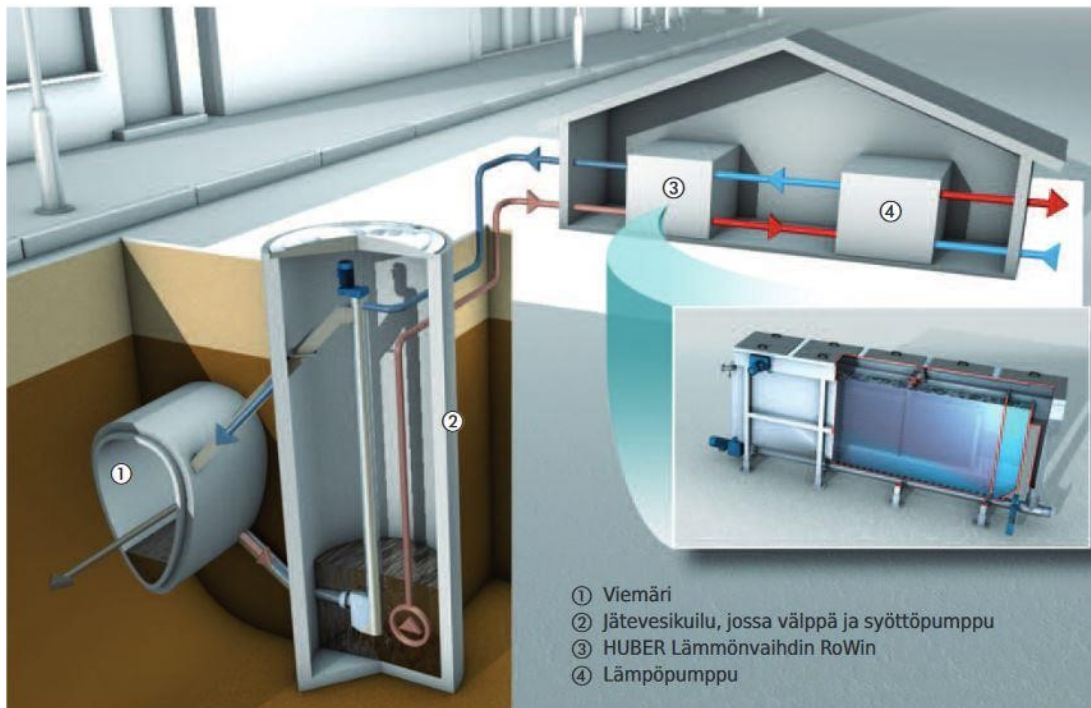
Lämmönsiirrin soveltuu käytettäväksi mustille jätevesille varsinaisen lämmönvaihtimen ja viemärin tulo- ja poistoyhteen tilojen erottavan verkon vuoksi. Verkon lisäksi lämmönvaihtimessa on automaattinen harjatoiminen puhdistus, joka pitää yllä lämmönvaihtimen pinnan puhtautta, parantaen näin lämmönvaihtoa. Kuvasta 3 on Suomen Energiatehdas Oy:n lämmöntalteenotto yksikkö. (Suomen EnergiaTehdas Oy:n [www-sivut](http://www-
www-sivut) 2020)



Kuva 3. Jäteveden lämmöntalteenottoyksikkö. (Suomen EnergiaTehdas Oy:n [www-sivut](http://www-
www-sivut) 2020)

3.2.3 Hydropress Huber Ab

Huber ThermWin on suunnattu suuriin laitoksiin Finess Heat LTO järjestelmän kaltaisesti. Esimerkiksi hoitolaitoksiin, sairaaloihin ja kouluihin. Järjestelmä sisältää lämmönvaihtimen, lämpöpumpun ja pumppaamon. Kuvassa 4 on järjestelmän toimintaperiaate. Jätevesi otetaan runkoviemäristä välppälle, joka erottaa kiintoaineen nesteestä. Esivälppätty vesi pumpataan maan pinnalla sijaitsevaan lämmönvaihtimeen, jossa lämmitetty siirtoneste ohjataan lämpöpumpulle. Jäähdyntynyt jätevesi johdetaan takaisin viemäriin vieden aiemmin erotetun kiintoaineen mukanaan. (Hydropress HUBER Ab:n www-sivut 2020)



Kuva 4. Huber ThermWin toimintaperiaate. (Hydropress HUBER Ab:n www-sivut 2020)

3.2.4 Ecopal Oy

Ecowec hybridivaihtimella voidaan lämpöä ottaa talteen poistoilmasta, jätevedestä, höyryistä, lauhdelämmöstä, prosessivesistä ja allasvesistä. Vaihtimeen on myös mahdollista kytkeä aurinkokeräimet ja hyödyntää aurinkolämmöstä jäännöslämpöä. Vaihtimen käyttökohteita ovat laaja-alaisesti varsin erilaiset kohteet asuinrakennuksista aina teollisuuteen ja suuriin laitoksiin. Ecowec hybridivaihtimelle soveltuu mustat jätevedet. Lämpö siirretään vaihtimessa säiliön läpi kulkevan kierukan avulla. Kierukan läpi kulkevasta jätevedestä lämpö siirtyy säiliössä kiertävään lämmönsiirtonesteeseen, jolla esilämmitetään käyttövettä tai lämmitetään lämpöpumpun primäärinestettä. Kuvasssa 5 on Ecowec hybridivaihdin ja sen toimintaperiaate (Ecopal Oy:n www-sivut 2019)



Kuva 5. Ecowec hybridivaihdin. (Ecopal Oy:n www-sivut 2019)

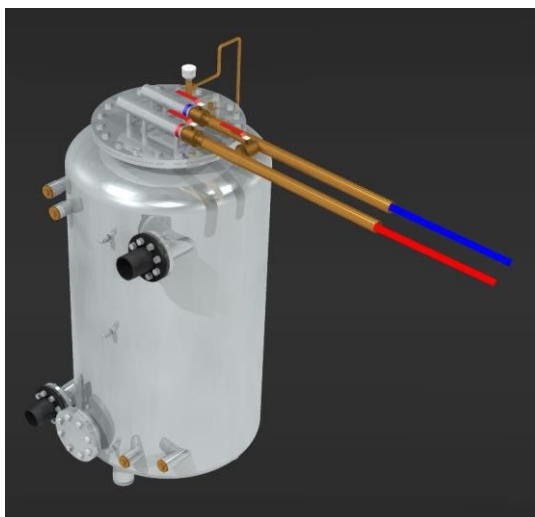
Hybridivaihtimen kytkentä viemäriin voidaan toteuttaa painovoimaisena tai pumppaamon avulla paineviemäröintinä. Valmistaja suosittelee käyttämään paineviemäröintiä paremman hyötysuhteen ja lämmönsiirtopintojen paremman itsepuhdistuvuuden vuoksi. Mustien jätevesien kanssa on käytettävä repijäpumppua, jotta myös kiintoaines kulkeutuu pumppaamon läpi. (Helppolainen 2019)

Pumppaamolla varustettu järjestelmä tuo lisää hankinta- ja käyttökustannuksia, sekä huoltokohteen verrattuna painovoimaiseen järjestelmään. Valmistajan mukaan näistä seikoista huolimatta pumppaamolla varustettuna järjestelmä on vaihtoehtoista kannattavampi. (Helppolainen 2019)

3.3 Kytkevätavat

3.3.1 Käyttöveden esilämmitys

Käyttöveden esilämmitys voidaan toteuttaa integroidun lisälämmönvaihtimella, kuten kuvasta 6 käy ilmi tai ulkoisella levylämmönvaihtimella kuten kuvassa 7. Näin saadaan myös ympäristöministeriön asetuksen opastavien tekstien mukainen erillinen lämmönsiirtoneste myös jäteveden ja käyttöveden välille. (Ecopal Oy:n www-sivut 2019; Asetus rakennusten vesi- ja viemärlaitteistosta 1047/2017, Vesi- ja viemärlaitteistot -opas www-sivut 2020)



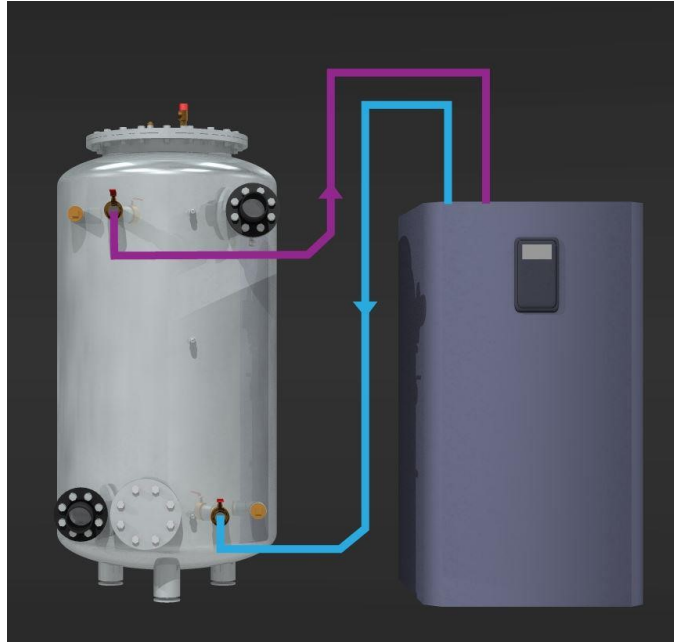
Kuvat 6. Käyttöveden esilämmitys integroidulla lisälämmönvaihtimella. (Ecopal Oy:n www-sivut 2019)



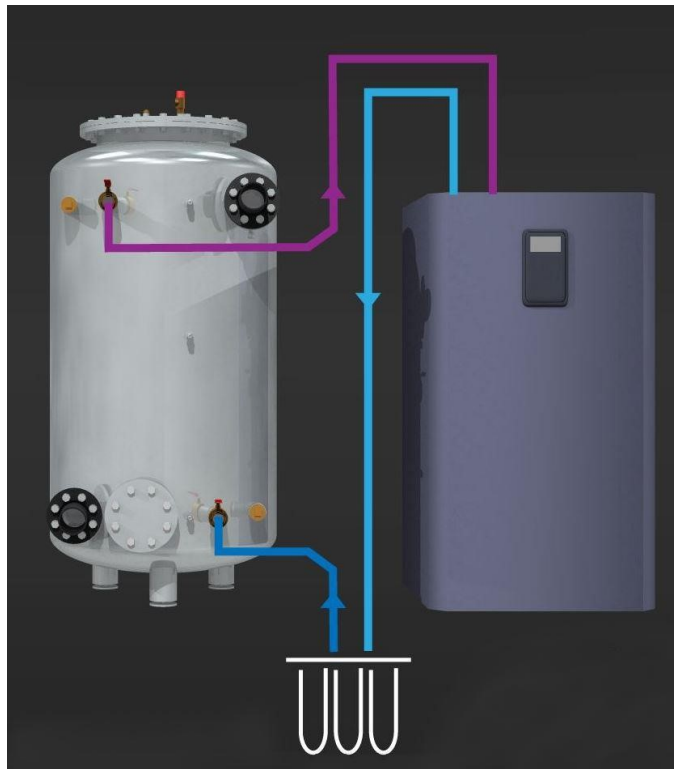
Kuva 7. Käyttöveden esilämmitys lisälämmönvaihtimella ulkoisella levylämmönvaihtimella. (Ecopal Oy:n www-sivut 2019)

3.3.2 Lämpöpumppukytkenät

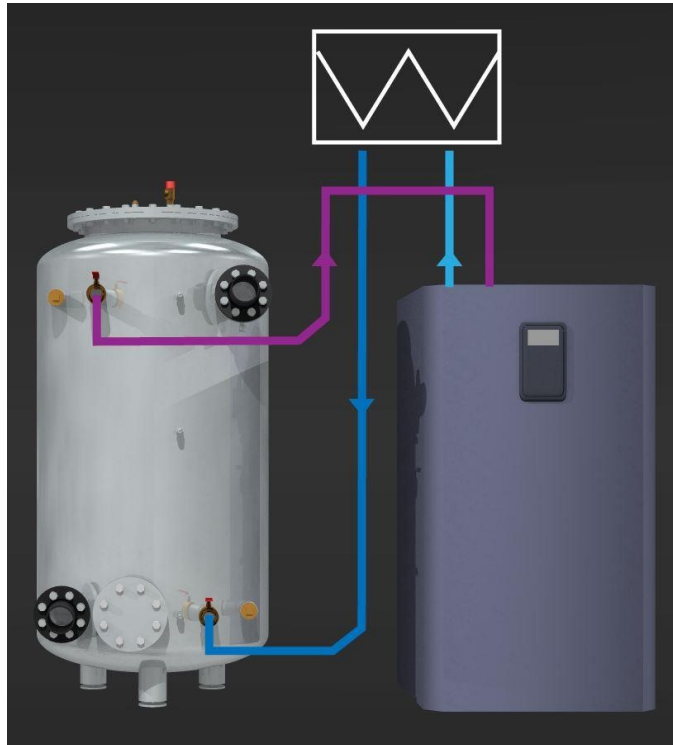
Lämpöpumppusovelluksia on useampia. Hybridivaihtimen voi kytkeä suoraan omaan lämpöpumppuun, joka toimii näin ainoana lämmönlähteenä lämpöpumpulle (kuva 8). Kytkenän voi tehdä myös maalämpöpumppuun (kuva 9) tai poistoilmalämpöpumppuun (kuva 10). (Ecopal Oy:n www-sivut 2019)



Kuva 8. Kytentä lämpöpumppuun. (Ecopal Oy:n www-sivut 2019)



Kuva 9. Kytentä maalämpöpumppuun. (Ecopal Oy:n www-sivut 2019)



Kuva 10. Kytentä Poistoilmalämpöpumppuun. (Ecopal Oy:n www-sivut 2019)

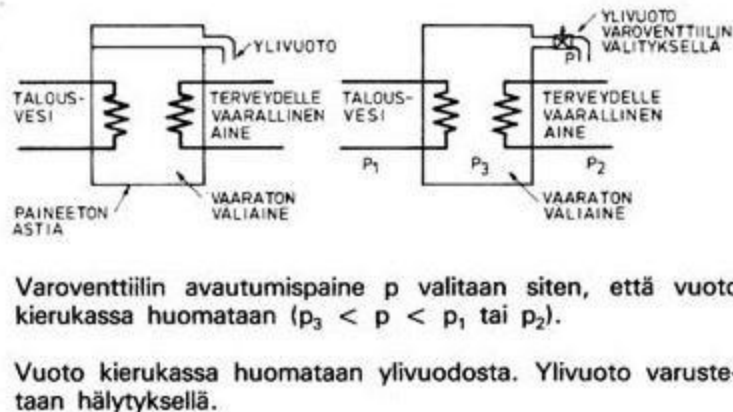
4 SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVAA

Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon useita eri tahoja, joilla saattaa olla erinäisiä rajoitteita tai ohjeita järjestelmän toimintaan. Näitä tahoja ovat kohteesta riippuen Suomen lainsäädäntö, Suomen rakentamismääräyskokoelma, Energiateollisuus ry:n Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet K1, sekä alueen rakennusvalvonta, energiayhtiö ja jätevedenpuhdistamo.

4.1 Rakentamismääräykset

Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon Suomen rakentamismääräyskokoelma, etenkin 1047/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemäri-laitteistoista ja sen opastavat tekstit.

Selkeästi tavallisesta jätevesiviemärisuunnittelusta poikkeavat kohdat ovat asetuksen luku 2 § 5, kohta: ”Vesihuoltolaitoksen verkostoon liitetyllä vesilaitteistolla ei saa olla suoraa yhteyttä muusta vesilähteestä vetensä saavaan vesilaitteistoon, viemäri-laitteistoon tai erityiseen vesilaitteistoon.” Tähän on opastavissa teksteissä lisäys lämmöntalteenottolaitteiden kohdalla ohjeistus, vesijohtojen asennuksesta niin, että ne eivät joudu kosketuksiin vuotamalla tai kulkeutumalla putken seinämän läpi vettä saastuttavien aineiden kanssa, kuten jätevesi, glykoli ja kylmäaine. Kuvassa 12 on opastavissa teksteissä lämmöntalteenottolaitteille annettu periaatteellinen toteutustapa. (Asetus rakennusten vesi- ja viemäri-laitteistosta 1047/2017, Vesi- ja viemäri-laitteistot -opas www-sivut 2020)



Kuva 12. Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemäri-laitteistoista 1047/2017, luku 2 § 5 opastavat tekstit. (Asetus rakennusten vesi- ja viemäri-laitteistoista 1047/2017, Vesi- ja viemäri-laitteistot -opas www-sivut 2020)

Jätevesilaitteiston osalta luku 5 §25, missä mainitaan, ettei putkikoko saa pienentyä virtaussuunnasta. Kerrostalojen runkoviemäri on kooltaan vähintään DN100 ja usein tarvitaan kooltaan vielä suurempaa viemäriä. Ecowec hybridivaihtimen spiraaliputken halkaisija on DN100, joten määräyksen täyttämiseksi suuremmalla runkoviemärillä on tehtävä ohitus, jossa putkikoko ei pienene. Toinen huomioitava kohta on asetuksen luku 6 § 31 maininta, että viemäri-laitteisto ei saa jäätyä. Esilämmitettäessä käyttövetä tätä vaaraa ei suoranaisesti ole, mikäli viemäri-intiä suunniteltaessa tämä on otettu huomioon. Lämmöntalteenottolaitteisto ei jäähdytä jätevettä sisään tulevaa käyttövetä kylmemmäksi. Lämpöpumpusovellusten kanssa tilanne on toinen. Kylmäaine saattaa olla lämmönsiirtimelle tullessaan alle 0 °C lämpöistä, jolloin jäteveden jäätymiselle olosuhteet on olemassa. (Asetus rakennusten vesi- ja viemäri-laitteistoista 1047/2017, Vesi- ja viemäri-laitteistot -opas www-sivut 2020)

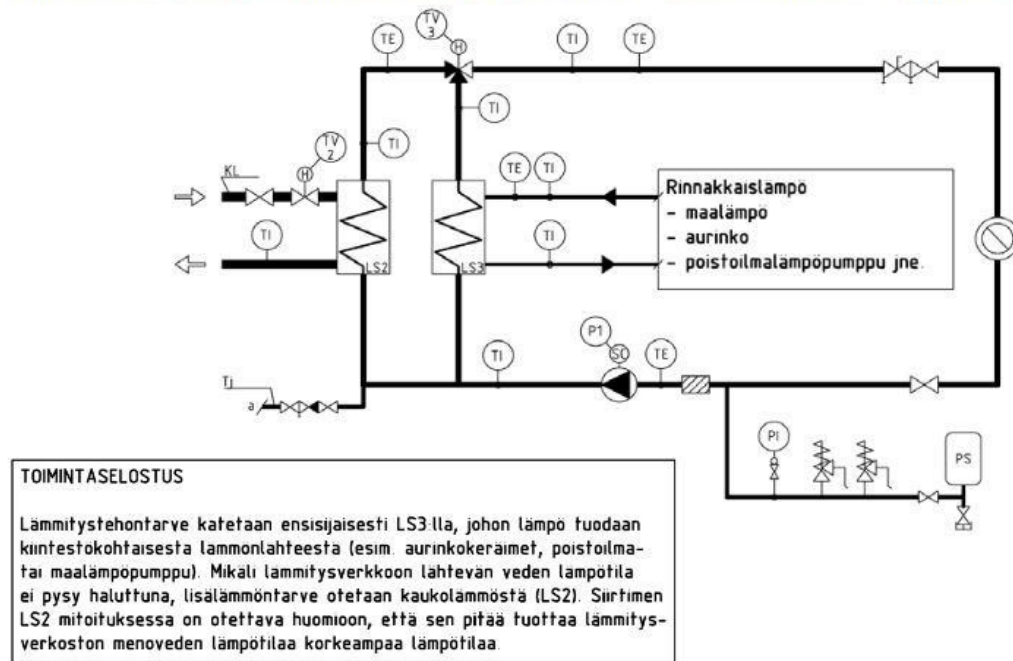
4.2 Energiatallisuus ry:n julkaisu K1

Energiatallisuus ry:n antamat määräykset ja ohjeet K1:ssä tulee ottaa huomioon, mikäli jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmä liitetään kaukolämmön alajakokeskukseen. Tämän lisäksi energialaitoksilla saattaa olla omia tulkintoja ja lisäyksiä K1:een.

K1:ssä annetaan periaatteelliset esimerkkikytkennät rinnakkaislämmölle, johon myös lämmöntalteenottojärjestelmät kuuluvat. Esimerkkikytkennät on annettu sekä käyttöveden lämmitykseen, että kytkentään lämmitysverkkoon. K1:ssä mainitaan, että esimerkkikytkennät on laadittu välttämättä kaukolämpöveden tarpeettoman jäähtymän. Tämä ei suoranaisesti estä käyttämästä lämmöntalteenottolaitteistoa käyttöveden esilämmitykseen, vain kaukolämpöveden jäähtymä pitäisi pysyä muuttumattomana. Kytkentätapa tulee tarkistaa aina paikalliselta energialaitokselta. (Energiateollisuus ry K1 2013, 82; Talotekniikkalehti 2016)

Kytkentä käyttöveden lämmitykseen esimerkin mukaan ohjeistaa kytkemään rinnakkaislämmönsiirtimen kaukolämmönalajakokeskuksen esi- ja jälkilämmityssiirtimien väliin, jolloin käyttövesi on jo lämmennyt ja näin ollen jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän hyötysuhde heikkenee merkittävästi. Mahdollisuus on myös, että käyttövesi on lämmennyt yli jäteveden lämpötilan, jolloin termodynamiikan 2. pääsäännön mukaan lämpöenergia siirtyy kuumemmasta kylmempään, eli tässä tapauksessa käyttövedestä jäteveeseen. Tämä kytkentätapa käytännössä rajoittaa jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmät lämpöpumppusovelluksiin. Kuvassa 13 on K1 toimintaselostus ja esimerkki rinnakkaislämmön kytkennästä tilojen lämmitykseen. (Energiateollisuus ry K1 2013, 89)

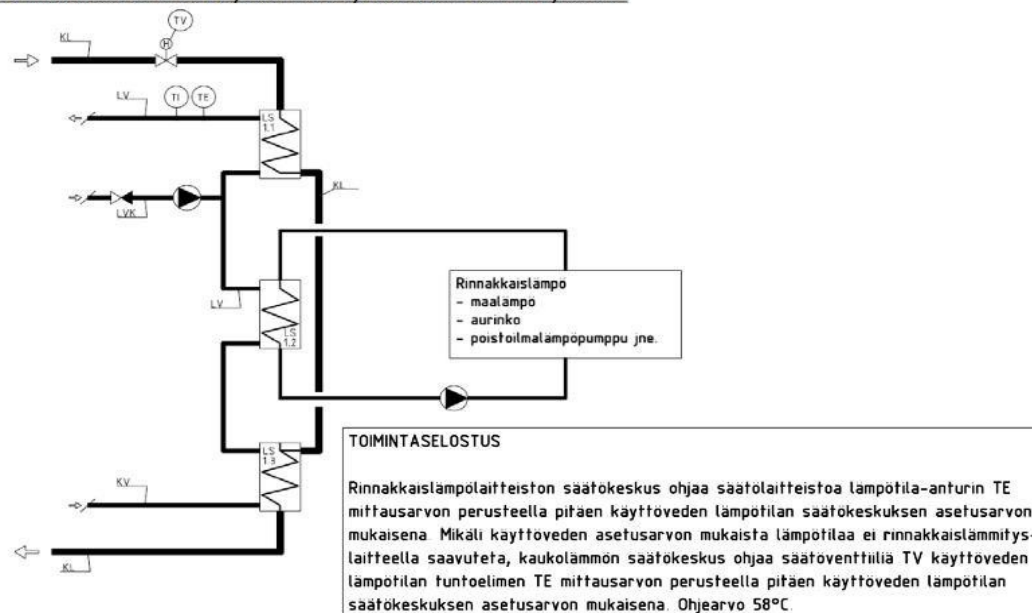
Rinnakkaislämmön (rakennuskohtaisen lämmönlähteen) kytkentä tilojen lämmitykseen



Kuva 13. Kytchentäesimerkki rinnakkaislämmön kytkemiseksi tilojen lämmitykseen, sekä K1:en toimintaselostus. (Energiateollisuus ry K1 2013, 89)

Kuvan 14 mukainen rinnakkaislämmön kytchentäesimerkki lämmitysjärjestelmään ohjaa käyttämään lämmitykseen ensisijaisesti rinnakkaislämpöä ja mikäli tämä ei tuota tarpeeksi lämpöenergiaa, otetaan lisälämmöntarve kaukolämmöstä. Koska jätevedettä tulee ympäri vuoden, mutta lämmitystarvetta rakennuksissa ei kesällä juuri ole, on suositeltavaa käyttää lämmöntalteenottojärjestelmän tuottama lämpö käyttöveden lämmitykseen, koska lämmintä käyttövedettä kuluu myös kesäisin.

Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen



Kuva 14. KytKentäesimerkki rinnakkaislämmön kytkemiseksi käyttöveden lämmitykseen, sekä K1:en toimintaselostus. (Energiateollisuus ry K1 2013, 89)

4.3 Rakennusvalvonta

Turun rakennusvalvonnassa yhteyshenkilö kuuli vastaavasta järjestelmästä ensimmäistä kertaa ja hänen asiasta tekemän selvityksen jälkeen hän ilmoitti järjestelmän olevan mahdollinen ja linjaus asian suhteen on sama kuin Helsingin rakennusvalvonnalla, eli suunnittelu on vaativan pätevyyden alaista ja suunnitelmat tulee hyväksyttävä rakennusvalvonnassa ja järjestelmää ei voi käyttää käyttöveden esilämmitykseen. (Beqiri puhelinkeskustelut 2019)

4.4 Energialaitos

Turku Energia suhtautuu asiaan myönteisesti, mutta kytkentä tulee tapahtua kaukolämmön alajakokeskuksen lämmönsiirrinten väliin Helen Oy:n ohjeistuksen tapaan ja heille tulee toimittaa kytkentäkaavio hyväksyttäväksi. (Veijalainen puhelinkeskustelu 21.8.2019)

Tilanne ei ole kaikkien energialaitosten kanssa yhtäläinen. Esimerkiksi Jyväskylän seudulla toimivan energialaitoksen puolesta jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä on voitu käyttää käyttöveden esilämmitykseen. (Kuulasmaa puhelinkeskustelu ja sähköposti 20.8.2019)

4.5 Jätevedenpuhdistamo ja vesilaitos

Jätevedenpuhdistamoilla voi olla ohjeistuksia laitokselle saapuvalla jätevedelle, tai jäteveden käsittelylle rakennuksissa. Esimerkiksi jäteveden lämpötila saattaa olla ohjeistuksen alainen, jotta puhdistamon toiminta ei hankaloidu tai jätevesi ei ole jäätymisvaarassa. (Helppolainen 2019)

Turun Vesihuolto Oy:ltä ja Turun seudun puhdistamo Oy:ltä ei annettu rajoitteita, eikä jäteveden lämmöntalteenotto ole kiellettyä taloyhtiöille. (Ahti puhelinkeskustelut 2019; Levomäki sähköposti 20.8.2019)

5 MITTAUKSET

5.1 Dataloggeri

Kannattavuuslaskelmia varten oli taloyhtiön jätevesien lämpötila mitattava ja mittaukset suoritettiin käyttämällä kuvan 15 mukaista Grant instruments Squirrel 2040 datalogger –laitetta ja termopariantureita. Dataloggerissa on valmistajan mukaan 14 miljoonan mittaustuloksen muistikapasiteetti ja mittatarkkuus on $\pm 0,05$ %. (Grant Instruments Ltd:n www-sivut 2020)



Kuva 15. Grant Squirrel 2040 datalogger. (Grant Instruments Ltd:n www-sivut 2020)

5.2 Termopari

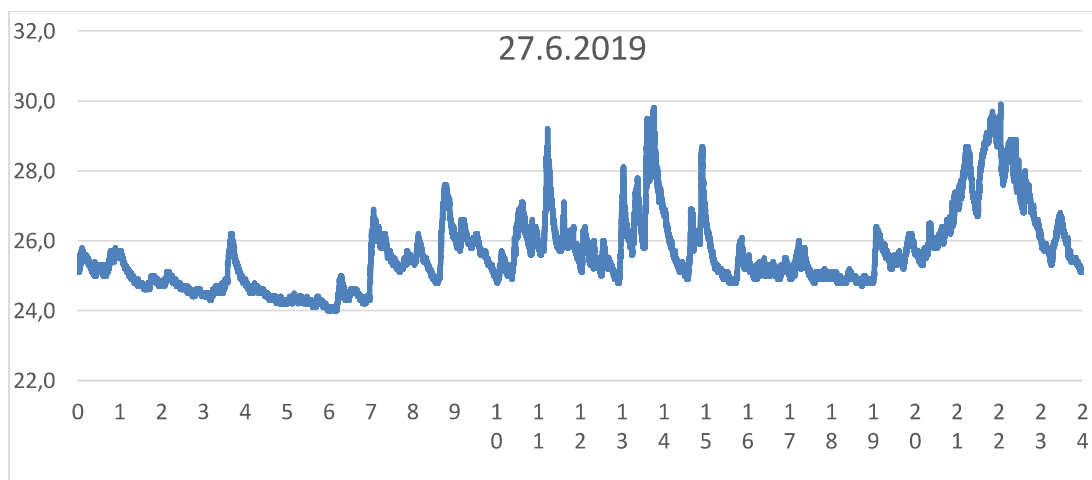
Lämpötilaa mitattiin termopariantureilla, jotka kytkettiin dataloggeriin. Termoparin lämpötila mittaus toimii kahden eri metallista valmistetun mittapään metallien väliseen jännitteeseen, joka muuttuu lämpötilan muuttuessa. Jännite-erosta dataloggeri laskee lämpötilan. (Pietiko Oy:n www-sivut 2020)

5.3 Mittaus

Mittausta varten termopari asennettiin runkoviemärin puhdistusluukusta viemärin sisälle melko lähelle viemärin pohjaa, jotta viemäriä pitkin kulkeva pienikin määrä jätevettä näkyisi mittauksessa, mutta kuitenkin minimoiden valurautaan mahdollisesti jäävä jälkilämpö tuloksissa. Mittalaite asetettiin viikon ajaksi mittaamaan yhden sekunnin intervallilla, jotta tyypillisesti epäsäännöllisesti ja ryöppyinä viemäreissä kulkeva jätevesi ei ehtisi ohittamaan mittauspistettä mittausintervallien välissä.

5.4 Tulokset

Mittaustuloksien analysointiin oli mahdollista käyttää Grantin SquirrelView ohjelmissä, jolla oli myös mahdollista purkaa mitatut tiedot Excel-tiedostoksi. Mittausdatasta jäteveden keskiarvoa laskettaessa on otettava huomioon, että osa mittauksista on suoritettu tyhjästä viemäristä, eikä jätevedestä. Tämä nostaa jäteveden todellista keskiarvoa verraten suoraan mittausdatasta laskettuun. Tämä on pyritty ottamaan huomioon laskennassa. Mittausdatan pohjalta laskettu keskiarvo on 25,4 °C. Mittausdatan ja datasta saadun käyrästön pohjalta arvioitu todellinen keskimääräinen lämpötila on n. 26 °C. Käyrästöjen laajuuden vuoksi, mittauksen tuloksista tehdyt kuvat löytyvät liitteinä 1 - 9. Alla kuvassa 16 on 27.6.2019 mittausdata sekunnin intervallilla.



Kuva 16. Jäteveden lämpötila 27.6.2019.

6 LASKENTA

Kohteeseen parhaiten soveltuvaksi järjestelmäksi valikoitui Ecopal Oy:n valmistama Ecowec hybridivaihdin. Muista poiketen järjestelmä soveltuu taloyhtiökokoluokkaan ja mustille jätevesille, sekä on yksinkertaisuudessaan toimintavarma ja hyvin huolto-vapaa.

Työtä aloitettaessa ei ollut vielä tiedossa sallitut kytkentätavat ja taloyhtiö halusi alustavaa arviota, joten ensimmäiset laskelmat tehtiin käyttöveden esilämmitykseen soveltuvaksi. Havaintojen pohjalta ja varmistettujen kytkentätapojen pohjalta laskelmia tarkennettiin oikeaan suuntaan.

Jäteveden määrä ei ole mitattavissa kohteessa, joten määrä täytyy arvioida laskemalla käytetystä vedestä. Kohteen tonttivesimittarilla saadaan vuotuinen vedenkulutus ja nämä tiedot löytyvät isännöitsijäntodistuksesta, mutta rakennuksessa ei ole lämpimän käyttöveden mittausta erikseen, joten tämä arvioidaan tilastojen pohjalta.

Asuinrakennuksessa suurin osa käytetystä vedestä kulkeutuu viemäriin, pieni osa käytetystä vedestä laskettiin häviäväksi muualle, esimerkiksi ulkopuolisiin sadevesikoihin.

Ensin selvitettiin nykytilanne ja muutettiin tiedot taloyhtiötä ajatellen helpommin ymmärrettävään muotoon, jonka jälkeen tarkasteltiin muutosten tuomia eroavaisuuksia nykytilanteeseen. Näistä eroavaisuuksista koostettiin vaihtoehtoja, jotka laskettiin esitystä varten, joka esiteltiin taloyhtiölle. Laskennassa taloyhtiölle käytettiin lukuina helpomman luettavuuden vuoksi selkeitä lukuja ja erilaisia vaihtoehtoja, jotta yhtiön on helpompi pohtia tilannetta eri tilanteissa.

6.1 Asiakkaan tiedot

6.1.1 Nykyinen vedenkulutus

Taloyhtiössä isännöitsijäntodistuksen mukaan vuosien 2015 – 2018 vedenkulutus on ollut keskimäärin 3200 m³ vuodessa. Veden kulutusta mitataan vain kylmästä vedestä,

jolloin lämpimän käyttöveden osuus perustuu keskimääräiseen kulutukseen. Taloyhtiön lämpimän veden kulutus näin ollen on 1280 m³ vuodessa.

6.1.2 Nykyinen lämmitykseen tarvittava energia

Käyttöveden lämmittämiseen kuluu vuodessa keskimäärin 71,34 MWh energiaa, lämmitykseen kokonaisuudessaan käytettävän energian ollessa keskimäärin 448,87 MWh vuodessa. Nykyisellä kulutuksen mukaan painotetulla kaukolämmön hinnalla, 75,30 € / MWh, alueella, jolla taloyhtiö sijaitsee tarkoittaa tämä noin 33 800 € lämmityskustannuksia vuodessa, josta lämpimän käyttöveden osuus on 5370 €. Energian hinta kuitenkin nousee vuosittain ja tämä on kannattavuuslaskelmissa otettu huomioon.

Kaava 1. Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava lämpöenergian kWh lasketaan.

$$Q = \frac{\rho * c_p * V * \Delta T}{3600}$$

jossa:

Q	veden lämmittämiseen tarvittava lämpöenergia	(kWh)
ρ	veden tiheys	(kg/m ³)
c_p	veden ominaislämpökapasiteetti	(kJ/kg°C)
V	lämmitettävän veden määrä	(m ³)
ΔT	kylmän ja lämpimän veden lämpötilojen erotus	(°C)

6.1.3 Asuntokohtaisten vesimittareiden tuoma pudotus

Taloyhtiössä on alkamassa linjasaneeraus, jonka yhteydessä asennetaan asuntokohtaiset vesimittarit. Oletetun pudonnan kulutuksen myötä taloyhtiön vedenkulutuksen luekemat tullee olemaan 2240 – 2880 m³ käyttövettä vuodessa, josta lämpimän käyttöveden osuus olisi 896 – 1152 m³ vuodessa.

Käyttöveden lämmitykseen käytetty energia on kulutuksen vähenemisen jälkeen 49,94 – 64,20 MWh vuodessa, joka edellä mainitulla painotetulla kaukolämmön hinnalla laskettuna tarkoittaa noin 3760 – 4830 € vuodessa.

6.2 Lämmönsiirtonesteen ja jäteveden lämpötila

Mittausten pohjalta saatu jäteveden lämpötila on 26 °C, ± 1 °C.

Jos lämmöntalteenotosta saatu energia olisi käytetty käyttöveden esilämmitykseen, olisi ΔT ollut 10 – 15 °C. Lämpöpumppusovelluksessa käytettävän lämmönkeruupiirin vaippanesteen tarkkaa lämpötilaa ei ollut tätä työtä tehdessä tiedossa, mutta oletuksena se on 2-8 °C, jolloin ΔT on 18 – 24 °C.

Kaava 2. Lämpötilojen erotus.

$$\Delta T = t_{jv} - t_{vn}$$

jossa:

ΔT	kylmän käyttöveden ja jäteveden lämpötilojen erotus (°C)
t_{jv}	jäteveden lämpötila (°C)
t_{vn}	kylmän käyttöveden lämpötila (°C)

Lämpötilaeroina laskennassa käytettiin: 10 °C, 15 °C, 20 °C ja 25 °C.

6.3 Käyttöveden kulutus

Nykyinen käyttöveden kulutus on 3200 m³ vuodessa, jolloin vuorokautinen kulutus on 8,77 m³, eli 8770l, jolloin vedenkulutus on henkilöä kohti 137 l/vrk/hlö. Linjasaneerauksen yhteydessä asennettavista vesimittareista johtuen on todennäköistä, että kulutus putoaa tilastojen pohjalta arvioituna 10 – 30 prosenttia. Tällöin uudet vuorokautiset vedenkulutuslukemat henkilöä kohti ovat 95,9 – 123,3 l/vrk/hlö. (Motiva Oy:n www-sivut 2019)

Kaava 3. Vedenkulutus litroina

$$Q_{Kv_y} = Q_{Kv_a} * 1000$$

jossa:

Q_{Kv_y}	käyttövesivirtaama vuodessa litroiksi muutettuna	(l/v)
Q_{Kv_a}	käyttövesivirtaama vuodessa kuutiometreinä	(m ³ /v)

Kaava 4. Vuorokautinen käyttöveden kulutus.

$$Q_{Kv_vrk} = \frac{Q_{Kv_y}}{365d}$$

jossa:

Q_{Kv_vrk}	käyttöveden kulutus vuorokaudessa	(l/vrk)
Q_{Kv_y}	käyttöveden kulutus vuodessa	(l/v)
365d	vuorokausia vuodessa	(kpl)

Kaava 5. Vedenkulutus henkilöä kohden.

$$Q_{Kv_{hlö}} = \frac{Q_{Kv_vrk}}{64 \text{ hlö}}$$

jossa:

$Q_{Kv_{hlö}}$	käyttöveden kulutus henkilöä kohden vuorokaudessa	(l/vrk/hlö)
Q_{Kv_vrk}	käyttöveden kulutus vuorokaudessa	(l/v)

Kaava 6. Käyttöveden kulutus litroina sekunnissa.

$$Q_{Kv_{l/s}} = \frac{Q_{Kv_vrk}}{86400}$$

jossa:

$Q_{Kv_{l/s}}$	käyttövesivirtaama sekunnissa	(l/s)
Q_{Kv_vrk}	käyttöveden kulutus vuorokaudessa	(l/v)
86400	muutoskerroin vuorokaudesta sekunneiksi	

Selvyyden vuoksi laskennassa taloyhtiön esitykseen käytettiin kulutuslukemina henkilöä kohden:

100 l/hlö/vrk, josta muutettuna litroiksi sekunnissa	≈ 0,0741 l/s
110 l/hlö/vrk, josta muutettuna litroiksi sekunnissa	≈ 0,0815 l/s
120 l/hlö/vrk, josta muutettuna litroiksi sekunnissa	≈ 0,0889 l/s
130 l/hlö/vrk, josta muutettuna litroiksi sekunnissa	≈ 0,0963 l/s
140 l/hlö/vrk josta muutettuna litroiksi sekunnissa	≈ 0,1037 l/s

Kaava 7. Veden kulutus litroina sekunnissa annetuista vedenkulutusmääristä henkilöä kohden.

$$Q_{Kv1/s} = \frac{Q_{Kv\ hlö} * 64\ hlö}{86400}$$

jossa:

$Q_{Kv1/s}$	käyttövesivirtaama sekunnissa	(l/s)
$Q_{Kv\ hlö}$	käyttöveden kulutus henkilöä kohden vuorokaudessa	(l/vrk/hlö)
86400	muutoskerroin vuorokaudesta sekunneiksi	

6.4 Jätevesivirtaama

Jäteveden määrässä otettiin huomioon mahdollisuus, että kaikki käytetty vesi ei päädy taloyhtiön jätevesiviemäriin, jolloin jätevesivirtaamaksi laskettiin 98 prosenttia käyttöveden virtaamasta.

Kaava 8. Jätevesivirtaama vuorokaudessa

$$Q_{Jv1/s} = \frac{Q_{Kv\ vrk} * 98\%}{86400}$$

jossa:

$Q_{Jv1/s}$	jätevesivirtaama sekunnissa	(l/s)
$Q_{Kv\ vrk}$	käyttöveden kulutus vuorokaudessa	(l/vrk)
86400	muutoskerroin vuorokaudesta sekunneiksi	

Esityksessä käytettyjen vuorokautisten vedenkulutusmäärien vastaavat laskennassa käytetyt jätevesivirtaamat sekunnissa:

100 l/hlö/vrk vastaava jätevesivirtaama	$\approx 0,0726$ l/s
110 l/hlö/vrk vastaava jätevesivirtaama	$\approx 0,0800$ l/s
120 l/hlö/vrk vastaava jätevesivirtaama	$\approx 0,0871$ l/s
130 l/hlö/vrk vastaava jätevesivirtaama	$\approx 0,0944$ l/s
140 l/hlö/vrk vastaava jätevesivirtaama	$\approx 0,1016$ l/s

Kaava 9. Jätevesivirtaama sekunnissa

$$Q_{Jv\ 1/s} = \frac{Q_{Kv\ 1/s} * 98\%}{86400}$$

jossa:

$Q_{Jv\ 1/s}$	jätevesivirtaama sekunnissa	(l/s)
$Q_{Kv\ hlö}$	jätevesivirtaama henkilöä kohden vuorokaudessa	(l/vrk/hlö)
86400	muutoskerroin vuorokaudesta sekunneiksi	

6.5 Jäteveden lämmöntalteenoton tehon laskenta

Ecowec hybridivaihtimen teho lasketaan valmistajan antamien ohjeiden mukaisesti kaavasta 10. Laskennassa oletetaan jätevesivirtaaman olevan tasaista, jota se ei ole, mutta laskentakaavalla on valmistajan mukaan 10% virhemarginaali verrattuna laskentamallilla suoritettuun tehon laskentaan. (Ecopal Oy:n www-sivut 2019)

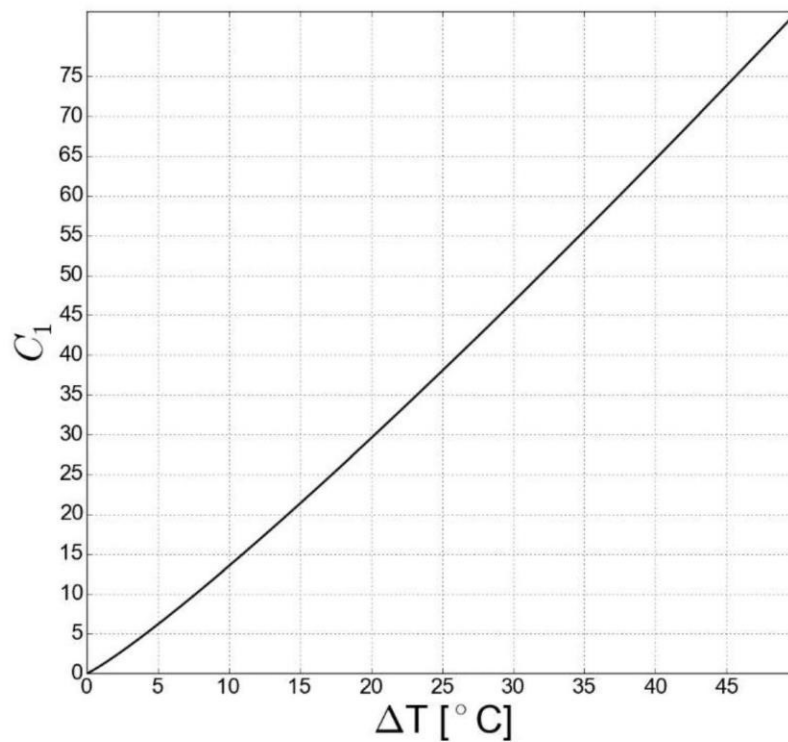
Kaava 10. Hybridivaihtimen teho.

$$\phi = C_1 * C_2$$

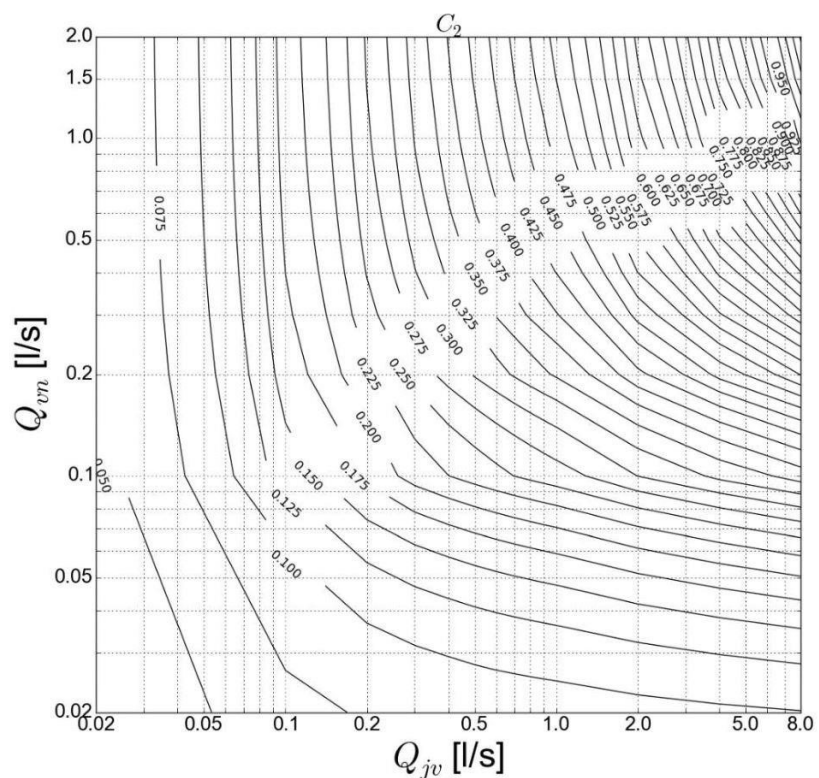
jossa:

ϕ	teho	(kW)
C_1	valmistajan käyrästä saatu kerroin	
C_2	valmistajan käyrästä saatu kerroin	

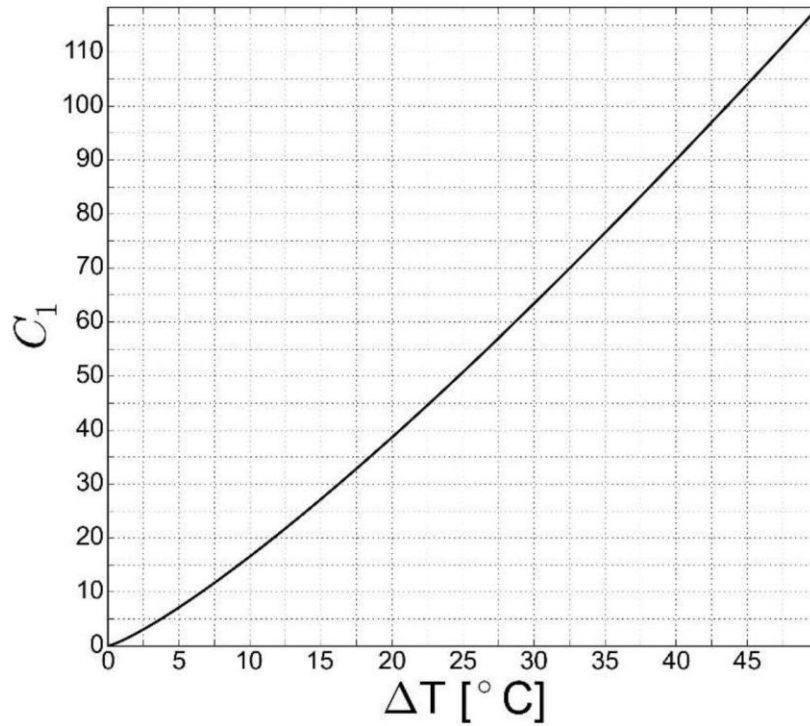
Kertoimet C_1 ja C_2 määritetään valmistajan käyrästöjen perusteella (kuvat 17, 18, 19 ja 20). Käyrästöjen käyttämiseksi tarvitaan ΔT , joka on jäteveden ja lämmönsiirtonesteen lämpötilojen erotus, sekä Q_{jv} ja Q_{vn} , jotka ovat jäteveden ja lämmönsiirtonesteen tilavuusvirrat litroina sekunnissa. Valmistaja antaa käyrästöt kahdelle eri lämmönsiirtonesteelle, vedelle ja vesi-etanoli seokselle, ja näistä molemmille vielä kahdelle jäteveden kytkentämallille, jäteveden kulkiessa ylhäältä alas ja vastaavasti alhaalta ylös. Alustavissa laskemissa käytettiin lämmönsiirtonesteenä vettä, mutta käytötavan varmistuttua lämpöpumppusovellukseen varsinaiset laskelmat suoritettiin vesi-etanoli seosta lämmönsiirtonesteenä käyttäen. Opinnäytetyötä tehdessä poistoilmalämpöpumppua ei ole vielä valittu, mutta lämpöpumppu on mitoitettu nimellisteholtaan vähintään 60 kW kokoiseksi. Vaikka lämmönkerupiirin nesteen virtaama ei ole tiedossa, voidaan kuitenkin olettaa virtaaman olevan suurempi kuin 0,5 l/s lämpöpumpun nimellistehon pohjalta. Kuten mitoituskäyristä näkee, virtaaman merkitys jäteveden lämmöntalteenottolaitteen tehoon yli 0,5 l/s jälkeen on hyvin vähäinen ja tästä johtuen laskenta eri ΔT :n arvoille on laskettu samalla C_2 arvolla.



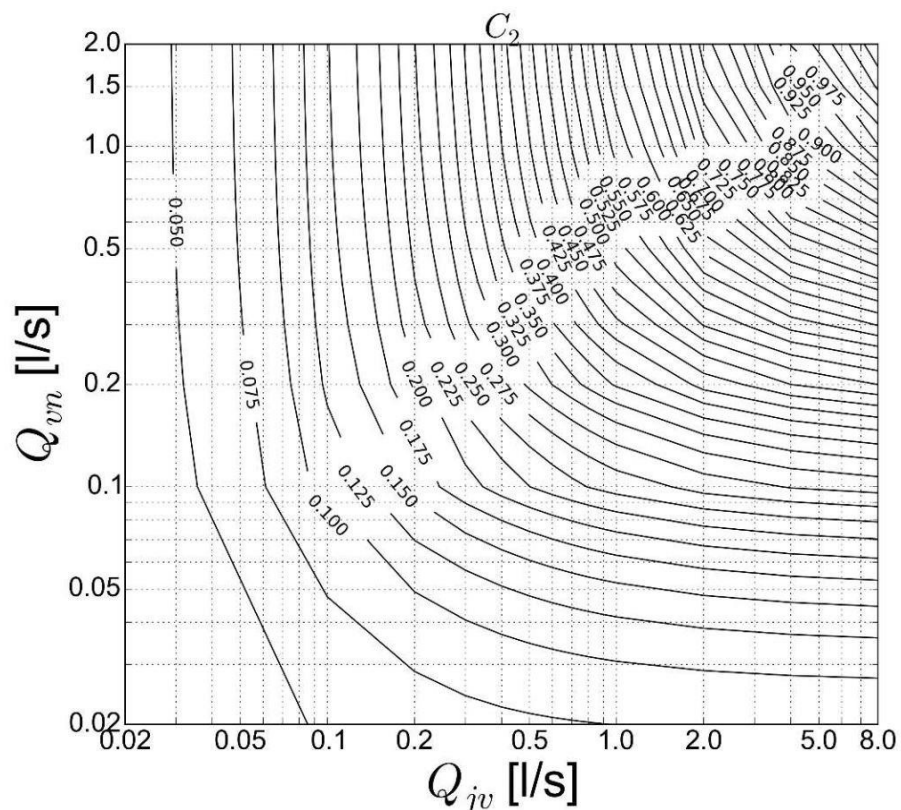
Kuva 17. Mitoituskäyrästä C_1 määrittämiseksi, lämmönsiirtonesteenä vesi-etanoli seos, jäteveden virtaussuunta ylhäältä alas. (Ecopal Oy:n www-sivut 2019)



Kuva 18. Mitoituskäyrästä C_2 määrittämiseksi, lämmönsiirtonesteenä vesi-etanoli seos, jäteveden virtaussuunta ylhäältä alas. (Ecopal Oy:n www-sivut 2019)



Kuva 19. Mitoituskäyrästä C_1 määrittämiseksi, lämmönsiirtonesteenä vesi-etanoli seos, jäteveden virtaussuunta alhaalta ylös. (Ecopal Oy:n www-sivut 2019)



Kuva 20. Mitoituskäyrästä C_2 määrittämiseksi, lämmönsiirtonesteenä vesi-etanoli seos, jäteveden virtaussuunta alhaalta ylös. (Ecopal Oy:n www-sivut 2019)

Taulukossa 1 on laskettu lämmönvaihtimen tehot eri vaihtoehdoille, kun virtaussuunta jätevedellä on ylhäältä alas.

Taulukko 1. Jäteveden lämmönvaihtimen teho, jäteveden suunta ylhäältä alas.

Jäteveden lämmöntalteenoton vaihtimen teho						
Käyttöveden määrä	100 l/hlö/vrk	110 l/hlö/vrk	120 l/hlö/vrk	130 l/hlö/vrk	140 l/hlö/vrk	
Jäteveden virtaussuunta	↓	↓	↓	↓	↓	
ΔT	25 °C	5,24 kW	5,70 kW	6,19 kW	6,65 kW	7,14 kW
	20 °C	4,14 kW	4,50 kW	4,89 kW	5,25 kW	5,64 kW
	15 °C	3,04 kW	3,30 kW	3,59 kW	3,85 kW	4,14 kW
	10 °C	1,93 kW	2,10 kW	2,28 kW	2,45 kW	2,63 kW

Taulukossa 2 on laskettu lämmönvaihtimen tehot eri vaihtoehdoille, kun virtaussuunta jätevedellä on alhaalta ylös.

Taulukko 2. Jäteveden lämmönvaihtimen teho, jäteveden suunta alhaalta ylös.

Jäteveden lämmöntalteenoton vaihtimen teho						
Käyttöveden määrä	100 l/hlö/vrk	110 l/hlö/vrk	120 l/hlö/vrk	130 l/hlö/vrk	140 l/hlö/vrk	
Jäteveden virtaussuunta	↑	↑	↑	↑	↑	
ΔT	25 °C	5,72 kW	6,24 kW	6,50 kW	7,28 kW	7,80 kW
	20 °C	4,18 kW	4,56 kW	4,75 kW	5,32 kW	5,70 kW
	15 °C	2,97 kW	3,24 kW	3,38 kW	3,78 kW	4,05 kW
	10 °C	1,76 kW	1,92 kW	2,00 kW	2,24 kW	2,40 kW

6.6 Energian tuotto ja säästö

Koska energiaa kuluu eri määrä ja kaukolämmön hinta on erilainen eri vuodenaikoina, tulee jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän tuoma energian tuotto laskea kuukausitasolla. Kuukausittainen energian tuotto riittää, koska jäteveden lämmöntalteenotto tuottaa lähtökohtaisesti vuodenaikasta riippumatta saman määrän energiaa. Kuukausittaisen tuoton pohjalta laskemalla eri vuodenaikojen kaukolämmön hinnalla saadaan vuosittainen säästö. Sen lisäksi tulee ottaa huomioon energian jatkuva hinnan nousu. (Turku Energia Oy:n www-sivut 2019)

6.6.1 Energian tuotto

Kaava 11. Vuotuinen energian tuotto.

$$\text{kWh}_v = \phi * 24\text{h} * 365\text{d}$$

jossa:

kWh_v JVLTO:n tuottama energiamäärä vuodessa (kWh)

ϕ JVLTO:n teho (kW)

Kaava 12. Kuukausittainen energian tuotto.

$$\text{kWh}_{kk} = \frac{\text{kWh}_v}{12kk}$$

jossa:

kWh_{kk} JVLTO:n tuottama energiamäärä kuukaudessa (kWh)

kWh_v JVLTO:n tuottama energiamäärä vuodessa (kWh)

Taulukossa 3 on laskettuna jäteveden lämmöntalteenotto järjestelmän vuotuinen energian tuotto, kun jäteveden virtauksen suunta on ylhäältä alas.

Taulukko 3. Vuotuinen energian tuotto, jäteveden suunta ylhäältä alas.

Jäteveden lämmöntalteenoton vuotuinen energian tuotto						
Käyttöveden määrä	100 l/hlö/vrk	110 l/hlö/vrk	120 l/hlö/vrk	130 l/hlö/vrk	140 l/hlö/vrk	
Jäteveden virtaussuunta	↓	↓	↓	↓	↓	
ΔT	25 °C	45937 kWh	49932 kWh	54259 kWh	58254 kWh	62581 kWh
	20 °C	36266 kWh	39420 kWh	42836 kWh	45990 kWh	49406 kWh
	15 °C	26595 kWh	28908 kWh	31413 kWh	33726 kWh	36231 kWh
	10 °C	16924 kWh	18396 kWh	19990 kWh	21462 kWh	23056 kWh

Taulukossa 4 on laskettuna jäteveden lämmöntalteenotto järjestelmän vuotuinen energian tuotto, kun jäteveden virtauksen suunta on alhaalta ylös.

Taulukko 4. Vuotuinen energian tuotto, jäteveden suunta alhaalta ylös.

Jäteveden lämmöntalteenoton vuotuinen energian tuotto						
Käyttöveden määrä	100 l/hlö/vrk	110 l/hlö/vrk	120 l/hlö/vrk	130 l/hlö/vrk	140 l/hlö/vrk	
Jäteveden virtaussuunta	↑	↑	↑	↑	↑	
ΔT	25 °C	50107 kWh	54662 kWh	56940 kWh	63773 kWh	68328 kWh
	20 °C	36617 kWh	39946 kWh	41610 kWh	46603 kWh	49932 kWh
	15 °C	26017 kWh	28382 kWh	29565 kWh	33113 kWh	35478 kWh
	10 °C	15418 kWh	16819 kWh	17520 kWh	19622 kWh	21024 kWh

Taulukossa 5 on laskettuna jäteveden lämmöntalteenotto järjestelmän kuukauden energian tuotto, kun jäteveden virtauksen suunta on ylhäältä alas.

Taulukko 5. Kuukauden energian tuotto, jäteveden suunta ylhäältä alas.

Jäteveden lämmöntalteenoton kuukasittainen energian tuotto						
Käyttöveden määrä		100 l/hlö/vrk	110 l/hlö/vrk	120 l/hlö/vrk	130 l/hlö/vrk	140 l/hlö/vrk
Jäteveden virtaussuunta		↓	↓	↓	↓	↓
ΔT	25 °C	3828,12 kW	4161,00 kW	4521,62 kW	4854,50 kW	5215,12 kW
	20 °C	3022,20 kW	3285,00 kW	3569,70 kW	3832,50 kW	4117,20 kW
	15 °C	2216,28 kW	2409,00 kW	2617,78 kW	2810,50 kW	3019,28 kW
	10 °C	1410,36 kW	1533,00 kW	1665,86 kW	1788,50 kW	1921,36 kW

Taulukossa 6 on laskettuna jäteveden lämmöntalteenotto järjestelmän kuukauden energian tuotto, kun jäteveden virtauksen suunta on alhaalta ylös.

Taulukko 6. Kuukauden energian tuotto, jäteveden suunta alhaalta ylös.

Jäteveden lämmöntalteenoton kuukasittainen energian tuotto						
Käyttöveden määrä		100 l/hlö/vrk	110 l/hlö/vrk	120 l/hlö/vrk	130 l/hlö/vrk	140 l/hlö/vrk
Jäteveden virtaussuunta		↑	↑	↑	↑	↑
ΔT	25 °C	4175,60 kW	4555,20 kW	4745,00 kW	5314,40 kW	5694,00 kW
	20 °C	3051,40 kW	3328,80 kW	3467,50 kW	3883,60 kW	4161,00 kW
	15 °C	2168,10 kW	2365,20 kW	2463,75 kW	2759,40 kW	2956,50 kW
	10 °C	1284,80 kW	1401,60 kW	1460,00 kW	1635,20 kW	1752,00 kW

6.6.2 Järjestelmällä tuotetun energian tuoma säästö

Kaava 13. Eri vuodenaikojen säästö.

$$k_1 = kWh_{kk} * 3 * KKL_1$$

$$k_2 = kWh_{kk} * 3 * KKL_2$$

$$k_3 = kWh_{kk} * 3 * KKL_3$$

$$k_4 = kWh_{kk} * 3 * KKL_4$$

jossa:

k_1	säästö kesältä	(€)
k_2	säästö syksyltä	(€)
k_3	säästö talvelta	(€)
k_4	säästö keväältä	(€)
kWh_{kk}	JVLTO:n tuottama energiamäärä kuukaudessa	(kWh)
KKL_1	kaukolämmön hinta kesäkuukausilta	(€/kWh)
KKL_2	kaukolämmön hinta syyskuukausilta	(€/kWh)
KKL_3	kaukolämmön hinta talvikuukausilta	(€/kWh)
KKL_4	kaukolämmön hinta kevätkuukausilta	(€/kWh)

Kaava 14. Vuosittainen säästö.

$$K = k_1 + k_2 + k_3 + k_4$$

jossa:

K	säästö vuodessa	(€)
k_1	säästö kesältä	(€)
k_2	säästö syksyltä	(€)
k_3	säästö talvelta	(€)
k_4	säästö keväältä	(€)

Taulukoissa 7 ja 8 on laskettu ensimmäisen vuoden osalta tuotetun energian tuoma säästö taloyhtiön alueen nykyhetken kaukolämmön hinnalla.

Taulukko 7. Ensimmäisen vuoden säästö, jäteveden virtaussuunta ylhäältä alas.

Jäteveden lämmöntalteenoton 1. vuoden säästö						
Käyttöveden määrä	100 l/hlö/vrk	110 l/hlö/vrk	120 l/hlö/vrk	130 l/hlö/vrk	140 l/hlö/vrk	
Jäteveden virtaussuunta	↓	↓	↓	↓	↓	
ΔT	25 °C	3 189 €	3 466 €	3 767 €	4 044 €	4 344 €
	20 °C	2 518 €	2 737 €	2 974 €	3 193 €	3 430 €
	15 °C	1 846 €	2 007 €	2 181 €	2 341 €	2 515 €
	10 °C	1 175 €	1 277 €	1 388 €	1 490 €	1 601 €

Taulukko 8. Ensimmäisen vuoden säästö, jäteveden virtaussuunta ylhäältä alas.

Jäteveden lämmöntalteenoton vuotuinen säästö						
Käyttöveden määrä	100 l/hlö/vrk	110 l/hlö/vrk	120 l/hlö/vrk	130 l/hlö/vrk	140 l/hlö/vrk	
Jäteveden virtaussuunta	↑	↑	↑	↑	↑	
ΔT	25 °C	3 478 €	3 795 €	3 953 €	4 427 €	4 743 €
	20 °C	2 542 €	2 773 €	2 889 €	3 235 €	3 466 €
	15 °C	1 806 €	1 970 €	2 052 €	2 299 €	2 463 €
	10 °C	1 070 €	1 168 €	1 216 €	1 362 €	1 459 €

6.6.3 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaikaa laskiessa on tiedettävä järjestelmän investointi- ja käyttökustannukset, sekä energian tuotto ja energian hinta. Tässä on myös otettava huomioon energian vuosittainen energian hinnan nousu. Laskennassa on käytetty vuotuisena energian hinnan nousuna 2 prosenttia vuodessa.

Investointikustannusten osalta mukaan laskettiin arvioitu pelkän poistoilmalämpöpumpun ja yhteisjärjestelmän lämpöpumpun kokoeron tuoman hinnanerotuksen verran, Ecowec hybridivaihtimen, tarvittavien töiden, sekä materiaalien kustannus, suunnittelun ja valvonnan kustannukset. KytKentätävän ollessa jäteveden tuonti alhaalta pumppaamon avulla ylös, mukaan laskettiin myös kytKentätävän vaatima repijäpumppu. Lämpöpumpun kompressorin tekninen käyttöikä on oletettu olevan 15 vuotta, joten kompressorin tai koko lämpöpumpun uusinta on huomioitu laskennassa. Järjestelmän investointikustannuksiksi arvioitiin 42760 € repijäpumpun kanssa ja ilman repijäpumpua 37760 €.

Käyttökustannuksia tulee mahdollisen repijäpumpun sähköntarpeesta, sekä pumpun ja hybridivaihtimen huoltokustannuksista. Lämpöpumpun sähköntarve on jätetty laskelmissa huomioimatta, koska se palvelee kuitenkin ensisijaisesti poistoilmajärjestelmää.

Repijäpumpun sähköntarve on hyvin pieni, eikä sillä ole käytännössä kannattavuuteen merkitystä. Repijäpumpua ei kohteeseen ole työn aikana vielä valittu, mutta usein hybridivaihtimeen on kytketty Grundfosin Multilift MD pumppaamo. Pumppaamossa on kaksi teholtaan 2,1 kW pumppua ja maksimivirtaama on 15,3 l/s, jolloin koko vuoden jätevesimäärän pumppaamiseen kuluu aikaa 40 – 60 tuntia ja sähköä kuluu 84 – 126 kWh. Sähkön ja sähkönsiirron yhteenlasketun hinnan ollessa 11 senttiä kilowattituntia kohden, tekee tämä 9,46 - 13,86 € vuodessa. (Oy Grundfos Pumput Ab:n www-sivut 2020; Helppolainen 2019)

Valmistajan mukaan Ecowec hybridivaihdin on lähes huoltovapaa ja referenssikoh-teista saaduista palautteista voidaan todeta, että lähes kaikki laitteet ovat toimineet huoltovapaasti koko toimintansa ajan. Huoltokuluiksi on laskettu pumppaamolle 150 € vuodessa ja vaihtimelle 100 € vuodessa. (Helppolainen 2019)

Kaava 15. Repijäpumpun sähkönkulutuksen kustannukset

$$\epsilon_v = \frac{Q_{Jv} \frac{l}{s} * 86400 * 365d}{Q_{v Pu} \frac{l}{s} * 3600} * \phi * 0,11 \text{ €/kWh}$$

jossa:

ϵ_v	vuodessa kulutetun sähkön hinta	(€)
Q_{Jv}	jätevesivirtaama sekunnissa	(l/s)
86400	muuntokerroin sekunneista päiviksi	(l/s)
$Q_{v Pu}$	pumpun maksimivirtaama sekunnissa	(l/s)
ϕ	repijäpumpun teho	(kW)

Kaava 16. Energian hinnannousu

$$K_n = K + K * \left(1 + \frac{p}{100}\right)^1 + K * \left(1 + \frac{p}{100}\right)^2 \dots K * \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n$$

jossa:

K_n	säästö n vuodessa	(€)
n	vuosimäärä	
K	säästö ensimmäiseltä vuodelta	(€)
p	vuotuinen hinnan nousu prosentteina	

Taulukoissa 9 ja 10 on laskettu järjestelmän takaisinmaksuaika eri vaihtoehdoille.

Taulukko 9. Järjestelmän takaisinmaksuaika, jäteveden virtaussuunta ylhäältä alas.

Järjestelmän takaisinmaksuaika						
Käyttöveden määrä	100 l/hlö/vrk	110 l/hlö/vrk	120 l/hlö/vrk	130 l/hlö/vrk	140 l/hlö/vrk	
Jäteveden virtaussuunta	↓	↓	↓	↓	↓	
ΔT	25 °C	12 v	11 v	10 v	9 v	9 v
	20 °C	14 v	13 v	12 v	12 v	11 v
	15 °C	19 v	17 v	16 v	15 v	14 v
	10 °C	27 v	25 v	24 v	22 v	21 v

Taulukko 10. Järjestelmän takaisinmaksuaika, jäteveden virtaussuunta alhaalta ylös.

Järjestelmän takaisinmaksuaika						
Käyttöveden määrä	100 l/hlö/vrk	110 l/hlö/vrk	120 l/hlö/vrk	130 l/hlö/vrk	140 l/hlö/vrk	
Jäteveden virtaussuunta	↑	↑	↑	↑	↑	
ΔT	25 °C	12 v	11 v	11 v	10 v	9 v
	20 °C	16 v	15 v	15 v	13 v	12 v
	15 °C	22 v	20 v	20 v	18 v	17 v
	10 °C	> 30 v	> 30 v	> 30 v	28 v	27 v

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä oli tarkoitus selvittää yleisesti jäteveden lämmöntalteenoton kannattavuus ja sen lisäksi kannattavuus poistoilmalämpöpumpun kanssa, sekä poistoilmalämpöpumpun ja aurinkokeräimien kanssa. Jäteveden lämmöntalteenotosta, varsinkin yhdistettynä aurinkokeräimiin, on kovin vähän vielä Suomessa tietoa ja käytössä olevia järjestelmiä asuinkerrostaloissa ei vielä ole montaa. Turun seudulla ei ole vielä ensimmäistäkään, kuten rakennusvalvonnan ensimmäisestä vastauksesta saattaa päätellä. Markkinoilla olevia järjestelmiä taloyhtiökokoluokkaan on hyvin vähän ja käytännössä ainoa saneerauskohteeseen sopiva on Ecowec hybridivaihdin. Suurimman osan muiden valmistajien järjestelmistä suuntaavat selkeästi suurempaan kokoluokkaan, kuten teollisuuteen tai laitoksiin, joissa jätevesivirtaamat ja lämpötilat antavat paremman hyödyn. Taloyhtiökokoluokkaan tarjolla olevista järjestelmistä ongelmiksi muodostuu jätevesien erottelu mustiin ja harmaisiin tai teknisesti hankalampi ylläpito.

Erilaiset määräykset ja ohjeistukset eri tahoilta on hyvä selvittää ennen järjestelmän suunnittelua. Jätevedenpuhdistamoilla ja energialaitoksilla saattaa olla jäteveden lämmöntalteenottoa rajoittavia ohjeistuksia paikkakuntakohtaisesti. Mahdollisuuksien mukaan kylmän ja lämpimän käyttöveden kulutustiedot ja jäteveden lämpötilamittaukset kannattaa suorittaa, sekä mahdollisen lämpöpumpun teho ja keruunesteen virtaus ja lämpötila, jotta päästäisiin luotettavampiin tuloksiin.

7.1 Tulosten analysointi

Laskennassa käytetyt lämpöpumpun keruupiirin lämmönsiirtonesteen lämpötila ja virtaama, sekä lämpimän veden ja jäteveden määrät perustuvat olettamuksiin ja tilastojen perusteella tehtyihin arvioihin, eikä välttämättä täysin vastaa todellisuutta. Valmistajan antamien käyrästöjen virhetarkkuus on tyypillisesti alle 10 prosenttia laskentamallin tuloksista, mutta saattaa olla myös enemmän. Vaikeinta arvioitavaa epävarmuutta kannattavuuteen aiheuttaa linjasaneerauksen yhteydessä asennettavat asuntokohtaiset vesimittarit, joiden käyttöönoton jälkeisen vedenkulutuksen putoaminen vaikuttaa takaisinmaksuaikaan jopa 4 vuotta. Selvästi suurinta hajontaa aiheuttaa jäteveden ja keruupiirin lämmönsiirtonesteen välinen lämpötila takaisinmaksuajassa, mutta todennäköisesti kuitenkin ΔT osuu 15 – 20 °C välille. Tätä vahvistaa vielä referenssikohteista

saatujen tietojen mukaan. ΔT ollessa 25 °C jäteveden jäätymisvaara on hyvin ilmeinen ja vastaavasti ΔT jäädessä vain 10 °C lämmönsiirtimen toiminta ei ole järkevissä mitasuhteissa. (Helppolainen 2019; Kuulasmaa puhelinkeskustelu ja sähköposti 20.8.2019)

Laskennassa jäteveden virtaus on muutettu tasaiseksi virtaukseksi, jota se todellisuudessa ei ole. Ryöppyinä kulkeva jäteveden vuoksi käytettävä lämpöpumppu tarvitsee ylimitoittaa, jotta se pystyisi ottamaan tehokkaasti lämpöä talteen. Jäteveden virtausuuntaa ajatellessa alhaalta ylöspäin on hyötysuhteen kannalta tehokkaampi. Tämä johtuu siitä, että jätevesi jää kierukkaan makaamaan, kunnes pumppu lykkää sen uuden tieltä pois. Näin lämmönvaihtoon jää enemmän aikaa, kuin siinä tapauksessa, että jätevesi vain kulkeutuu suoraan kierukan läpi. Repijäpumpun investointi on kuitenkin suhteellisen merkittävä ja tuo yhden huoltokohteen lisää. Tästä syystä pienemmillä jätevesimäärillä repijäpumpun hankinta saattaa olla kyseenalaista.

Lämpötilamittauksissa virheitä saattaa ilmentyä termoparin sijoituksesta lähelle valurautaputken pohjaa, koska kuitenkin jäteveden virratessa termopari on saattanut päästä liikkumaan ja ottamaan kontaktin esimerkiksi vielä lämpeämmän valurautaputken seinään ja näin ollen vääristää tuloksia. Vaikka sijoitus oli tarkoitus saada lähelle viemärin pohjaa, kuitenkin hyvin pienet määrät jätevettä on saattanut kuitenkin päästä anturin alitse.

7.2 Tulokset

Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmää tarkasteltiin osana energiatehokkuusratkaisuita. Energiatehokkuuteen tähtäävissä vaihtoehtoisissa poistoilmalämpöpumppu toimii ensisijaisena ja sen kanssa pohditaan liitettäväksi jäteveden lämmöntalteenottoa, sekä aurinkokeräimiä. RTC Vahanen Turku Oy:n energia-asiantuntija Markus Eklund on tehnyt kannattavuuslaskelmat poistoilmalämpöpumpulle ja aurinkokeräimille, sekä näiden yhdistelmälle. Liitteissä 10 ja 11 näkyy kaavio eri järjestelmien kumulatiivisista kustannuksista 25 vuoden jaksolla jäteveden virtaussuunnan otsikossa osoittaen. Kaaviossa on käytetty nykyistä vedenkulutusta ja vuotuisena energiantuottona ΔT arvojen 15 °C ja 20 °C antamien vuosituottojen keskiarvoa. Taulukot 11 ja 12 osoittaa

sen vuoden, kun järjestelmä on maksettu takaisin ja sinä vuonna säästetyn määrän euroissa verraten pelkkään kaukolämpöön ja myös sen vuoden, kun eri järjestelmien kannattavuudet kohtaa ja kyseisenä vuonna säästetyn määrän euroissa verrattavaan järjestelmään.

Taulukko 11. Eri järjestelmien takaisinmaksuajat ja kannattavuusvertailu jäteveden suunnan ollessa ylhäältä alas.

Järjestelmän takaisinmaksuaika	
Takaisinmaksuvuosi verrattuna kaukolämpöön	
Vaihtoehto 1	15
Vaihtoehto 2	14
Vaihtoehto 3	16

Kannattavuusvertailu vaihtoehtojen välillä	
Takaisinmaksuvuosi verrattuna vaihtoehtoon 1	
Vaihtoehto 2	12
Vaihtoehto 3	17

Takaisinmaksuvuosi verrattuna vaihtoehtoon 2	
Vaihtoehto 3	25

Vaihtoehto 1	KL + PILP
Vaihtoehto 2	KL + PILP + JVLTO
Vaihtoehto 3	KL + PILP + JVLTO + KERÄIN

Taulukko 12. Eri järjestelmien takaisinmaksuajat ja kannattavuusvertailu jäteveden suunnan ollessa alhaalta ylös.

Järjestelmän takaisinmaksuaika	
Takaisinmaksuvuosi verrattuna kaukolämpöön	
Vaihtoehto 1	15
Vaihtoehto 2	15
Vaihtoehto 3	16

Kannattavuusvertailu vaihtoehtojen välillä	
Takaisinmaksuvuosi verrattuna vaihtoehtoon 1	
Vaihtoehto 2	14
Vaihtoehto 3	18

Takaisinmaksuvuosi verrattuna vaihtoehtoon 2	
Vaihtoehto 3	25

Vaihtoehto 1	KL + PILP
Vaihtoehto 2	KL + PILP + JVLTO
Vaihtoehto 3	KL + PILP + JVLTO + KERÄIN

Tilaus kannattavuuden selvittämiseksi annettiin keväällä 2019 ja tulokset esiteltiin taloyhtiön hallitukselle kesän 2019 aikana ja taloyhtiölle marraskuussa 2019. Taloyhtiölle piti esittää tulokset kannattavuuslaskelmista ja mahdollisten tulevien muutoksien vuoksi tähän esitettiin erilaisia variaatioita erilaisista tilanteista, jotta taloyhtiö voisi ratkaista päätöksen järjestelmän hankkimisesta tiedostaen mahdolliset riskit. Laskennan pohjalta taloyhtiölle annetussa arviossa järjestelmää pidettiin todennäköisesti kannattavana, sisältäen pienen riskin 15 vuoden takaisinmaksuajan ylittämiseen. Arvio perustuu todennäköiseen ΔT arvoon, sekä olettamukseen vedenkulutuksen vähenemisen pysymisestä vähäisenä jo nykyisen kulutuksen ollessa tilastollista keskiarvoa matalampi, sekä valmistajan kanssa käytyyn keskusteluun laskennan tuloksista. Valmistajan arvion mukaan laskelmat ovat alakanttiin verraten laskentamalliin. Arviona takaisinmaksuajaksi taloyhtiölle annettiin 12 – 16 vuotta. Ecowec lämmönvaihtimen tekninen käyttöikä on jopa 50 vuotta, joten vaikka lähtökohtaisesti kannattavuustarkastelua kannattaa suorittaa 15 vuoden rajapyykkiä silmällä pitäen, niin tästä laitteistosta on hyötyä vielä pitkään sen jälkeenkin. Taloyhtiölle tehdyn tuloksien esittelyn lopputuloksena taloyhtiön hallitus on päättänyt pyytää tarjouksen jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän rakennuttamisesta ja taloyhtiö päättää tarjoukset saatuaan rakennuttamisesta.

Tämän opinnäytetyön pohjalta RTC Vahanen Turku Oy:lle jää kohtalaisesti tietoa ja työn aikana kehitetty Excel –taulukko kannattavuuslaskelmia varten.

LÄHTEET

Ahti, P. 2019. Kunnossapitopäällikkö, Turun Vesihuolto Oy. Kaksi puhelinkeskustelua. (21. Elokuuta 2019 ja 27. Elokuuta 2019).

Beqiri, S. 2019. Tarkastusinsinööri, Turun Rakennusvalvonta. Kolme puhelinkeskustelua. (27. Elokuuta 2019, 10. Syyskuuta 2019 ja 12. Syyskuuta 2019). Sähköpostikeskustelu. Vastaanottaja: sadri.beqiri@turku.fi. Lähetetty tiistai 27. Elokuuta 2019 12.38. Viitattu 23. Huhtikuuta 2020.

Ecopal Oy:n verkkosivut. (30. Heinäkuuta 2019). <https://www.ecopal.fi/>.

Eklund, M. 2019. Energia-asiantuntija, RTC Vahanen Turku Oy. Turku. Henkilökohmainen tiedonanto.

Finess Energy Oy:n verkkosivut. (29. Tammikuuta 2020). <https://www.finess.fi/fi/>.

Grant Instruments Ltd:n verkkosivut. (24. Huhtikuuta 2020). <https://www.grant-instruments.com/>.

Helppolainen, J. 2019. Toimitusjohtaja, Ecopal Oy. Kaksi puhelinkeskustelua. (30. Heinäkuuta 2019 ja 14. Lokakuuta 2019). Sähköpostikeskustelu. Vastaanottaja: jouni.helppolainen@ecopal.fi. Lähetetty 31. Heinäkuuta 2019 14.42. Kaksi kokousta. 26. Syyskuuta 2019 ja 14. Lokakuuta 2019. RTC Vahanen Turku Oy:n toimitilat. Turku.

Hydropress HUBER Ab:n verkkosivut. (29. Tammikuuta 2020). <https://www.huber.fi/>

Kauppi, M. 2020. Asiakaspalvelupäällikkö, Wavin Finland Oy. Sähköpostikeskustelu. Vastaanottaja: myynti@wavin.com. Lähetetty maanantai 20. Huhtikuuta 2020 15.18. Viitattu 20. Huhtikuuta 2020.

Kuulasmaa, I. 2019. Isännöitsijä, Keski-Suomen Tilivalvonta Oy. Puhelinkeskustelu. (20. Elokuuta 2019). Sähköpostikeskustelu. Vastaanottaja: toimisto@tilivalvonta.fi. Lähetetty tiistai 20. Elokuuta 2019 13.43. Viitattu 23. Huhtikuuta 2020.

Levomäki, M. 2019. Toimitusjohtaja, Turun Seudun Puhdistamo Oy. Sähköpostikeskustelu. Vastaanottaja: turunseudunpuhdistamo@turku.fi. Lähetetty 20. Elokuuta 2019 15:18. Viitattu 22. Huhtikuuta 2020.

Motiva Oy:n verkkosivut. (10. Joulukuuta 2019). <https://www.motiva.fi>.

Oy Grundfos Pumput Ab:n verkkosivut. (24. Huhtikuuta 2020). <https://fi.grundfos.com/>

Pietiko Oy:n verkkosivut. (24. Huhtikuuta 2020). <https://www.pietiko.fi/>

Rakennusten kaukolämmitys. 2013. Julkaisu K1. Helsinki. Energiateollisuus ry.

Suomen EnergiaTehdas Oy:n verkkosivut. (29. Tammikuuta 2020) <https://energia-tehdas.fi/>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemäri-laitteistoista. 2017. 1047/2017.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemäri-laitteistoista. 2017. 1047/2017. Vesi- ja viemäri-laitteistot -opas (20. Huhtikuuta 2020) <https://www.talotekniikkainfo.fi/>

Talotekniikkalehti, S. 2016. Tavalliset asuintalot energiatehokkaiksi, Hyvä ja paha K1. Viitattu 22.4.2020. <https://talotekniikka-lehti.fi/>.

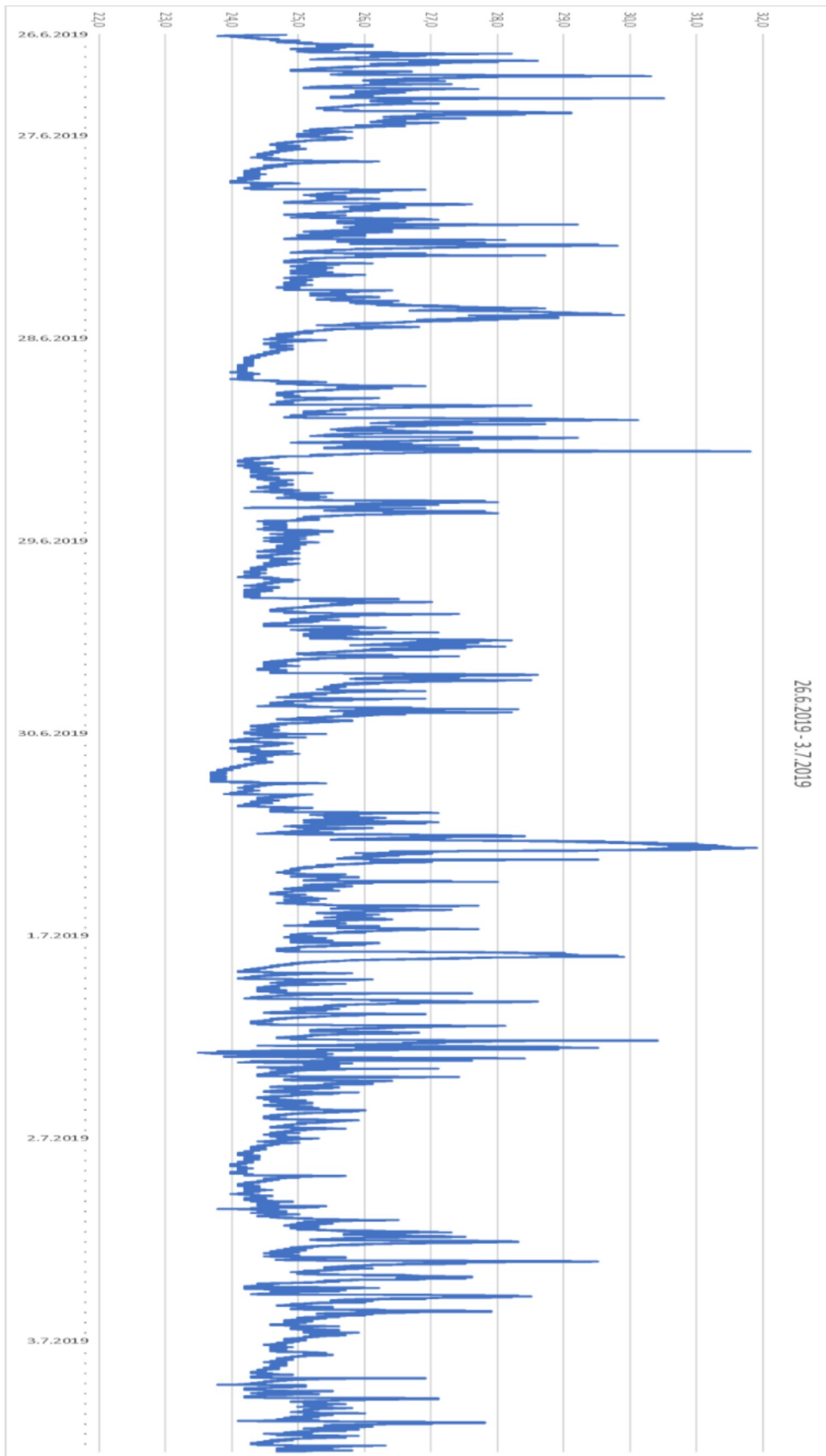
Thermia Finland Oy:n verkkosivut. (21. Huhtikuuta 2020). <https://www.thermia.fi/>

Turku Energia Oy:n verkkosivut. (28. Elokuuta 2019). <https://www.turkuenergia.fi/>

Veijalainen Ari. 2019. Tarkastuspäällikkö, Turku Energia Oy. Puhelinkeskustelu. (21. Elokuuta 2019).

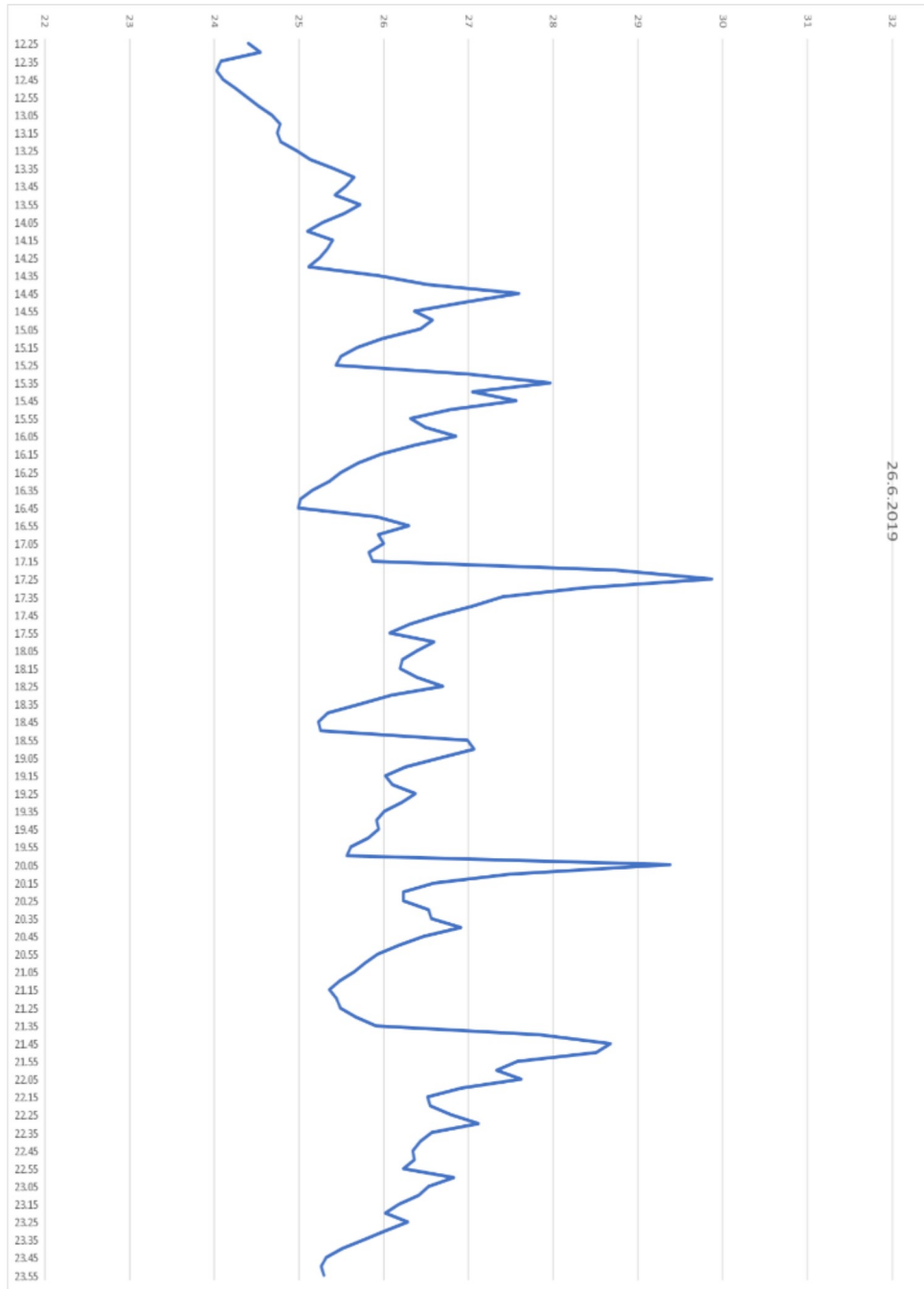
LIITE 1

Liite 1. Liitteessä on jäteveden lämpötilamittaukset viikon ajalta sekunnin intervallilla.



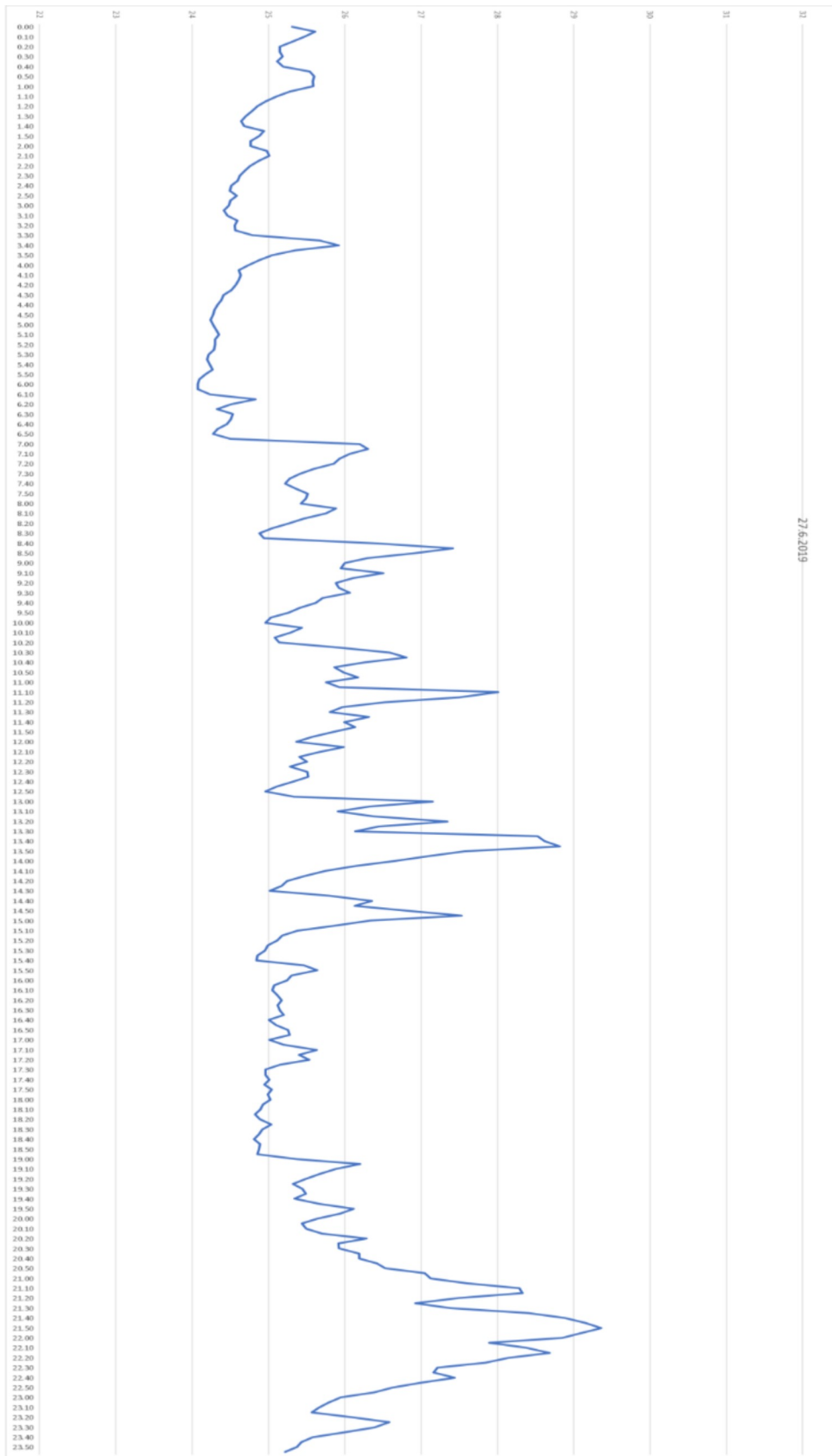
LIITE 2

Liite 2. Liitteessä on 26.6.2019 jäteveden lämpötilamittaukset 5 minuutin keskiarvolla.



LIITE 3

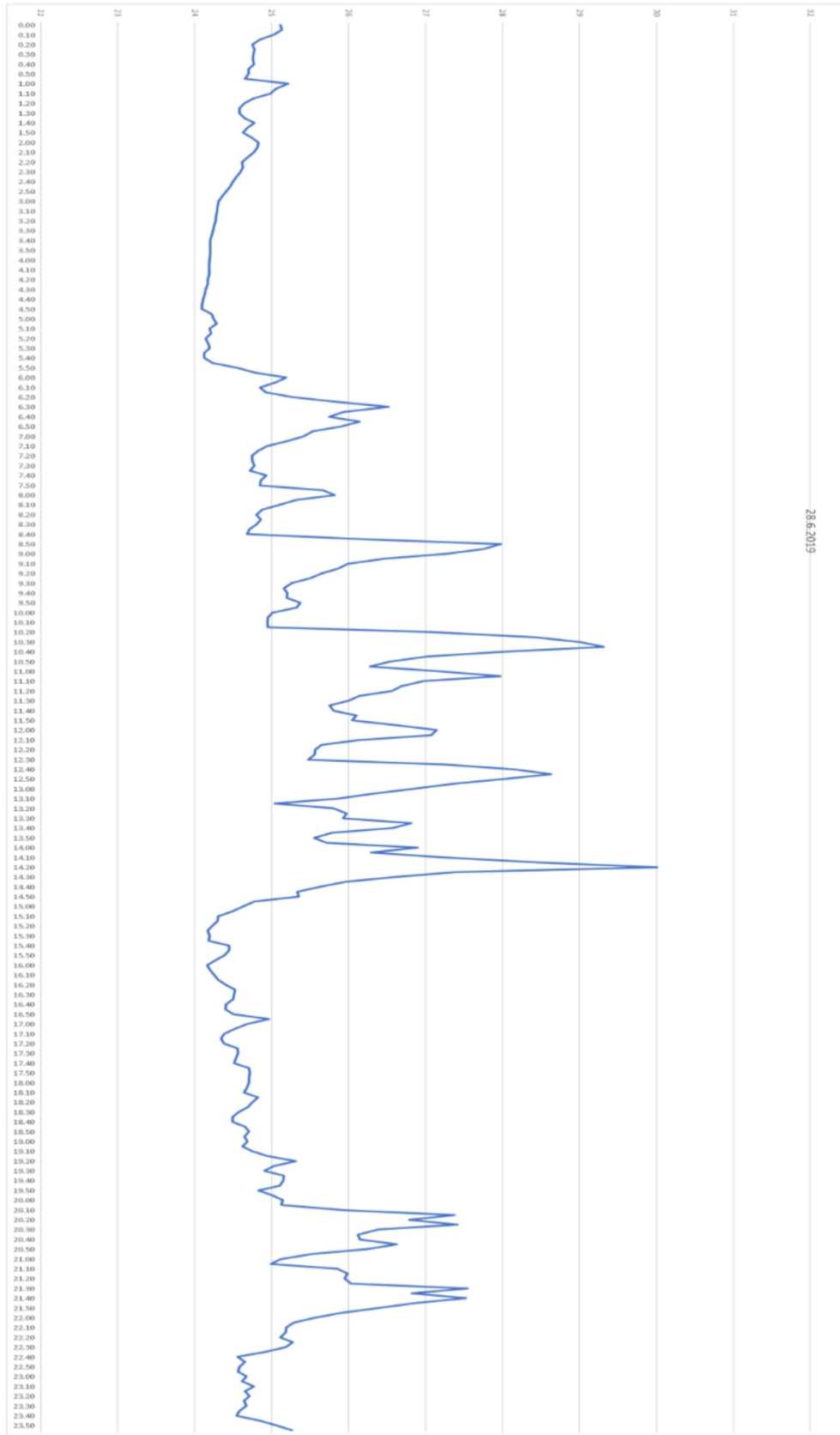
Liite 3. Liitteessä on 27.6.2019 jäteveden lämpötilamittaukset 5 minuutin keskiarvolla.



27.6.2019

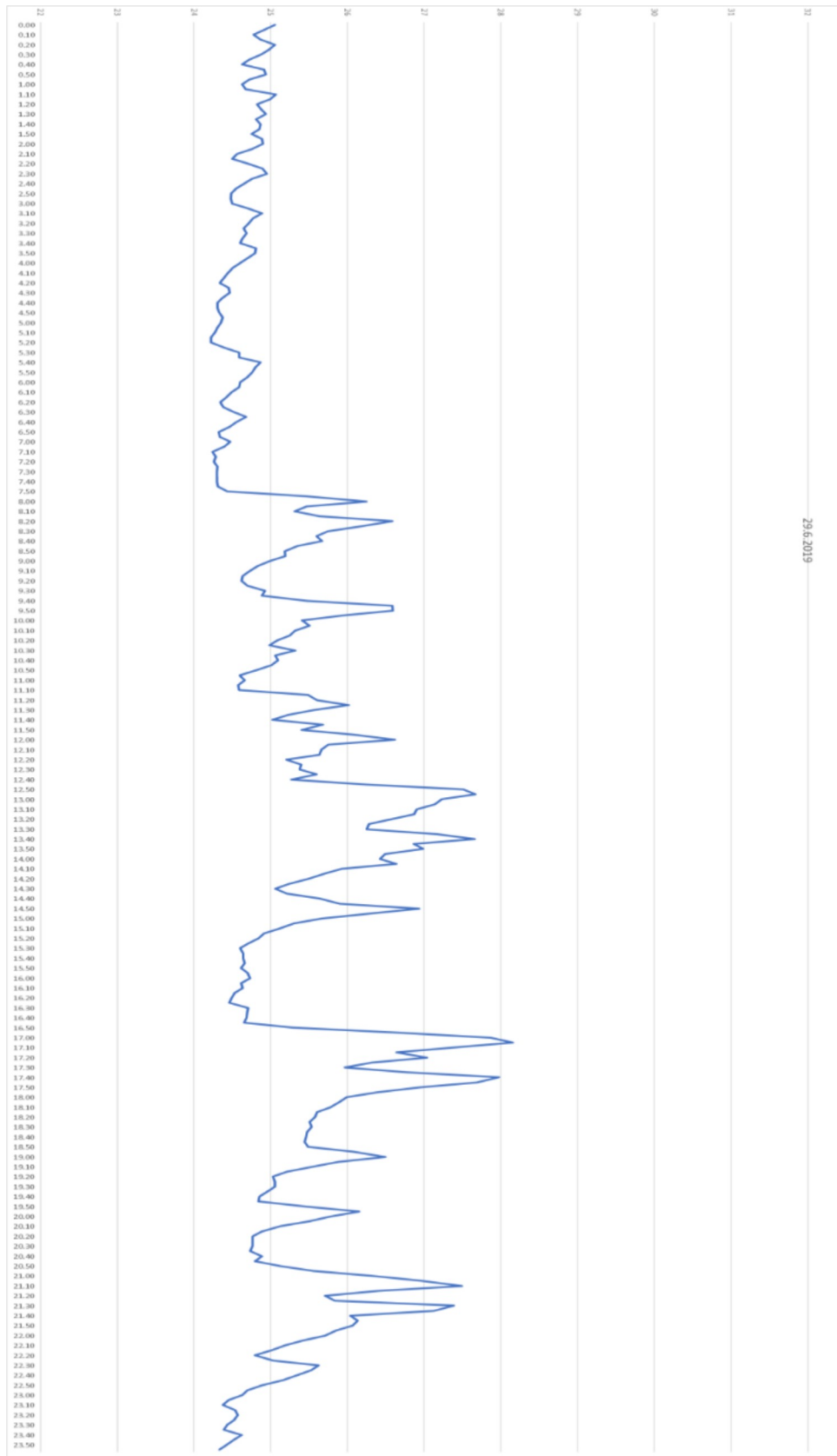
LIITE 4

Liite 4. Liitteessä on 28.6.2019 jäteveden lämpötilamittaukset 5 minuutin keskiarvolla.



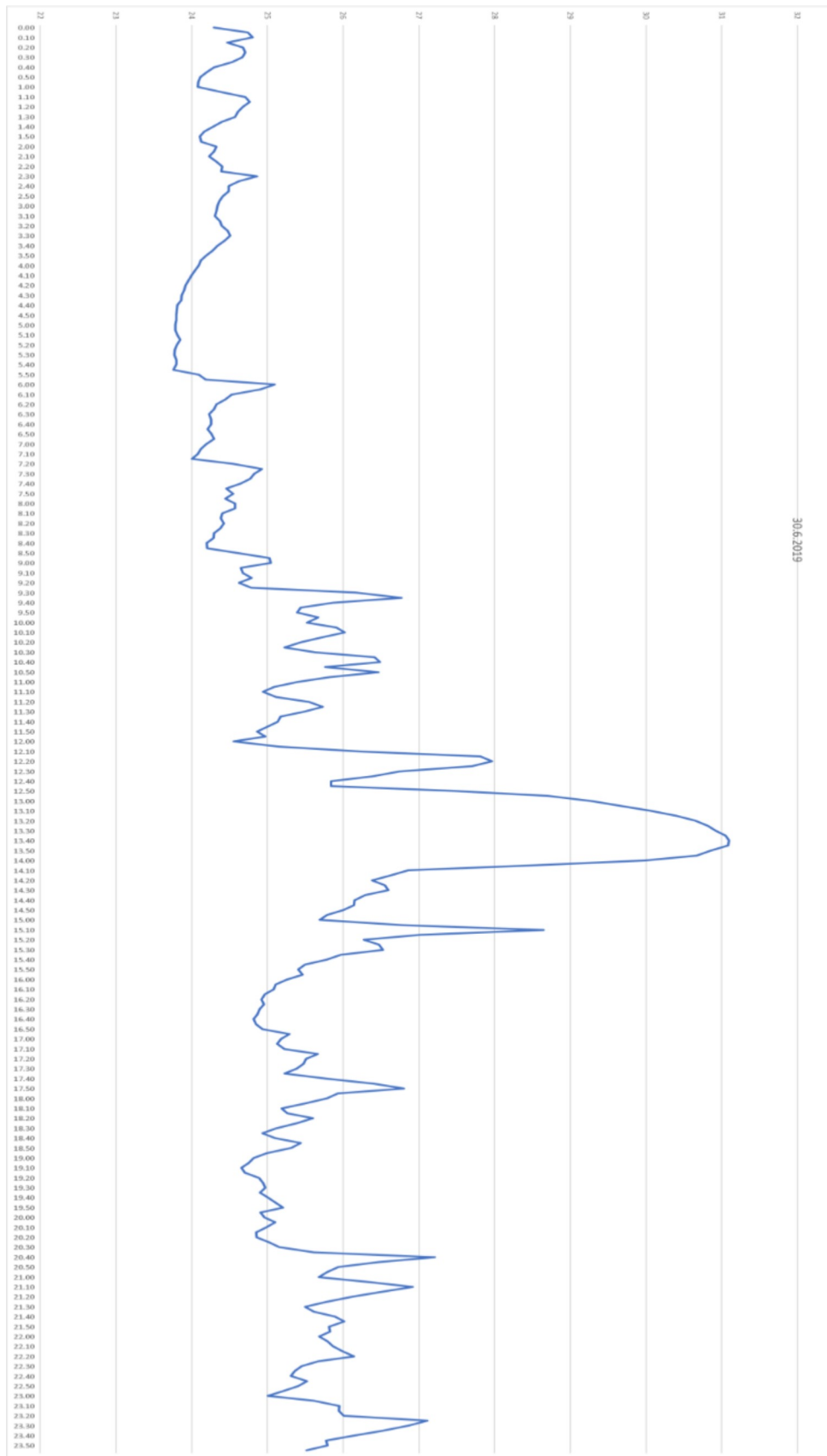
LIITE 5

Liite 5. Liitteessä on 29.6.2019 jäteveden lämpötilamittaukset 5 minuutin keskiarvolla.



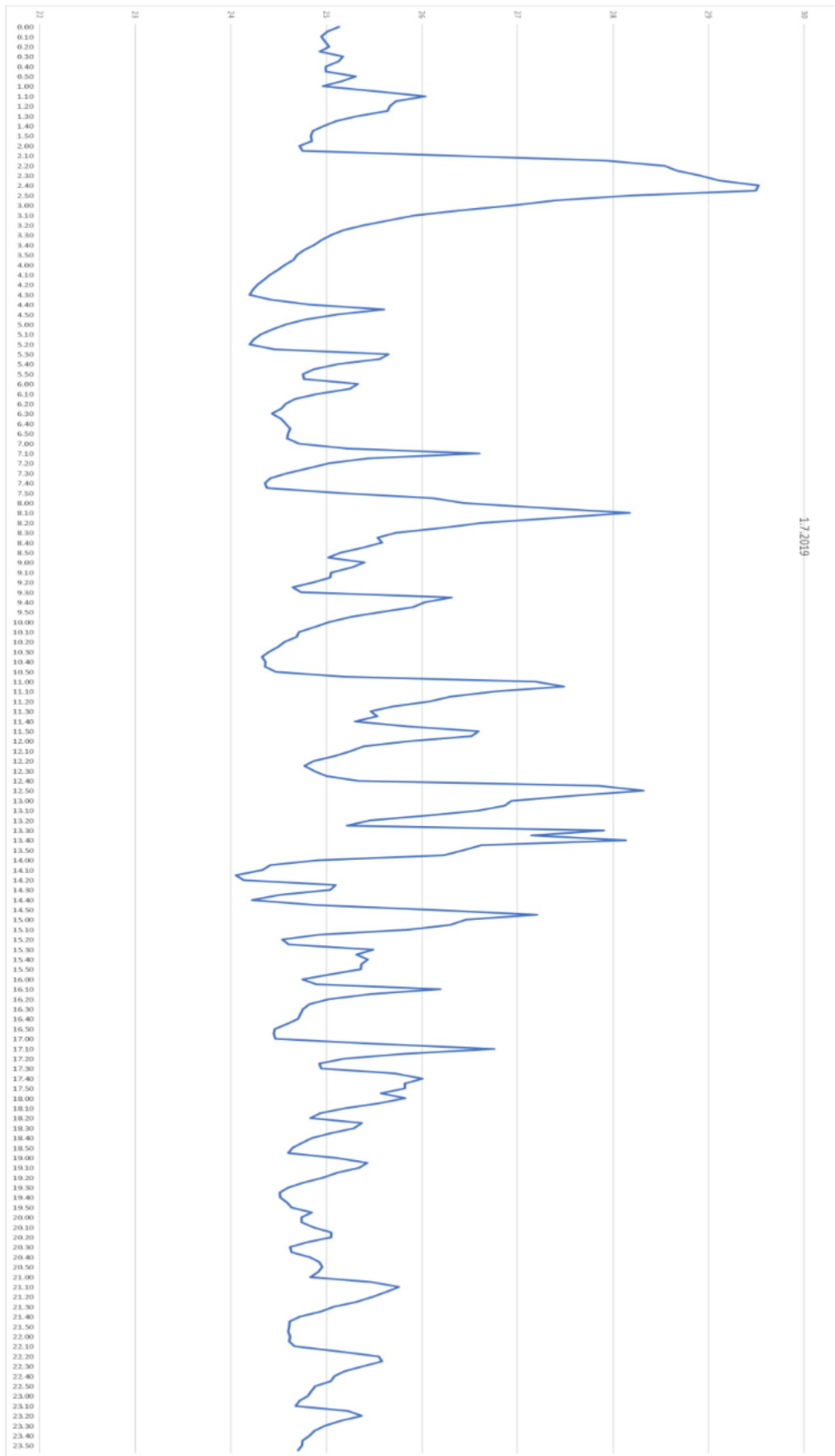
LIITE 6

Liite 6. Liitteessä on 30.6.2019 jäteveden lämpötilamittaukset 5 minuutin keskiarvolla.



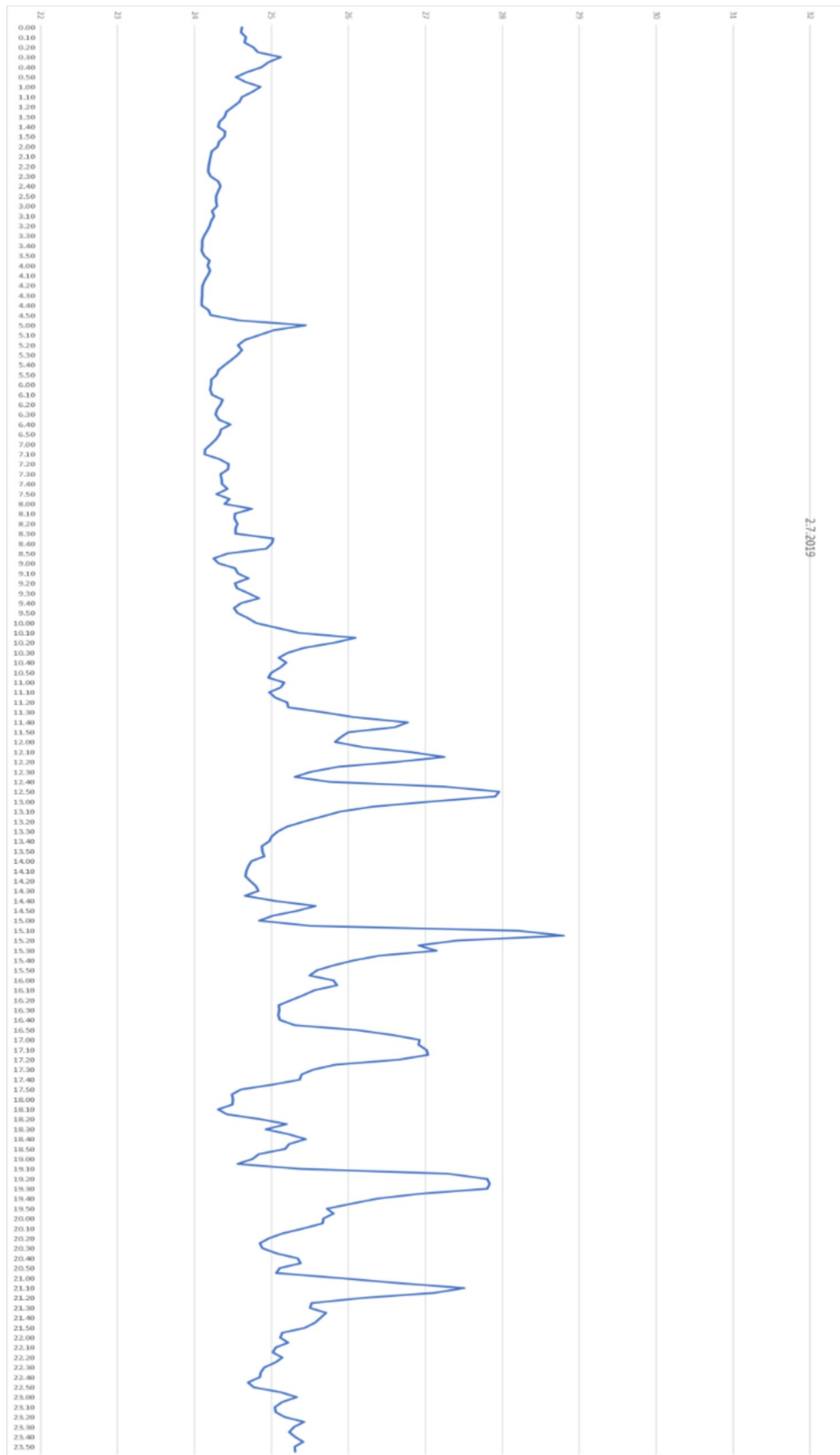
LIITE 7

Liite 7. Liitteessä on 1.7.2019 jäteveden lämpötilamittaukset 5 minuutin keskiarvolla.



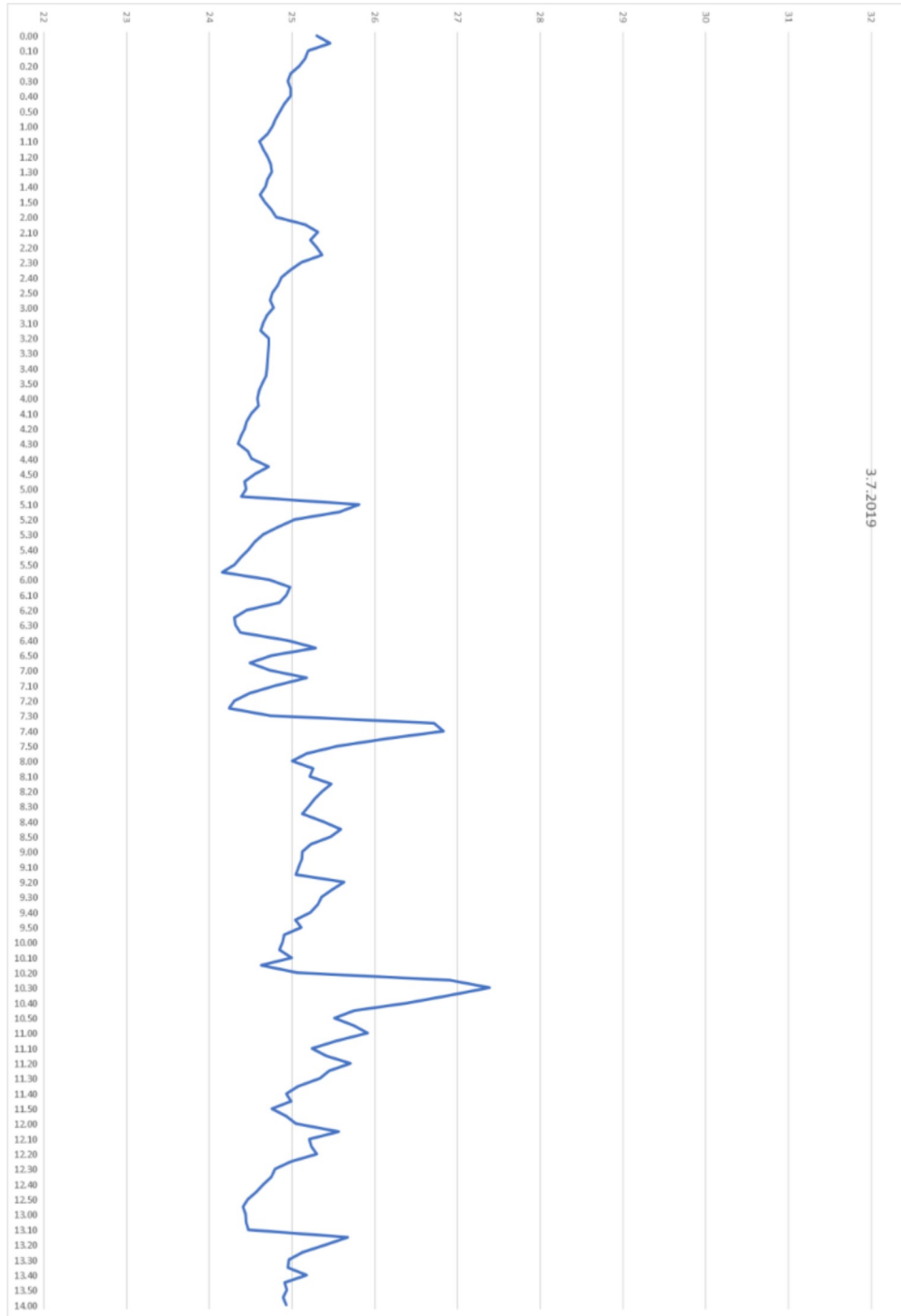
LIITE 8

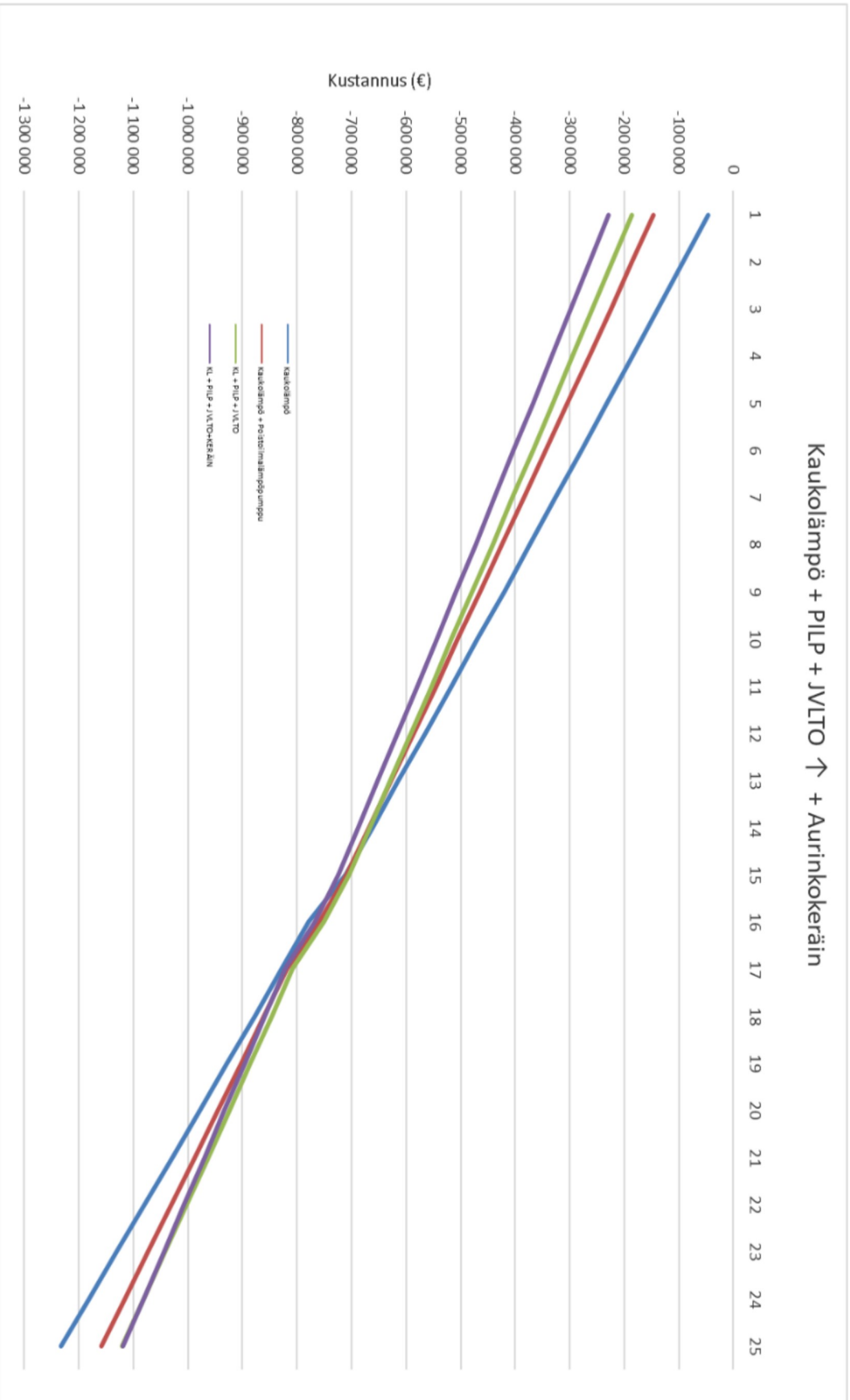
Liite 8. Liitteessä on 2.7.2019 jäteveden lämpötilamittaukset 5 minuutin keskiarvolla.



LIITE 9

Liite 9. Liitteessä on 3.7.2019 jäteveden lämpötilamittaukset 5 minuutin keskiarvolla.





LIITE11

