

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2020

Markus Lehtomaa

# JÄTEVEDEN LÄMMÖNTALTEENOTON HYÖDYNTÄMINEN KERROSTALOSSA

  
**TURKU AMK**  
TURKU UNIVERSITY OF  
APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Energia- ja ympäristötekniikka

2020 | 38 sivua, 3 liitesivua

Markus Lehtomaa

# JÄTEVEDEN LÄMMÖNTALTEENOTON HYÖDYNTÄMINEN KERROSTALOSSA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia jäteveden lämmöntalteenoton mahdollisuuksia ja sen hyödyntämistä käyttöveden esilämmityksessä opinnäytetyön kohteessa Maamiesten kauppatalo Turku. Työssä tehtyjen laskelmien pohjalta pyrittiin arvioimaan järjestelmän hankinnan rahallista kannattavuutta kyseisessä kohteessa. Investoinnin suuruutta arvioitaessa ei otettu huomioon opinnäytetyön kohteessa vaadittavia muutoksia, kuten viemärijärjestelmän keskittämistä.

Työhön koottiin tietoa aihepiirin kirjallisuudesta ja verkkoartikkeleista, sekä haastattelemalla sähköpostitse Turun seudun puhdistamonlaatu- ja ympäristöpäällikkö Jarkko Laantia ja sähkökäytönjohtajaa Esa Malmikareta. TSP Oy vastaa Kakolan jätevedenpuhdistamon toiminnasta. Työssä tehtiin laskelmia kiinteistön käyttöveden kokonaiskulutuksen pohjalta ja käytettiin rakennusmääräys D3:ssa esitettyjä arvoja jäteveden virtaaman selvittämiseen. Lämmön siirtimenä toimi Ecowec R3- jäteveden lämmönsiirrin. Siirtimen tehon laskemisessa käytettiin valmistajan ilmoittamaa tehomitoitustaulukkoa.

Lopputuloksena järjestelmän takaisinmaksuajaksi saatiin noin 26 vuotta. Järjestelmän arvioitiin maksavan 48 000 euroa.

ASIASANAT:

lämmöntalteenotto, lämmönsiirrin, lämpöpumppu, jäteveden lämmöntalteenotto.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and environmental engineering

2020 | 38, 3

Markus Lehtomaa

## WASTEWATER HEAT RECOVERY UTILIZATION IN APARTMENT BUILDING

The purpose of this thesis was to study heat recovery from wastewater and its utilization possibilities in municipal water preheating. The viability of this investment is evaluated via the calculations done in this thesis. When considering the amount of the investment, the possible changes needed in the sewerage system were not taken into account. As an example, all wastewater pipelines should be combined before connecting to municipal sewerage system.

The wastewater flow rate was solved based on the total water consumption in the building and guideline values, which were given in building regulation D3. The Ecowec R3 was chosen as the heat exchanger. The manufacturer's sizing chart was used to figure out the heat exchanger's power output.

Research done in this thesis was done by using literature, web articles and an interview with Turun seudun puhdistamo via email. The interviewed persons were Quality and Environmental Manager Jarkko Laanti and Electricity Usage Manager Esa Malmikare. Turun seudun puhdistamo is responsible for wastewater treatment at the Kakola wastewater treatment plant.

The total cost for the heat recovery system was estimated at 48 000€. The payback period for the heat recovery system was approximately 26 years.

### KEYWORDS:

heat recovery, heat exchanger, heat pump, wastewater heat recovery

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 LÄMMÖNTALTEENOTTO JÄTEVEDESTÄ</b>	<b>2</b>
2.1 Taustatietoa	2
1.1 Vedenkulutus ja siihen sidottu energia	3
2.2 Esimerkkejä jäteveden LTO:sta	6
2.2.1 Erilaisia lämmöntalteenottojärjestelmiä Suomessa	6
2.2.2 Kakola Turku	9
2.2.3 Sokos Hotel Lahden Seurahuone	10
<b>3 LÄMMÖNSIIRIN JA LÄMPÖPUMPPU</b>	<b>11</b>
3.1 Lämmönsiirin	11
3.1.1 Rekuperatiivinen lämmönsiirto	12
3.2 Lämpöpumppu	14
<b>4 JÄTEVEDEN LAINSÄÄDÄNTÖ JA MÄÄRÄYKSET</b>	<b>16</b>
<b>5 JÄTEVEDEN LÄMMÖNTALTEENOTON HYÖDYNTÄMISTAPOJA</b>	<b>18</b>
5.1 Maalämpö	18
5.2 Kaukolämpö	18
5.3 Käyttöveden esilämmitys	20
5.4 Siirtimen ylimitoitus	22
5.4.1 Siirtimien rinnankytkentä	22
5.5 Viemärintitavat ja niiden vaikutus	22
<b>6 LASKELMAT</b>	<b>24</b>
6.1 Koko vuosi	24
6.1.1 Veden kulutus	25
6.1.2 Energia sisältö	26
6.2 Järjestelmän teho	28
6.3 Takaisinmaksuaika	29
<b>7 TOTEUTUKSEN HUOMIOITA</b>	<b>32</b>

7.1 Veden lämpötilan vaikutus	32
7.1.1 Vedenpuhdistamo	32
7.1.2 Typen poisto	33
7.2 Ongelmakohdat	34
7.2.1 järjestelmän huoltotarpeet	35

## **8 PÄÄTELMÄT JA POHDINTAA**

**36**

## **LÄHTEET**

**38**

## **LIITTEET**

- Liite 1. Laskelmat Excel
- Liite 2. Käyttöveden kulutus
- Liite 3. Mitoitustaulukko

## **KUVAT**

Kuva 1 Lämmöntalteenotto paikallisesti, viemäriverkosta ja jätevedenpuhdistamolla.	5
Kuva 2 Käytetty suihkuvesi kulkeutuu siirtimen kautta viemäriin (Ensavetec 2016).	6
Kuva 3 Ecowec-lämmönsiirrin (Wasenco 2020).	7
Kuva 4 Siirtimen kytkentäesimerkki lämpöpumpulle, jäteveden virratessa siirtimessä ylhäältä alas (Wasenco 2020).	8
Kuva 5 Kakolan jätevedenpuhdistamon LTO:n toimintaperiaate (Niemela, Saarela. 2014).	9
Kuva 6 Myötävirta, vastavirta, ristivirta ja myötävastavirta.	12
Kuva 7 Periaatekuva putkilämmönsiirtimestä ja vaippaputkilämmönsiirtimestä (dairy and food engineering 2013).	13
Kuva 8 Tulistettu Ideaalinen höyryprosessi (Aittomäki 1996).	14
Kuva 9 Ympäristöministeriön esimerkki terveydelle haitallisten aineiden pääsyn estosta vesilaitteistoon (D1/2007, 8).	16
Kuva 10 Maalämpökytkennän periaate.	18
Kuva 11 Esimerkkikytkentä rakennuksen tilojen lämmittämiseen (K1/2013, 89).	19
Kuva 12 Esimerkkikytkentä rakennuksen käyttöveden lämmitykseen (K1/2013, 89).	20
Kuva 13 Legionellien kasvu eri lämpötiloissa (Talotekniikka info 2020).	21
Kuva 14 Kuvaaja lämpötilan muutoksen vaikutuksesta typenpoistoon (Water research 39 2005).	33
Kuva 15 Lämmönvaihtimen kokonaislämmönsiirtokerroin muodostuu vaihtimen kaikista resistansseista (Kothandaraman 2006, 521).	34

## KAAVIOT

Kaavio 1 Käyttöveden kokonaiskulutus asuntojen ja liiketilojen mukaan sekä yhteenlaskettu kokonaiskulutus.	26
Kaavio 2 Jäteveden sisältämä energiapotentiaali vuosina 2016-2019.	27
Kaavio 3 Vertailu jäteveden energiasisällön ja LTO-järjestelmän tuottaman hyödyn välillä.	28
Kaavio 4 Jäteveden LTO:n tuottama säästö kaukolämmön kulutuksesta keskiarvolla vuositasolla.	29

## TAULUKOT

Taulukko 1 Tuntuvan lämmön väliaineita (VTT, 2003)	3
Taulukko 2 Rakennusten käyttöaika ja käyttöaste eri käyttötarkoituksilla	25

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

<b>°C</b>	Celsius aste, lämpötilan yksikkö
<b>COP</b>	Hyötysuhde (Coefficient Of Performance)
<b>SCOP</b>	Vuosihyötysuhde (Seasonal Coefficient Of Performance)
<b>kJ</b>	Kilojoule, energian yksikkö
<b>kW</b>	Kilowatti, tehon yksikkö
<b>kWh</b>	Kilowattitunti, energian yksikkö
<b>Käyttövesi</b>	Puhdas vesi, joka kiertää vesijohdoissa.
<b>LTO</b>	Lämmöntalteenotto
<b>m<sup>2</sup></b>	Neliometri, pinta-alan yksikkö
<b>m<sup>3</sup></b>	Kuutiometri, tilavuuden yksikkö
<b>MWh</b>	Megawattitunti, energian yksikkö
<b>Nitrifikaatio</b>	Osa typen kiertoa
<b>Tehollinen tilavuus</b>	Nesteen tilavuus, jonka verran pumppu tyhjentää säiliötä käyntikerran aikana.

# 1 JOHDANTO

Työn tilaajana toimii Planetcon Oy, ja sitä ohjaa Talotekniikka-asiantuntija Veli-Matti Lehtonen. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, onko kannattavaa hankkia opinnäytetyön kohteeseen Maamiesten kauppataloon jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmä. LTO-järjestelmän on tarkoitus toimia käyttöveden esilämmityksessä ja vähentää kaukolämmön kulutusta. Työssä selvitetään laskennallisesti, kuinka paljon LTO-järjestelmän avulla voi saada energiankulutusta vähennettyä. Samalla tulee selvitettyä, onko systeemin hankkiminen taloyhtiön järkevää ja taloudellisesti kannattavaa. Hankinnan kannattavuutta arvioidaan takaisinmaksuajan avulla.

Opinnäytetyössä tutustutaan lyhyesti muutamiin olemassa oleviin jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiin ja jäteveden LTO:n toteutukseen vaikuttavaan lainsäädäntöön. Lisäksi työssä perehdytään LTO-järjestelmän olennaisimpiin komponentteihin, kuten lämmönsiirtimeen ja lämpöpumppuun.



## 2 LÄMMÖNTALTEENOTTO JÄTEVEDESTÄ

### 2.1 Taustatietoa

Opinnäytetyön kohteena toimii Maanmiesten kauppatalo Turussa. Kiinteistön omistaa eläkevakuutusyhtiö Veritas. Rakennukseen kuuluu elokuvateatteri, kahvila, toimistotiloja ja lisäksi yksityisasuntoja. Rakennus on rakennettu vuonna 1926. Maanmiestentalon rakennusvuonna rakennusmääräykset eivät ole olleet yhtä tiukat kuin nykyisin eikä niissä siksi ole huomioitu kaikkia nykymääräysten mukaisia seikkoja. Tavoitteena työssä on tutkia kyseisen kiinteistön mahdollisuuksia toteuttaa ekologisia arvoja jäteveden sisältämää lämpöenergiaa hyödyntämällä. Tämän lisäksi työssä tutustaan yleisellä tasolla jäteveden lämmöntalteenottotekniikkaan ja aikaisempiin vastaaviin toteutuksiin.

Jäteveden lämmöntalteenotto on Suomessa asuinrakennuksissa uutta, mutta järjestelmien kehittymisen ja uusien valmistajien myötä, on jäteveden sisältämän lämpöenergian hyödyntämistä alettu Suomessakin toteuttamaan asuinrakennuksissa.

Maanmiesten kiinteistössä viemärointiä ei ole keskitetty ennen yhdistymistä kaupungin viemäriverkoston, joka aiheuttaa ongelmia opinnäytetyön käytännön toteutuksessa. Työssä hyödynnetään laskelmissa kiinteistön vesimittarin käyttöveden kulutustietoja ja jäteveden virtaama selvitetään laskennallisesti D3-ohjearvoja apuna käyttäen. Lämmönsiirtimen teho selvitetään valmistajan mitoitustaulukon avulla.

## 1.1 Vedenkulutus ja siihen sidottu energia

Vesi on aineena turvallinen, ja se omaa hyvän lämpökapasiteetin ja toimintavarmuuden. Siksi vesi on erinomainen lämpöenergian siirto- tai väliaikainen varastointiaine. Vettä käytetään monissa teollisuuden prosesseissa näiden syiden takia. Taulukossa 1 on vertailtu erilaisia yleisiä tuntuvaan lämmön väliaineita.

Taulukko 1 Tuntuvaan lämmön väliaineita (VTT, 2003).

Väliaine	Lämmönjohtavuus (W/m K)	Lämpökapasiteetti (kJ/kg C)	Tilavuuden lämpökapasiteetti (kWh/ m <sup>3</sup> C)
Graniitti	2,9-4,2	830	0,62
Hiekkakivi	3,0-5,0	730	0,55
Savilisuke	1,7-3,5	850	0,66
Kalkkikivi	1,7-3,0	840	0,63
Kvartsiitti	5,0-7,0	790	0,58
Savi	0,85-1,1		0,81
Lieju	1,5-2,5		0,61-0,83
Vesi	0,62	4180	1,18

Jäteveden lämmöntalteenoton potentiaali pohjautuu veden korkeaan lämpökapasiteettiin. Usein lämmitettyä käyttövettä käytetään vain hyvin lyhyen hetken aikaa, jonka jälkeen lämmitetty käyttövesi ajautuu suoraan viemäriin, eikä siihen käytettyä lämpöenergiaa monissa tapauksissa uudelleen hyödynnetä. Turussa jäteveden sisältämää lämpöenergiaa otetaan talteen Kakolan jätevedenpuhdistamolla ja sitä hyödynnetään kaukolämmössä. (ks. tarkemmin luku 2.2.2)

Veden lämmittämiseen vaadittava energiamäärä on laskettavissa kaavalla:

$$\varphi = \frac{\rho * V * C_p * \Delta T}{3600} \quad 1$$

jossa

- $\varphi$  = lämpöenergia kWh
- $\rho$  = tiheys kg/ m<sup>3</sup>
- $V$  = tilavuus m<sup>3</sup>
- $C_p$  = ominaislämpökapasiteetti kJ/kg°C
- $\Delta T$  = lämpötilaero °C
- 3600 = yksikkömuutos kJ -> kWh

Esimerkki:

- 1 m<sup>3</sup> 5 °C kylmää käyttövettä
- Lämmitetään 55 °C
- Veden tiheytenä käytetään 1000 kg/m<sup>3</sup>

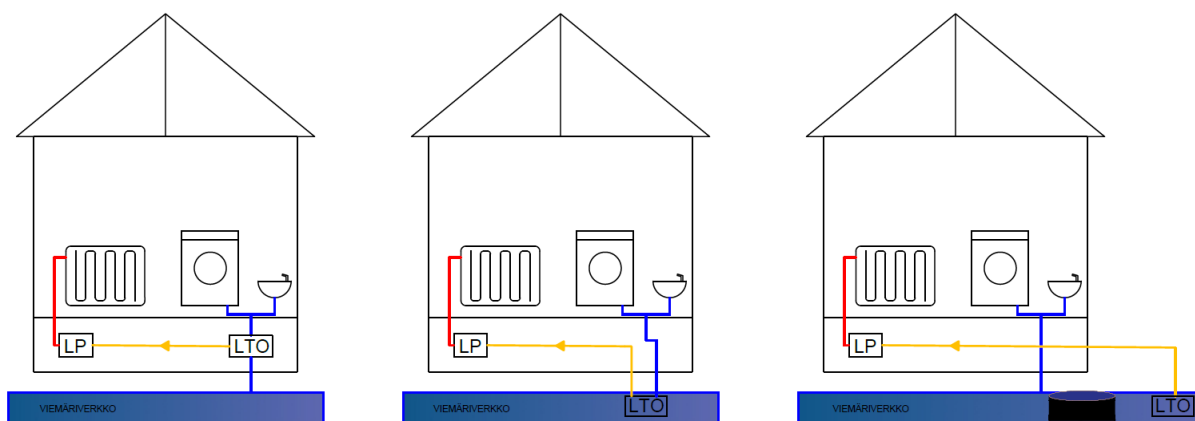
1 m<sup>3</sup> 5 °C kylmää käyttövettä vaatii 58 kWh verran lämpöenergiaa saavuttaaksensa lämpimän käyttöveden 55 °C lämpötilan.

Noin 30 % käytetystä lämpöenergiasta käytetään käyttöveden lämmittämiseen asuinrakennuksissa ja sitä kautta se päästetään viemäriverkostoon. Energiaa on pystytty jo pidempään ottamaan talteen jätevedenpuhdistamoilla puhdistetusta jätevedestä. Asuinrakennuksissa lämmöntalteenottoa ei ole juurikaan tehty talokohtaisen vedenpuhdistuksen järjestämisen korkeiden kustannusten vuoksi. Nykyisillä järjestelmillä on kuitenkin mahdollista ottaa energiaa talteen jo veden käyttökohteessa ilman erillistä puhdistusta. Jätevedenlämmöntalteenottoa voidaan yhdistää myös muihin tapoihin ottaa lämpöä talteen, kuten aurinkolämpöön ja poistoilman LTO:oon. Poistoilman- ja jäteveden LTO:n yhdistämisellä on mahdollista vähentää päälämmitysjärjestelmän käyttöä 80 %. (Ecopal 2019.)

Jätevedestä pystytään ottamaan energiaa talteen useassa sen vaiheessa. Ensimmäinen mahdollinen vaihe on ottaa energiaa talteen välittömästi tuotetun jäteveden lähteen kohdalta. Opinnäytetyössäni käsittelen juuri tätä vaihetta. Tällöin jäteveden virtaama rajoittuu täysin kyseisen kohteen tuottamaan jäteveeseen. Tätä käytetään useasti esimerkiksi kerrostalojen ja hotellien jäteveden lämmöntalteenotossa. Tällöin kerättyä lämpöenergiaa voidaan uudelleen käyttää joko rakennuksen lämmittämiseen tai käyttöveden esilämmittämiseen.

Seuraava mahdollinen jätevedenkulun vaihe, jossa jätevedestä voi poistaa lämpöenergiaa, on viemäriverkostossa. Viemäriverkkoon asennettu lämmöntalteenottojärjestelmä mahdollistaa suuremman veden virtaaman. Tällaisessa laajemmassa järjestelmässä käytetään usein lämmönsiirintä, jotta saadaan hyödynnettyä käytössä olevaa suurempaa pinta-alaa.

Kolmas mahdollinen lämmöntalteenoton vaihe on jätevedenpuhdistamolla jäteveden puhdistuksen jälkeen. Liian alhainen lämpötila vaikeuttaa typen poistoa jätevedestä, jonka vuoksi on järkevämpää aloittaa lämmöntalteenotto vasta puhdistuksen jälkeen. Tällöin vältetään myös lämmönsiirtimen vahingoittamiselta. (University of Oulu, 2013.)

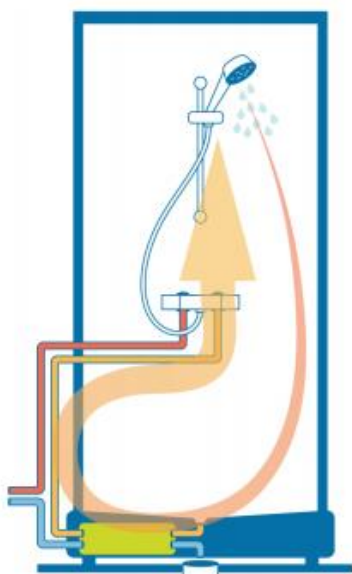


Kuva 1 Lämmöntalteenotto paikallisesti, viemäriverkosta ja jätevedenpuhdistamolla.

## 2.2 Esimerkkejä jäteveden LTO:sta

### 2.2.1 Erilaisia lämmöntalteenottojärjestelmiä Suomessa

Ensavetec on suunniteltu hyödyntämään kiinteistöjen suihkujen käyttämää lämpöenergiaa. Järjestelmä soveltuu yhtä hyvin niin urheiluhallien kuin kerrostalojenkin suihkuihin asennettavaksi. Suihkun alla olevalla siirtimellä otetaan lämpöenergiaa talteen viemäriin valuvasta vedestä. Kuvan 2 mukaisesti järjestelmän talteen ottamaa lämpöenergiaa käytetään suihkun kylmän käyttöveden esilämmittämiseen, jolloin kuuman käyttöveden tarve suihkuveden lämmittämiseen vähenee. Kylmennyttä suihkuvesi päästetään lämmönsiirron jälkeen viemäriverkoston (Ensavetec 2016).



Kuva 2 Käytetty suihkuvesi kulkeutuu siirtimen kautta viemäriin (Ensavetec 2016).

Ecowec-hybridivaihdin pystyy ottamaan lämpöenergiaa talteen kaikesta jätevedestä. Se soveltuu asennettavaksi kokoojaviemäriin, eikä vaadi harmaalle jätevedelle omaa viemäristöä. Tämä mahdollistaa asennuksen jälkiasennuksena myös vanhoihin rakennuksiin. Tilavaatimuksena siirtimelle on 1 m<sup>2</sup>. On kuitenkin hyvä ottaa huomioon muiden LTO-järjestelmään vaadittavat laitteistot, kuten lämpöpumpun ja jätevesipumppaamon tilavaatimukset.



Kuva 3 Ecowec-lämmönsiirrin (Wasenco 2020).

Siirrin on malliltaan vaippaputkilämmönsiirrin. Vaippaputkilämmönsiirtimen sisällä on spiraalin muotoinen putkisto, jonka sisällä virtaa kylmä keruuneste, joka kerää jätevedestä lämpöenergiaa talteen. Jätevesi kulkee spiraalikehikon ympärillä vaipan sisällä. Virtaus ei pysähdy vaipan sisällä, joka vähentää huomattavasti järjestelmän kunnossapitotarpeita. Ecowecin rinnalle voidaan kytkeä lämpöpumppu tehostamaan lämmönsiirtimen talteen ottamaa energiaa. Siirrin ei itsessään kuluta sähköä, mutta järjestelmän apulaitteet kuten lämpöpumppu ja jätevesipumppu aiheuttavat käyttökuluja järjestelmälle.

Ecowecin hybridivaihdin soveltuu esimerkiksi käyttöveden esilämmittämiseen tai kiinteistö tilojen lämmittämiseen. Valmistaja tarjoaa siirtimiä erilaisiin kohteisiin, kuten kerrostaloihin, uimahalleihin ja myös teollisuuskäyttöön. Siirtimen rinnalle voidaan asentaa myös muita lämmönlähteitä, kuten aurinkolämpöä ja poistoilmaa. Järjestelmä on mahdollista toteuttaa siten, että jätevesi virtaa siirtimen läpi painovoimaisesti ylhäältä alas, tai paineistettuna pumppaamalla alhaalta ylös. (Wasenco 2020.)

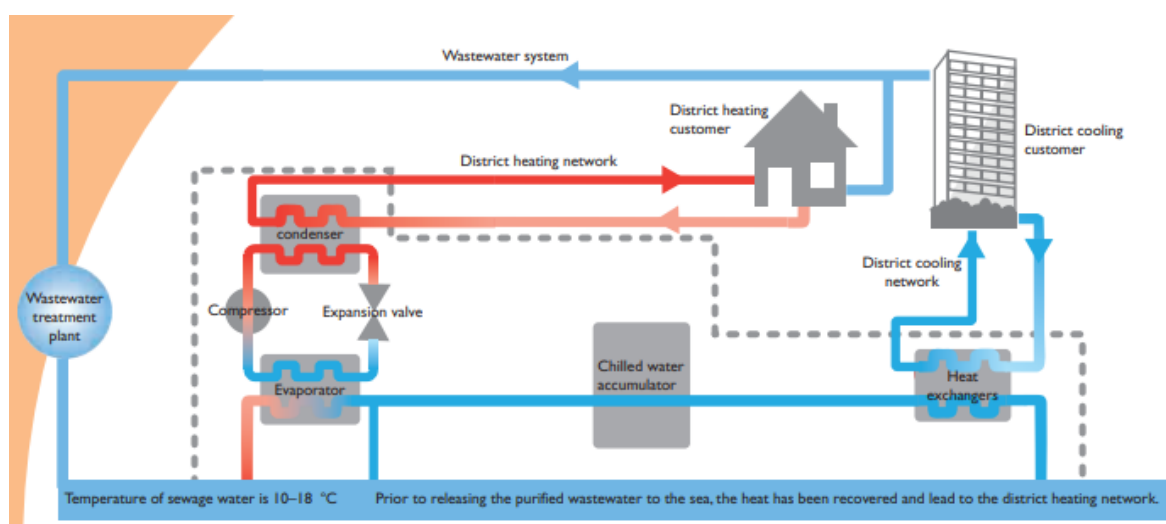


Kuva 4 Siirtimen kytkentäesimerkki lämpöpumpulle, jäteveden virratessa siirtimessä ylhäältä alas (Wasenco 2020).

Järjestelmän yllä kulkee ylivirtausputkisto turvaamaan jäteveden virtaus myös mahdollisessa tukkeumatilanteessa. Valmistaja on ilmoittanut siirtimelle jopa 50 vuoden käyttöiän (Wasenco 2020).

## 2.2.2 Kakola Turku

Jätevesi sisältää todistetusti merkittävän määrän energiaa, jota esimerkiksi Kakolan jätevedenpuhdistamolla Turussa on hyödynnetty vuodesta 2009 alkaen. Kakolan laitoksen talteenottama lämpöenergian määrä vastaa noin 12 000 ihmisen lämmitystarpeita, ja se korvaa arviolta 21 tonnia kivihiilellä tuotettua lämpöenergiaa vuosittain. (Niemela, Saarela. 2014) Tilastokeskuksen polttoaineluokitusten mukaisesti laskettuna Kakolan laitoksen tuottama kivihiilen käytön vähennys vastaa noin 48 tonnia hiilidioksidipäästöjen vähennystä vuosittain. (Tilastokeskus 2019.)



Kuva 5 Kakolan jätevedenpuhdistamon LTO:n toimintaperiaate (Niemela, Saarela. 2014).

Jäteveden lämmöntalteenotto on hyvin yleistä jätevedenpuhdistamoilla. Puhdistetusta jätevedestä otetaan lämpöenergiaa talteen ja lämpö ajetaan kaukolämpöverkkoon. Jäähdytetty ja puhdistettu jätevesi saatetaan päästää vielä tekojärveen, jota käytetään kaukojäähdytyksen varastona.



### 2.2.3 Sokos Hotel Lahden Seurahuone

Vuoden 2017 lopulla Sokos Hotel Lahden Seurahuone otti jäteveden LTO-järjestelmän käyttöveden ja kiinteistön lämmitykseen. Yleisesti arviolta noin 50 % hotellien lämmitysenergiasta huuhdotaan viemäriverkosta alas hyödyntämättä. Lämmönsiirtimenä toimii kaksi R03 Ecowec -hybridivaihdinta, jotka on kytketty lämpöpumppuun. Järjestelmän hyötysuhde on kohteessa noin 70 % kohteen ravintolavesien jäteveden energiamäärästä. Käytössä oleva lämmönvaihdin ottaa lämpöenergiaa talteen hotellin harmaasta jätevedestä, joten kiintoaineiden suodatukseen ja kunnossapitoon ei ole tarvetta. Järjestelmän arvioitu vuosituotto on 78 MWh/ vuosi, joka vastaa 6786 euron säästöä vuodessa. Järjestelmän laskennallinen elinikä on valmistajan mukaan noin 50 vuotta, jolloin sen elinkaaren tuotto olisi kokonaisuudessaan 339 300 euroa. Kyseisessä kohteessa jäteveden LTO on ollut kannattava sijoitus. (Ecopal Oy 2018.)

## 3 LÄMMÖNSIIRIN JA LÄMPÖPUMPPU

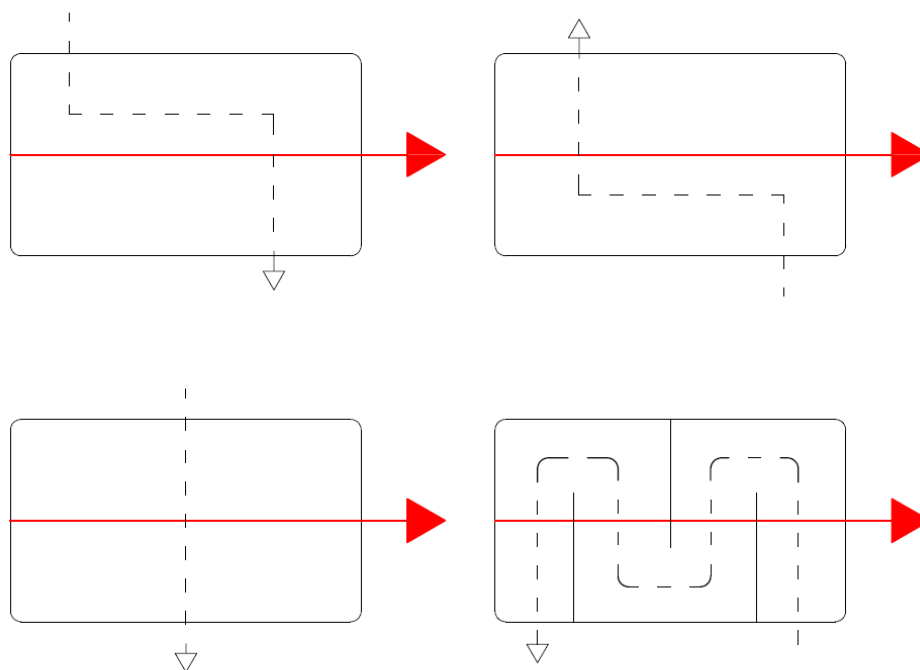
### 3.1 Lämmönsiirrin

Lämmönsiirtimet ovat jaoteltavissa kolmeen erilaiseen toimintatapaan, joita ovat: rekuperatiivinen, regeneratiivinen ja sekoituslämmönsiirrin. Toimintatavoiltaan erilaisilla lämmönsiirtimillä on omat etunsa ja myös heikkoutensa. Usein lämmönsiirtimellä siirretään lämpöenergiaa lämmönsiirrinelementtien läpi eri lämpötilassa olevien nesteiden välillä. (Kothandaraman 2006, 524.)

Rekuperatiivista vaihdinta käytetään yleisesti fluidien välisessä lämmönsiirrossa. Regeneratiivisessa vaihtimessa kuumalla fluidilla lämmitetään ensin varastoivaa kiinteää materiaalia esimerkiksi metallia. Kun varastoivaan materiaaliin on saatu riittävästi lämpöenergiaa talteen, kuuman fluidin virtaus materiaalin ympärillä lopetetaan ja päästetään kylmä fluidi virtaamaan kuuman varastoivan materiaalin ympärillä, jolloin saadaan lämpöenergia siirrettyä fluidien välillä. Regeneratiivinen lämmönsiirto ei sovellu jäteveden lämmöntalteenottoon, sillä siinä jätevesi kontaminoituisi kylmäaineella. Sekoituslämmönvaihtimessa fluidit sekoittuvat keskenään ja lämpötila sekoittuvissa fluideissa tasaantuu. Opinnäytetyössä perehdytään rekuperatiiviseen lämmönsiirtimeen, sillä sitä käytetään jätevedenlämmöntalteenotossa. (Kothandaraman 2006, 524.)

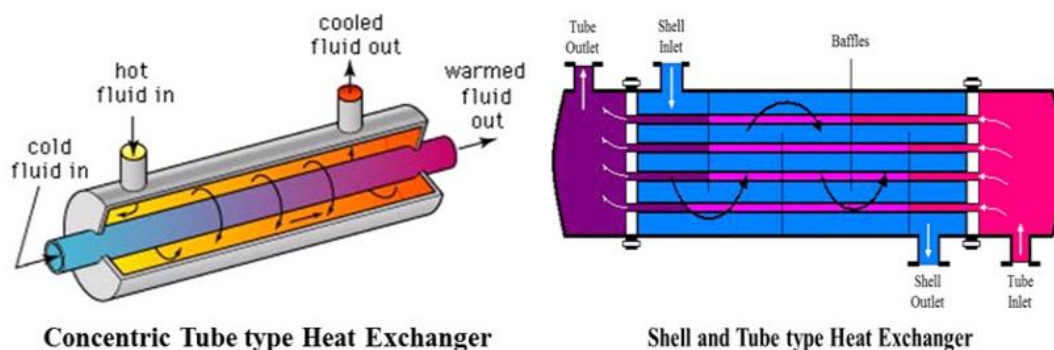
### 3.1.1 Rekuperatiivinen lämmönsiirto

Rekuperatiivisia lämmönsiirtotapoja ovat levy-, putki- ja vaippaputkilämmönsiirto. Rekuperatiivinen lämmönsiirto on jaoteltavissa vielä fluidien virtausten mukaan, jotka on esitelty kuvassa 6.



Kuva 6 Myötävirta, vastavirta, ristivirta ja myötävastavirta.

Jäteveden LTO:n kannalta kiinnostavin siirtotapa on vaippaputkilämmönsiirto. Se koostuu pienistä putkista, joista muodostetaan kehikko ja tämän putkiston sisällä virtaa kylmäaine. Kehikon päälle asennetaan vaippa, joka on jatkeena jätevesiputkistolle. Jäteveden virratessa kehikon lävitse se luovuttaa lämpöenergiaa kylmäaineeseen. Vaippaputkilämmönsiirto mahdollistaa suhteellisen pienikokoisia kokoonpanoja. (Kothandaraman 2006, 524-525.)



Kuva 7 Periaatekuva putkilämmönsiirtimestä ja vaippaputkilämmönsiirtimestä (dairy and food engineering 2013).

Vaippaputkilämmönsiirtimeen voidaan asettaa välilevyjä, jotka pakottavat virtauksen kulkemaan useamman kerran siirtimen vaippakehikon lävitse. Tämä nopeuttaa ja tehostaa lämmönsiirtoprosessia. Jäteveden sisältämät kiinteät epäpuhtaudet saattavat aiheuttaa tukoksia tämänkaltaisissa tapauksissa, jonka vuoksi jäteveden lämmöntalteenotossa käytetään erityisesti siihen tarkoitukseen suunniteltuja siirtimiä.

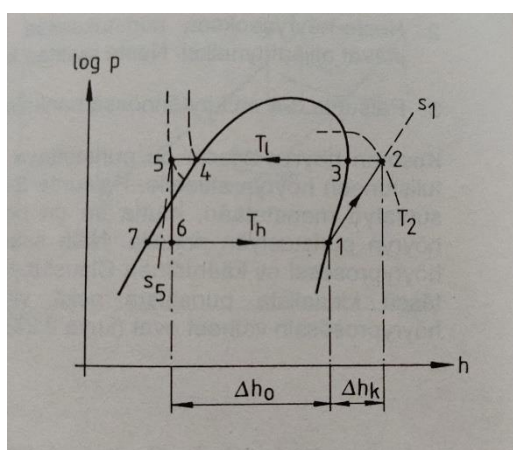
Kytettäessä lämmönsiirrin lämpöpumppuun täytetään siirtimen putkistoon lämpöpumpun keruunestettä. Keruuneste imee itseensä lämpimämmästä jätevedestä lämpöenergiaa kasvattaen lämpöpumpun hyötysuhdetta, tehoa ja tuottoa. Lämpötilaeron ollessa pieni jäteveden ja lämmönsiirtonesteen välillä on lämmönsiirtimen tehokkuus alhainen. Keskimääräisesti asuinkiinteistöissä poistuvan mustan jäteveden lämpötila on 26 °C. Tällöin pelkän lämmönvaihtimen hyödyntäminen esimerkiksi käyttöveden esilämmityksessä ei ole kovin tehokasta, sillä huonoimmillaan lämpötilaero nesteiden välillä on vain 14 °C. Tällöin on järkevää ottaa vaihtimen tueksi lämpöpumppu nostamaan vaihtimen tehokkuutta. (Ecopal 2019.)

### 3.2 Lämpöpumppu

Lämpöpumpun päätehtävä on tuottaa lämpöä. Jotta lämpöpumpun käytöstä on hyötyä, on sen tuotettava riittävän korkea lämpötila korvaamaan kustannukset lämpöpumpun sähkönkulutuksesta. Vaadittava lämpötila vaihtelee käyttökohteen mukaan. Suunnittelun tukena voidaan käyttää suuntaa antavia arvioita eri käyttökohteiden lämpötiloista:

- rakennusten vesikeskuslämmitys 40...80 °C
- käyttöveden lämmitys 50...80 °C
- kaukolämpö 70...120 °C

Saavuttaakseen korkeamman luokan lämpötilat lämpöpumpun tukena toimivan kompressorin on oltava riittävän tehokas ja kylmäaineen toiminta-alueen riittävä. Lisäksi kohde, josta pumpataan lämpöenergiaa, vaikuttaa kaikista eniten talteen otettavaan energiamäärään. Lämpöpumppu käyttää toiminnassaan apunaan kompressoria. Kylmäkiertoaine imee itseensä lämpimämmästä aineesta eli tässä tapauksessa jätevedestä lämpöenergiaa. Kiertoaineen höyrystyessä kompressorin puristaa sen korkeaan paineeseen, jolloin kylmäaine lauhtuu ja siihen varautunut energiamäärä saadaan vapautettua esimerkiksi käyttöveden lämmittämiseen. (Aittomäki. 1996.)



Kuva 8 Tulistettu ideaalinen höyryprosessi (Aittomäki 1996).

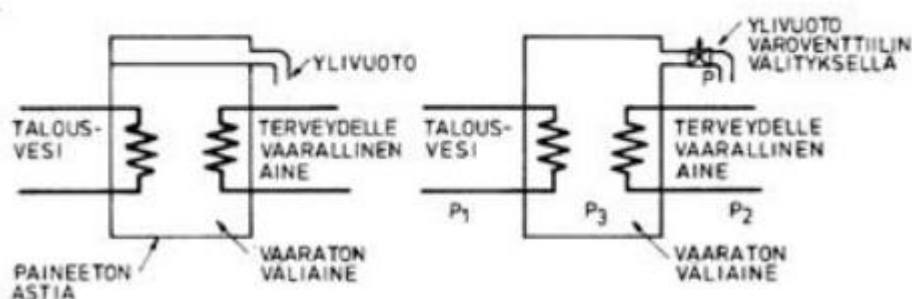
Kuvassa 8 on esitetty käänteinen Clausius-Rankine-prosessi eli ideaalinen höyrystymisprosessi monivaiheisesti. Isentrooppinen puristus tapahtuu vaiheessa 1-2 tulistuneen höyryn alueella. 2-3 tulistettua höyryä jäähdytetään kylläiseen tilaan. Vaiheessa 3-4 kylmäinen höyry lauhdutetaan lauhduttimessa kylläiseksi nesteeksi. Lauhduttimessa tulistuneesta höyrystä poistetaan lämpöä. 4-5 on mahdollinen alijäähdytys. Lämmön poistoa jatkettaessa alle lauhtumislämpötilan kutsutaan alijäähdytykseksi. Seuraavaksi 5-6 tapahtuu isentrooppinen paisunta eli nestettä kuristetaan paisuntaventtiilissä. Osa nesteestä höyrystyy. 6-1 nesteen, sekä höyryn muodostama seos höyrystetään kylläiseksi höyryksi. (Aittomäki 1996.)

Opinnäytetyössä tutkittu lämmönsiirrin tarvitsee tuekseen lämpöpumpun saavuttaakseen mahdollisimman korkean hyötysuhteen johtuen jäteveden alhaisesta lämpötilasta. Lämpöpumpun kytkentä mahdollistaa tarvittaessa useamman lämmönsiirtimen kytkemisen sarjaan tai rinnan. (Ecopal 2019.)

Koska todellisuudessa viemärissä kulkevan jäteveden virtaama ei ole tasaista, on lämpöpumpun toiminnassa hyödynnettävä automatiikkaa. Esimerkiksi jäteveden lämpötila ei saa laskea alle jätevedenpuhdistamon ohjeistuksen. Lämpötila-anturilla mitataan jäteveden lämpötilaa ja sillä säädetään keruupiirin kiertopumppua, jottei ohjeistettua lämpötilaa aliteta. Yleisellä tasolla 10 °C pidetään alhaisimpana sallittuna jätevedenlämpötilana, mutta eri jätevedenpuhdistamoilla saattaa olla käytössä erilaisia määräyksiä, joten on hyvä olla yhteydessä jätevedenpuhdistuksesta vastaavaan laitokseen. Esimerkiksi TSP Oy:n mukaan Turussa jätevedelle alin sallittu menolämpötila jätevedenpuhdistamolle saapuessa on 12 °C (TSP Oy 2020).

## 4 JÄTEVEDEN LAINSÄÄDÄNTÖ JA MÄÄRÄYKSET

Suomessa ei ole jäteveden lämmöntalteenottoa varten laadittu erillistä lainsäädäntöä. Järjestelmää suunnitellessa on otettava huomioon jätevettä, käyttövettä sekä asuinrakennuksia ja rakentamista koskevat lait, asetukset ja määräykset. Ympäristöministeriön laatiman asetuksen mukaan ”Rakennuksen jätevesilaitteistosta ei saa aiheutua terveydellistä vaaraa, hajuhaittaa, viemäritulvia, melua eikä ympäristöhaittaa.” (Ympäristöministeriö 1047/2017.)



Varoventtiilin avautumispaine  $p$  valitaan siten, että vuoto kierukassa huomataan ( $p_3 < p < p_1$  tai  $p_2$ ).

Vuoto kierukassa huomataan ylivuodosta. Ylivuoto varustetaan hälytyksellä.

Kuva 9 Ympäristöministeriön esimerkki terveydelle haitallisten aineiden pääsyn estosta vesilaitteistoon (D1/2007, 8.).

Jätevesi on johdettava viemäriin tai umpisäiliöön, eikä viemärin koko saa pienentyä virtaussuunnassa. ”Asetus koskee myös rakennuksen laajennusta ja kerrosalaan laskeutuvan tilan lisäämistä, korjaus- ja muutostyötä sekä käyttötarkoituksen muutosta”. (Ympäristöministeriö 1047/2017.)

Otettaessa lämpöenergiaa jätevedestä talteen, on otettava huomioon jätevedenpuhdistamon vaatimukset. Niitä käsitellään tämän opinnäytetyön myöhemmässä vaiheessa. Ympäristöministeriön asetuksen mukaan jätevesilaitteisto ei saa jäätyä, joten on huomioitava ulkopuoliset tekijät, kuten ulkoilman lämpötila talvisin. Tämä rajoittaa talteen otettavan lämpöenergian määrää. (Ympäristöministeriö 1047/2017.)

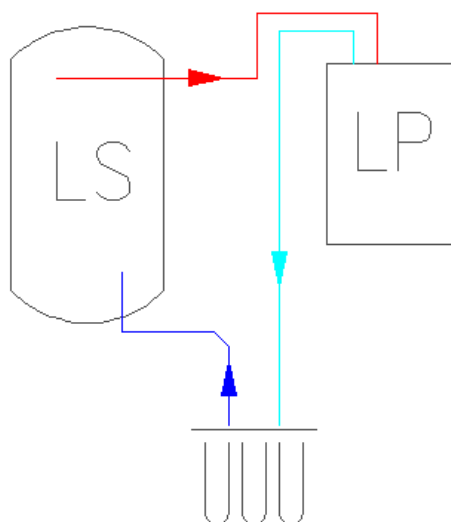
Vesihuoltolaki koskee pääasiassa vesilaitosten toimintaa. Säädöksessä ohjeistetaan kuitenkin vesihuoltolaitoksen verkkoon kytkettäviä kohteita. ”Laitteisto tulee suunnitella, sijoittaa ja rakentaa niin, että se on yhteensopiva vesihuoltolaitoksen laitteiston kanssa. Kiinteistön vesihuoltolaitteisto tulee pitää sellaisessa kunnossa ja sitä tulee käyttää siten, että siitä ei aiheudu vaaraa tai haittaa vesihuoltolaitoksen laitteiston käytölle eikä terveydelle tai ympäristölle.” (Vesihuoltolaki 119/2001.)



## 5 JÄTEVEDEN LÄMMÖNTALTEENOTON HYÖDYNTÄMISTAPOJA

### 5.1 Maalämpö

Jätevedenlämmöntalteenotto on mahdollista kytkeä muiden lämmitysjärjestelmien, kuten maalämmön ja kaukolämmön, kanssa. Jäteveden lämmöntalteenotolla voidaan tehostaa maalämmön toimintaa, kytkemällä jäteveden lämmönsiirrin maalämmön lämpöpumppuun.



Kuva 10 Maalämpökytkennän periaate.

Lämpöpumpun keruuneste virtaa maalämpökaivoihin, josta lämmennyt keruuneste virtaa jäteveden lämmönsiirtimelle. Siirtimeltä keruuneste palaa takasin lämpöpumpulle. Jäteveden lämmönsiirtimellä keruunesteen lämpötilaa saadaan nostatettua, joka kasvattaa lämpöpumpun hyötysuhdetta. (Ecopal 2020.)

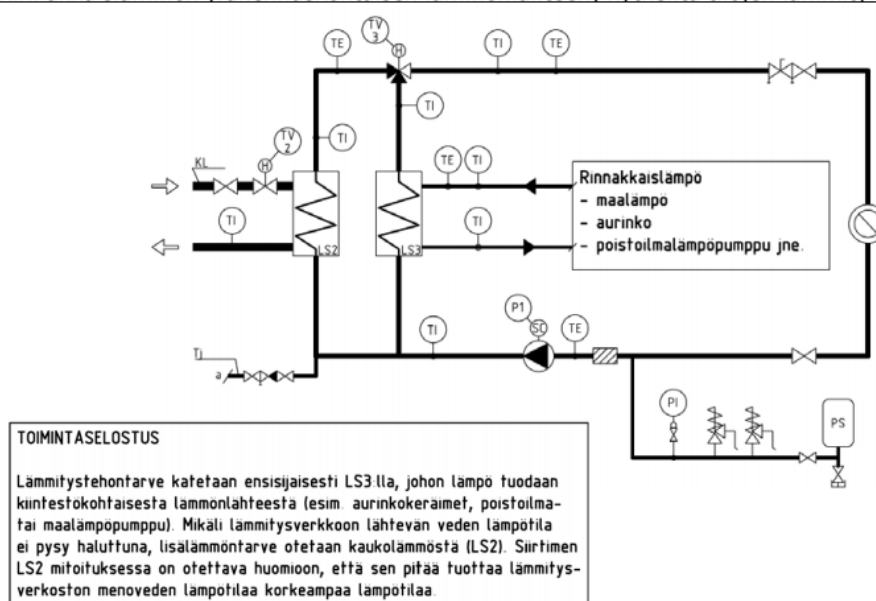
### 5.2 Kaukolämpö

Opinnäytetyön kohde käyttää käyttöveden ja huoneistojen lämmittämiseen kaukolämpöä. Kytettäessä kiinteistön omaa lämmönlähdettä kaukolämmön rinnalle, kaukolämmön tarpeen vähentämiseksi, on huomioitava rakennusten kaukolämmitysmääräykset ja

K1/2013 ohjeet. Rinnakkaislämpöä käyttöön otettaessa on varmistettava, ettei rinnakkaislämpö nosta kaukolämpökierron paluulämpötilaa. Kuitenkin kaukolämpöä tarjoavalla energiayhtiöllä saattaa olla eriäviä näkemyksiä rinnakkaislämmön kytkentätavoista. Joten ennen kuin kytkee rakennuksen omaa lämmönlähdettä kaukolämpöverkkoon, on oltava yhteydessä kaukolämmön jakelijaan.

K1 sisältää kaksi esimerkkikytkentää asuinrakennuksen rinnakkaislämmön kytkennästä, käytettäessä rinnakkaislämpöä rakennuksen tilojen lämmittämiseen ja käyttöveden lämmittämiseen (K1/2013, 89.)

Rinnakkaislämmön (rakennuskohtaisen lämmönlähteen) kytkentä tilojen lämmitykseen



Kuva 11 Esimerkkikytkentä rakennuksen tilojen lämmittämiseen (K1/2013, 89).

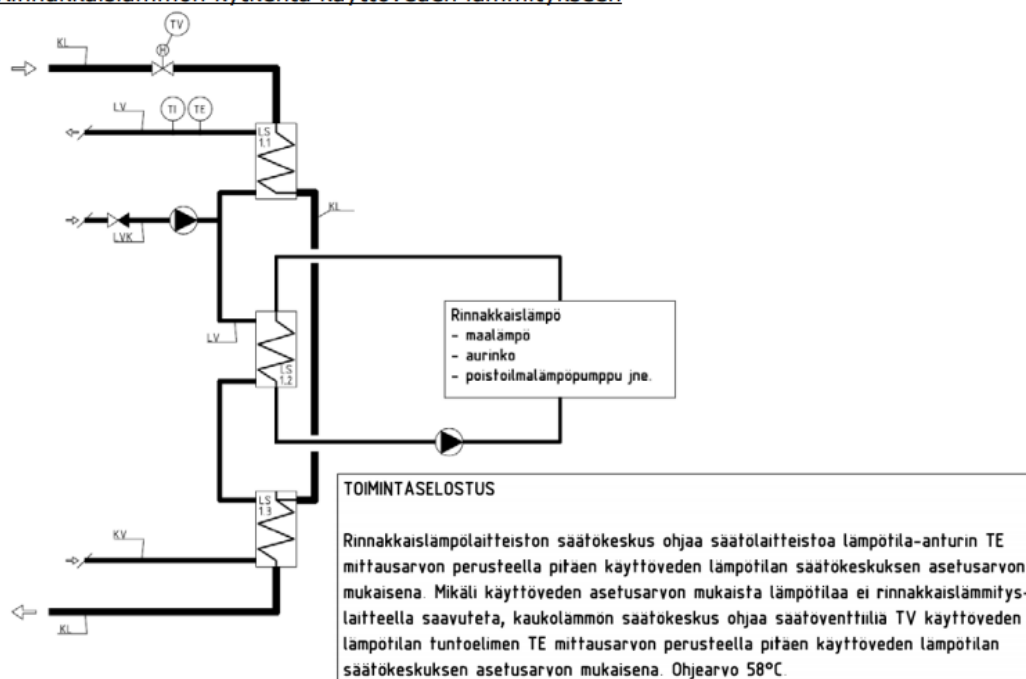
Tilojen lämmittämisessä rinnakkaislämmönsiirrin (LS3) toimii ensisijaisena lämmönsiirtimenä, kunnes sen tuottama lämpöenergia ei ole riittävän suuri, säädetään TV3 kolmitieventtiilillä kaukolämpösiirtimestä (LS2) tarvittava määrä ylläpitämään lämmitysverkon lämpötilaa. Kaukolämpösiirrin mitoitetaan tuottamaan koko rakennuksen tarvitsema lämpöteho.

### 5.3 Käyttöveden esilämmitys

K1-malliesimerkissä rinnakkaislämmön asennuksessa otetaan käyttöön kolme lämmönsiirrintä: 1.1 jälkilämmityssiirrin, 1.2 rinnakkaislämmönsiirrin ja 1.3 esilämmityssiirrin. Kaukolämmön putket kulkevat rinnakkaislämmönsiirtimen ohi jälkilämmityssiirtimeltä suoraan esilämmityssiirtimelle. Rinnakkaislämpö kytketään rinnakkaislämmönsiirtimeen, jonka läpi käyttövesi kulkee ennen jälkilämmityssiirrintä.

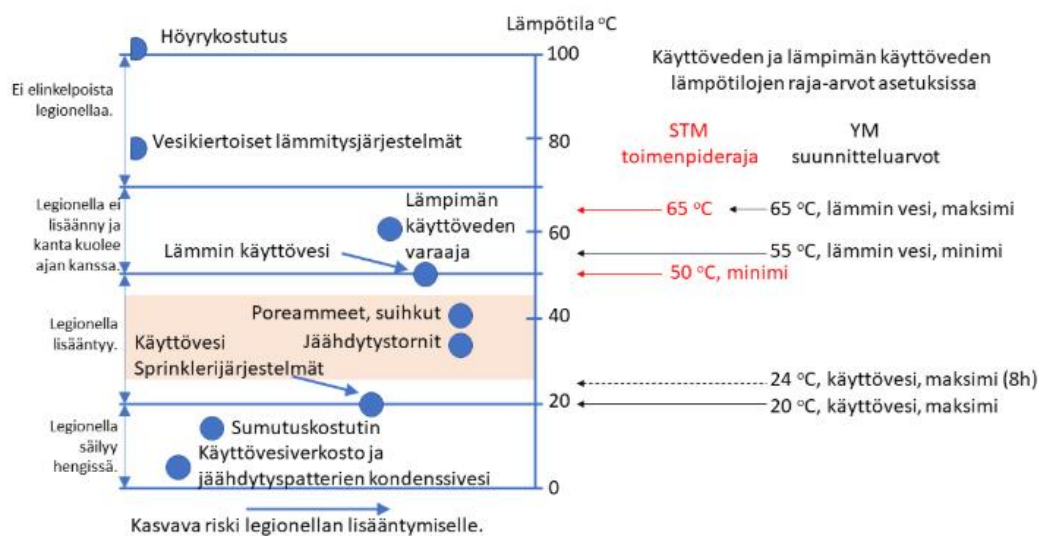
Säätökeskus ohjaa säätölaitteistoa TE-lämpötila-anturin mittaustietojen mukaisesti. Mikäli asetusarvon mukaista lämpötilaa ei saavuteta, kaukolämmön säätökeskus ohjaa TV-säätöventtiilin avulla riittävän virtaaman kaukolämpöverkosta ylläpitämään asetettua asetusarvoa. Ohjearvona voidaan pitää 58 °C. (K1/2013, 89.)

#### Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen



Kuva 12 Esimerkkikytkentä rakennuksen käyttöveden lämmitykseen (K1/2013, 89.).

Käyttövettä pystytään esilämmittämään passiivisella käyttöveden esilämmityksellä tai tehostamalla prosessia lämpöpumpulla. Osa kaukolämpöyhtiöistä on kieltänyt Suomessa käyttöveden esilämmittämisen passiivisella kytkennällä. (Ecopal 2019) Lämmitettäessä käyttövettä 20–45 °C voi veden legionella-bakteerin pitoisuus kasvaa. Legionaalaisbakteeri aiheuttaa legionelloosia eli legionaalitautia (Talotekniikka info 2020.).



Kuva 13 Legionellien kasvu eri lämpötiloissa (Talotekniikka info 2020).

Kylmän käyttöveden lämpötila vaihtelee välillä 5-12 °C, jolloin jäteveden ja käyttöveden lämpötilaero on suhteellisen pieni. Passiivisella kytkentämallilla saavutetaan tällöin matala esilämmitetyn käyttöveden lämpötila. Passiivisella esilämmityksellä siirtimen hyötysuhteeksi saadaan arviolta 15–30 %, joka vastaisi 5 asteisen käyttöveden lämpenemistä noin 3-6 °C. (Ecopal 2020.)

## 5.4 Siirtimen ylimitoitus

Usein jäteveden virtaus kiinteistössä ei tapahdu tasaisena virtauksena, vaan ennemminkin virtauspiikkeinä. Suurien piikkien käsittelyyn on yleistä ylimitoittaa lämmönsiirrin, jotta se pystyisi saamaan talteen riittävän määrän lämpöenergiaa suurissakin virtausmäärissä. Siirtimen vaipan koon kasvaessa jäteveden virtausnopeus laskee. Virtausnopeuden laskiessa siirtimen suuren vaipan ansiosta pystytään kasvattamaan lämmöntalteenoton aikaa. Keruunesteen putkiston pinta-ala on myös suurempi. Tällöin järjestelmän antoteho on pienempää siirrintä suurempi. Valittaessa suurempi lämmönsiirrin pitäisi suuren jäteveden virtauksen olla jatkuvaa, jotta siirtimen potentiaali saavutettaisiin täysin. Ylimitoitettun siirtimen kanssa järjestelmän takaisinmaksuaika voi kasvaa. (Motiva 2016.)

### 5.4.1 Siirtimien rinnankytkentä

Toinen vaihtoehto on virtauksien tasaaminen kahdella pienemmällä siirtimellä. Jäteveden virtauksien tasaamisella on saavutettavissa korkeampi hyötysuhde lämmöntalteenotto järjestelmälle. Kytkemällä pienikokoisemmat siirtimet rinnan pystytään keruu-aikaa pidentämään ilman tarvetta virtausnopeuden laskemiselle. Kytkentää tehostetaan lämpöpumpulla. Virtaava kylmäaine kulkeutuu lämpöpumpun kautta rakennuksen lämmitysjärjestelmään tai käyttöveden esilämmitys lämmönsiirtimeen. (Ecopal 2019.)

## 5.5 Viemärintitavat ja niiden vaikutus

Yleisellä tasolla asuinrakennuksissa voidaan viemärinti toteuttaa joko sekaviemärinti- tai kaksoisviemärintijärjestelmänä. Kaksoisviemärinti on harvinaisempi tapa toteuttaa viemärinti asuinrakennuksissa. Kaksoisviemärintinillä tarkoitetaan rakennuksen viemärintin hajottamista harmaalle jätevedelle ja mustalle jätevedelle. Tällöin esimerkiksi suihkuvedet ja pesuallashanojen vedet virtaavat omassa viemärintissä erillään WC huuhteluvdestä ennen viemärintiverkkoon liittymistä. Tällaista ratkaisumallia tarkasteltiin

lyhyesti opinnäytetyön aikaisemmassa vaiheessa esimerkkikohteessa Lahden Seurahuone. Harmaan jäteveden lämpötila on korkeampi, kuin sekoitetun mustan jäteveden. Tämä mahdollistaisi korkeamman tehon siirtimelle johtuen siirtimen keruunesteen ja jäteveden korkeammasta lämpötilaerosta. Jäähdytetty harmaa jätevesi olisi mahdollista uudelleen käyttää WC:n huuhteluvetenä (Huber 2020.). Kaksoisviemärointi ei ole käytännön toteutukseltaan kuitenkaan kovin yksinkertainen verrattuna sekaviemärointiin. Se vaatii suuremman tilavarauksen viemäriinjalle, enemmän suunnittelutyötä ja korkeampia kustannuksia työmaalla (mm. enemmän putkimetrejä).

Sekaviemärointi on asuinkiinteistöissä yleisempi viemärointitapa, johtuen sen edullisemmasta ja yksinkertaisemmasta toteutuksesta. Sekaviemäroinnissä kaikki jätevesi kulkeutuu samaa viemäriinjaa pitkin. Tällöin jäteveden keskimääräinen lämpötila on alhaisempi kuin harmaan jäteveden, mutta virtausmäärät ovat suuremmat. Alhaisempi jäteveden lämpötila laskee lämpötila eroa jäteveden ja keruunesteen välillä ja tällöin vähentää siirtimen tuottamaa tehoa. Siirrettäessä lämpöenergiaa jätevedestä, on automatiikkaan kiinnitettävä huomiota, sillä jäteveden lämpötila on lähempänä jätevedenpuhdistamon asettamaa rajoitusta jäteveden lämpötilalle.

## 6 LASKELMAT

### 6.1 Koko vuosi

Kohteen haasteellisuuden ja työhön varattujen budjettirajoitusten vuoksi opinnäytetyön laskelmat tehdään ilman tarkkoja mittauksia viemäristön putkistojen virtauksista. Laskelmien tulokset pohjautuvat koko rakennuksen käyttöveden kokonaiskulutusmittauksiin vuosien 2016 - 2019 ajalta. Jäteveden virtaaman selvittämiseksi käytetään apuna D3 Suomen rakentamismääräyskokoelmaa. D3:sta saadaan arvio lämpimän käyttöveden kulutuksesta kiinteistön eri tiloissa, sekä tilojen käyttöajasta Näiden avulla saadaan selville jäteveden virtaama. Jäteveden lämpötilana käytetään kerrostalojen keskimääräistä lämpötilaa 26 °C (Ecopal 2020.).

Seuraavissa laskelmissa, joissa pyritään selvittämään jäteveden sisältämää lämpöenergiaa, on kaavoissa laskettu kuukausittainen keskiarvo jäteveden virtaamalle. Laskelmissa käytetään lähtöarvoina kiinteistön kokonaisvedenkulutusta, joka on esitetty liitteessä (2).

### 6.1.1 Veden kulutus

Jäteveden virtaamien laskemiseen käytetään Rak MK D3:ssa esitettyä asuntojen käyttöaika ja käyttöastetta kuvaavaa taulukkoa.

Taulukko 2 Rakennusten käyttöaika ja käyttöaste eri käyttötarkoituksilla.

Käyttötarkoituksiluokka	Kellonaika <sup>d</sup>	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus W/m <sup>2</sup>	Kuluttajalaitteet W/m <sup>2</sup>	Ihmiset <sup>a</sup> W/m <sup>2</sup>
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 <sup>b,c</sup>	3	2
Asuinrakennus	00:00-24:00	24	7	0,6	11 <sup>b,c</sup>	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 <sup>c</sup>	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 <sup>c</sup>	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 <sup>c</sup>	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	18 <sup>c</sup>	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 <sup>c</sup>	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 <sup>c</sup>	9	8

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erillisselvitys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.

d ilmanvaihdon käyntiaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

Taulukossa 2 on listattu rakennusten keskimääräinen käyttöaika vuorokaudessa ja viikossa. Tämän lisäksi taulukossa on käyttöaste, joka kertoo valaistuksen ja kuluttajalaitteiden käyttöasteen sekä ihmisten läsnäolon rakennuksessa käyttöajan aikana. Käyttöveden kulutus on laskelmissa oletettu samaksi kuin jäteveden virtaus.

Jäteveden virtaus määritetään käyttöveden kokonaiskulutuksesta vuodessa kaavalla:

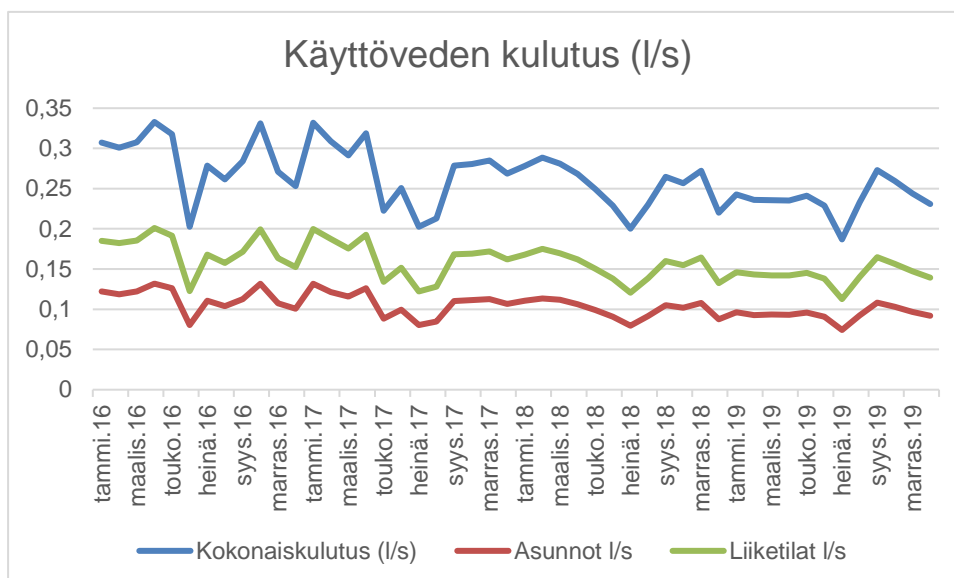
$$\frac{\frac{\alpha \cdot 1000}{\beta \cdot \gamma} \cdot x}{3600}$$

2

jossa

- $\alpha$  = käyttöveden kulutus
- 1000 = yksikkömuunnin m<sup>3</sup> -> l
- $\beta$  = käyttöaika
- $\gamma$  = päivien määrä
- $x$  = käyttöaste
- 3600 = sekunti





Kaavio 3 Käyttöveden kokonaiskulutus asuntojen ja liiketilojen mukaan sekä yhteenlaskettu kokonaiskulutus.

Jäteveden lämpötila arvioidaan 26-asteiseksi, koska käytössä ei ole tarkkaa mittaustietoa jäteveden lämpötilasta. (Ecopal 2019.)

### 6.1.2 Energia sisältö

Ensisijaisesti selvitetään jäteveden sisältämä lämpöenergia eli kuinka paljon jäteveden mukana kulkeutuu hukkaenergiaa viemäristöön. Jäteveden lämpötilaksi oletetaan laskelmissa 26 °C ja käyttöveden lämpötilaksi 5 °C. Jäteveden tulo- ja menolämpötilan erotus on tällöin 21 °C. Lämmönsiirto prosessia tulee tehostaa lämpöpumpulla, jotta järjestelmän hyötysuhdetta saadaan kasvatettua. Lämpöpumpun lämpökerroin toimii merkittävänä tekijänä, kun puhutaan lämpöpumpun tuomasta hyödystä LTO-järjestelmälle. Laskelmissa käytetyn Nibe F1155 lämpöpumpun nimellisteho on 16kW ja sen vuosihyötysuhde on 4,2 (Nibe 4.4.2020). Yleisellä tasolla voidaan pitää lämpöpumppujen lämpökerrointa noin 3-4. Tämä kuitenkin vaihtelee lämpöpumpun ympäristön vaikutuksesta. COP ei kuitenkaan huomioi vuodenaikojen aiheuttamaa ympäristön muutoksia, joita SCOP arvioi tarkemmin.

Jäteveden teoreettinen lämpövirta on laskettavissa kaavalla:

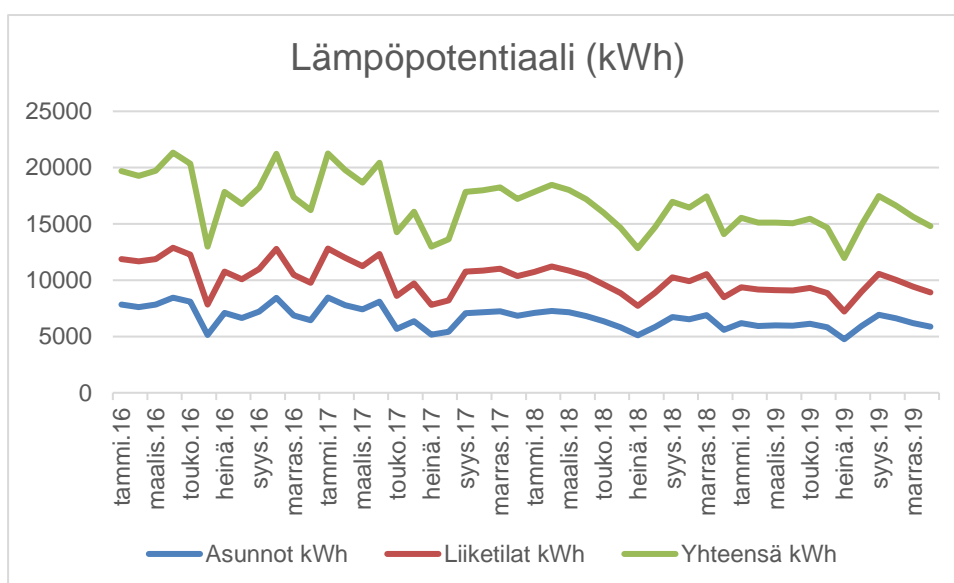
$$\phi = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

3

jossa

- $\phi$  = lämpöteho [kW]
- $\dot{m}$  = virtaavan aineen massavirta [kg/s]
- $C_p$  = saman aineen ominaislämpökapasiteetti [J/(kgK)]
- $\Delta T$  = jäteveden ja kylmän käyttöveden lämpötilaero [K]

Massavirtana käytetään käyttöveden kokonaisvirtaamaa, joka on keskiarvo kokonaisvirtaamasta kuukausitasolla. Ominaislämpökapasiteetti toimii laskukaavassa vakiona, joka on vedelle 4,18 J/kgK.



Kaavio 4 Jäteveden sisältämä energiapotentiaali vuosina 2016-2019.

Kesäkaudella on havaittavissa selkeä lasku käyttöveden kulutuksessa, joka näkyy suoraan jäteveden sisältämässä lämpöpotentiaalissa. Lisäksi taulukosta on havaittavissa jäteveden sisältämän lämpöpotentiaalilin tasainen lasku johtuen käyttöveden kokonaiskulutuksen laskusta kiinteistössä. (katso kaavio 1)

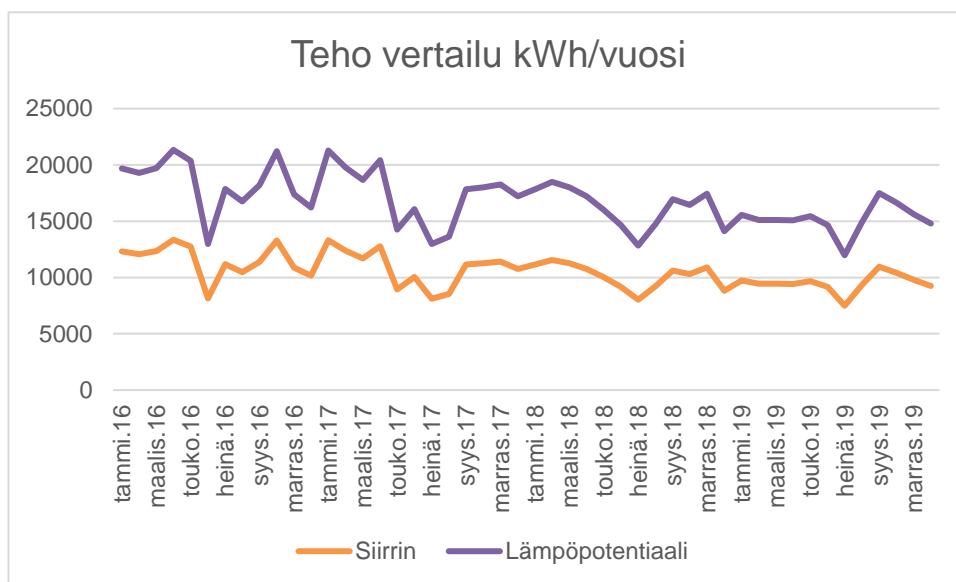
## 6.2 Järjestelmän teho

Järjestelmän tehon ja hyötysuhteen selvittämiseen käytetään siirtimen valmistajan tarjoamaa tehomitoitustaulukkoa. Mitoitustaulukko löytyy opinnäytetyön liitteestä 3. Järjestelmän teho lasketaan kaavalla:

$$C1 \times C2 = \phi \quad 4$$

C1 saadaan mitoituskaaviosta, jossa  $\Delta T$  kuvastaa jäteveden ja lämpöpumpun keruunesteen lämpötilaeroa. Keruunesteen ja jäteveden lämpötilaero on arviolta 24 C. C2 saadaan taulukosta vertaamalla jäteveden virtaamaa vaipanesteen virtaamaan. Jäteveden virtaamana on käytetty 0,26 l/s, joka on keskiarvo vuosien 2016-2019 käyttöveden kuluuksesta. Keruunesteen virtaamaksi on arvioitu 1,2 l/s.

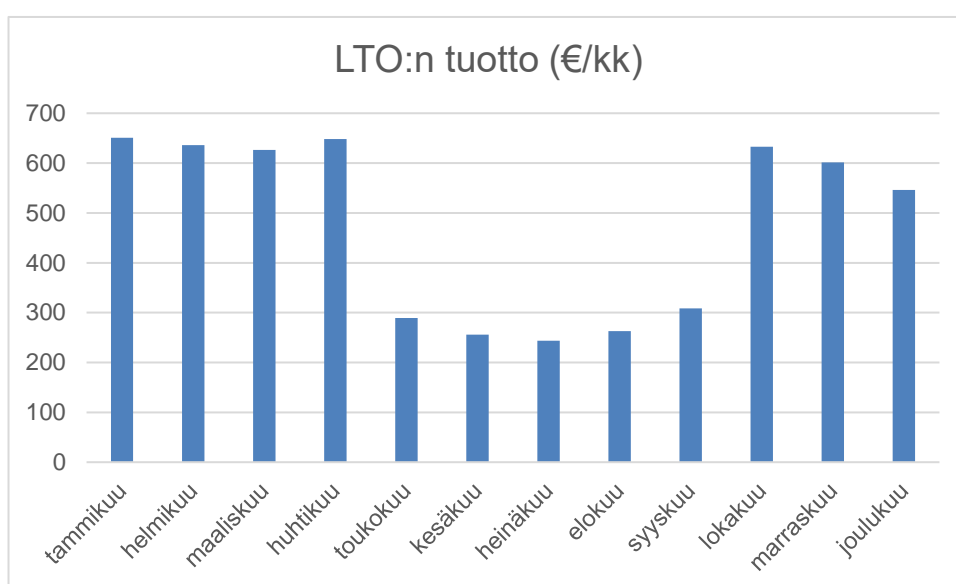
Järjestelmän tehoksi saadaan 14,4 kW. Hyötysuhde järjestelmälle saadaan jakamalla järjestelmän teho jäteveden lämpöenergiapotentialilla. Jäteveden sisältämänä energiamääränä on käytetty keskiarvoa vuositasolla, joka on noin 23 kW. LTO-järjestelmän hyötysuhteeksi saadaan tällöin noin 63 %. Vuosittaiseksi säästöksi järjestelmälle muodostuu noin 126 MWh.



Kaavio 5 Vertailu jäteveden energiasisällön ja LTO-järjestelmän tuottaman hyödyn välillä kuukausittaisella keskiarvolla.

### 6.3 Takaisinmaksuaika

Jotta järjestelmän tuottama nettosäästö saadaan selville, on ensin laskettava järjestelmän tuottama säästö kaukolämmön kulutuksesta. Tästä vähennetään vielä LTO-järjestelmän käyttö- ja ylläpitokustannukset, joita on lämpöpumpun ja jätevesipumppaamon sähkönkulutus sekä huoltokustannukset. Kiinteistön kaukolämmön energiamaksu on 01.05-30.09 28 €/MWh (alv 0 %) ja muulloin 55,99 €/MWh (alv 0 %).



Kaavio 6 Jäteveden LTO:n tuottama säästö kaukolämmön kulutuksesta keskiarvallisesti vuositasolla.

Lämmöntalteenottojärjestelmän tuottamasta säästöstä vähennetään järjestelmän käyttökustannukset kuten lämpöpumpun käynti, jätevesipumppu ja huoltokustannukset. Sähkön hinta Turku Energialla on ollut 01.10.2019-31.12.2019 8,06 c/kWh (alv 0 %). Tästä energian hinta on ollut 4,07 c/kWh, sähkön siirto 1,87 c/kWh ja sähkövero 2,12 c/kWh. Lämpöpumpun käyttämä sähköteho siirtyy laskelmissa suoraan lämpötehoksi häviöittä. Sähköteho on laskettavissa kaavalla:

$$P = \frac{\Phi}{\eta - 1}$$

jossa

- $P$  = sähköteho (kW)
- $\phi$  = siirtimeltä saatava lämpöteho (kW)
- $\eta$  = pumpun hyötysuhde

Lämpöpumpun vuosittaiseksi sähkönkulutukseksi muodostuu noin 43,4 MWh. Tällöin käyttökustannukseksi tulee vuodessa noin 3500 euroa. LTO-järjestelmän muita käyttökuluja ovat huoltotoimenpiteet ja apulaitteiden sähkön kulutus, kuten jätevesipumppu. Huoltotoimenpiteiden kustannukset ovat hyvin riippuvaisia järjestelmän toiminnasta, joten niiden suuruutta on vaikea arvioida. Arviolta voidaan olettaa niiden kustantavan vuositasolla noin 300 euroa. Jätevesipumppuna laskelmissa toimii Grundfos MOG.09.1.2. Pumppaamo on teholtaan 1,4 kW. Tämän pumppaamon tankin tehollinen kokonaistilavuus on 50 litraa, pumpun tuottama virtaus 3,31 l/s (Grundfos 2020). Jätevesipumpun sähkönkulutuksen selvittämiseksi on tiedettävä pumpun käyttämä sähkötehon määrä tunnissa, joka on laskettavissa kaavalla:

$$\frac{\left(\frac{60}{V} * 60\right) * \left(\frac{V}{\dot{m}_p}\right)}{3600} * P$$

6

jossa

- $V$  = Pumppaamon säiliön tehollinen tilavuus (dm<sup>3</sup>)
- $\dot{m}_{jv}$  = Jäteveden virtaus (dm<sup>3</sup>/s)
- $\dot{m}_p$  = pumpun tuottama virtaus (dm<sup>3</sup>/s)
- $P$  = pumpun sähköteho (kW)

Pumpun kulutus on noin 0,1 kWh, joka on kuukaudessa noin 73,21 kWh. Tämä tarkoittaa 5,9 euron käyttökuluja kuukaudessa. Järjestelmän käyttökustannukset vähennetään LTO:n tuottamasta kaukolämmön maksun vähenemisestä. Tällöin saadaan LTO-järjestelmän tuottama nettosäästö vuositasolla selville. Vuosittaiseksi nettosäästökseen kertyy 1833 euroa. Nettosäästöä verrataan järjestelmän investointikustannuksiin, jolloin saadaan takaisinmaksuaika selville. Järjestelmän kokonaiskustannusarvioksi tuli noin 48 000 euroa. Investointikustannuksiin on sisällytetty Ecowec R3 lämmönsiirrin, Nibe F1155 lämpöpumppu, Grundfos MOG.09.1.2 jätevesipumppu, sekä arvio asennustöistä, automatiikasta, sekä asennustarvikkeista. Takaisinmaksuaika kasvaa suhteellisen korkeaksi noin 26 vuotta.

## 7 TOTEUTUKSEN HUOMIOITA

### 7.1 Veden lämpötilan vaikutus

Jäteveden lämpötilan aleneminen ei aiheuta kiinteistön viemäriverkon kunnossapidolle normaalia enempää huoltotoimenpiteitä, sillä jäteveden energia otetaan talteen vasta kokoojaviemärissä ennen kunnan verkkoon liittymistä. Tällöin tilanne ei poikkea muualla rakennuksessa. Suurempaa huomiota aiheuttaa jätevedenpuhdistuksesta vastaavan laitoksen ohjeistukset sekä muut jätevettä koskevat lait ja määräykset.

#### 7.1.1 Vedenpuhdistamo

Jätevedenpuhdistamon kannalta on tärkeää tarkkailla jäteveden tulolämpötilaa. TSP Oy:n mukaan puhdistusprosessin moitteettoman toiminnan takaamiseksi on jäteveden lämpötilan oltava vähintään 12°C. Kuitenkin puhdistamoille on myönnetty kevennyksiä tulosvaatimuksiin ympäristöluvissa kylmän veden kautena. Koska jäteveden lämpötilan on pääsääntöisesti saavutettava 12°C, on TSP Oy:n liittymäsopimukseen kirjattu lämmöntalteenotosta seuraavanlaisesti:

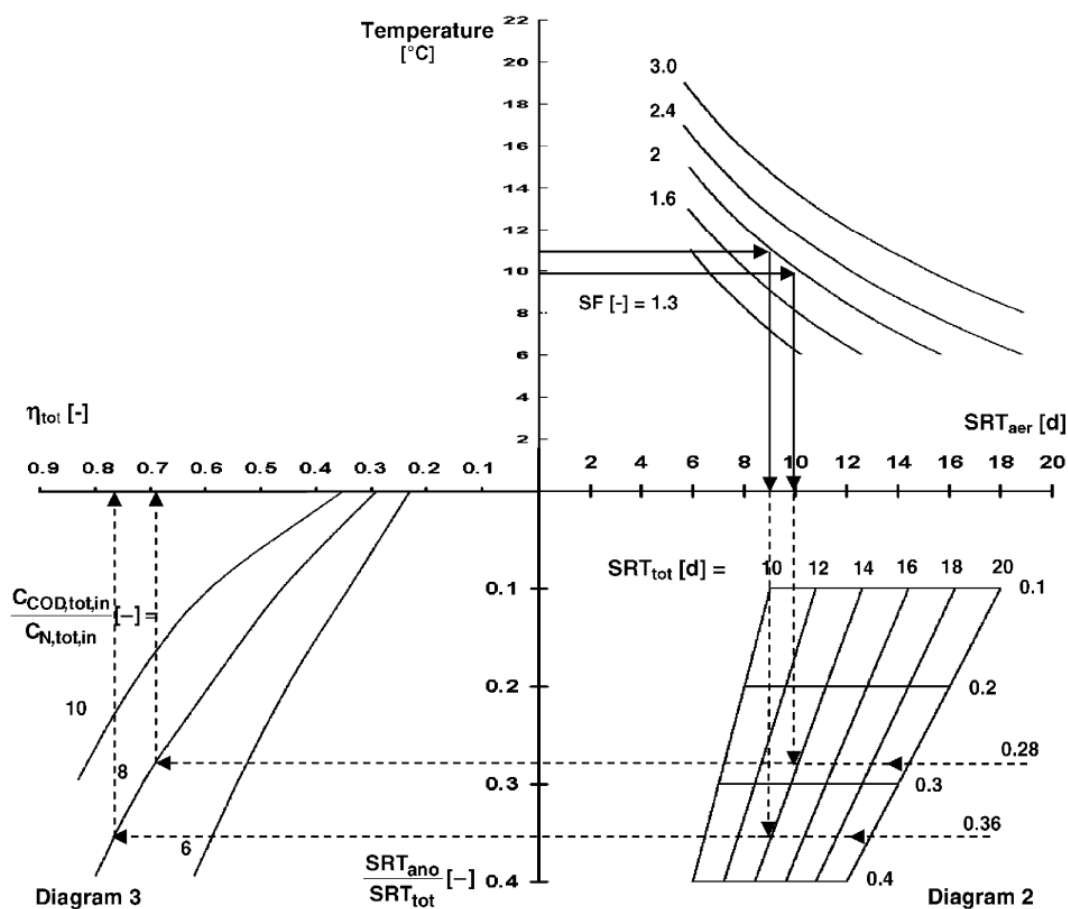
- Osakaskunta ei saa ottaa viemäriverkoston johdetusta jätevedestä talteen lämpöä. Turun seudun puhdistamo Oy:n Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla lämpö otetaan talteen Turun Seudun Energiatuotanto Oy:n toimesta.

Tällä hetkellä ei ole vedenpuhdistamon puolelta muita vaatimuksia, jotka pitäisi ottaa huomioon jäteveden LTO:ta suunniteltaessa. TSP Oy:n mukaan, mikäli lämmöntalteenotto jätevedestä yleistyisi huomattavasti ja se vaikuttaisi negatiivisesti jäteveden puhdistusprosessin tuloksiin, LTO toimintaan jouduttaisiin puuttumaan. (TSP Oy 2020.)

### 7.1.2 Typen poisto

Yksi syy jäteveden lämpötilalle asetetuista määräyksistä on typenpoisto, joka vaikeutuu vedenpuhdistamolla, mikäli jäteveden lämpötila laskee liian alhaiseksi.

Vaikka lämmöntalteenottoa jätevedestä on Suomessa suhteellisen vähän hyödynnetty, on sen yleistyessä syytä ottaa huomioon LTO:n aiheuttamien jäteveden lämpötilamuu-  
tosten vaikutukset viemäriverkoston ja jäteveden puhdistuksen toimintaan. Typen poisto tapahtuu biologisella reaktiolla jätevedenpuhdistamolla, täten lämpötila on kriittinen osa typen poistoa. Alhainen jäteveden lämpötila pienentää nitrifikaatiokapasiteettia jätevedenpuhdistamolla sekä kasvattaa ammoniumionipitoisuuksia jätevedessä. Nitrifikaatiobakteerit tarvitsevat kasvaakseen riittävän korkean lämpötilan, joka on minimissään 10 astetta. (Water research 39. 2005)



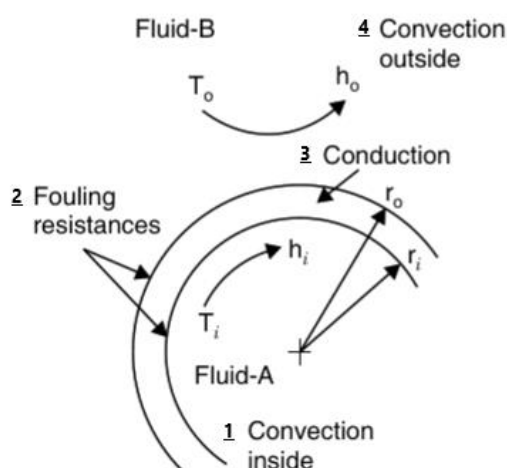
Kuva 14 Kuvaaja lämpötilan muutoksen vaikutuksesta typenpoistoon (Water research 39 2005).



Kuvaajassa on tutkittu lämpötilan vaikutusta typen poistoon jätevedenpuhdistamolla. Vertailtavina lämpötiloina on olleet 10°C ja 11°C. Alhaisempi lämpötila on pienentänyt nitrifikaation bakteerien syntymistä ja niiden muodostaman liejun kehittymistä, joka on ollut suoraan yhteydessä typen poiston tehokkuuteen ( $\eta_{\text{tot}}$ ). (Water research 39 2005)

## 7.2 Ongelmakohdat

Lämpöä talteen otettaessa likaavasta lähteestä on yleistä mitoittaa lämmönvaihdin 20-50 % tarvittavaa suuremmaksi. Ylimoitusta perustellaan lämmönvaihtimen toiminnan takaamisella, myös sen kerätessä likaa pintaansa. Ylimoitettu siirrin pystyy ottamaan riittävän suuren määrän lämpöenergiaa talteen jätevedestä, myös korkeammilla virtaus-  
hetkillä. Kuitenkin lämmönvaihtimen ollessa tarvittavaa suurempi nesteen virtausnopeus laskee, jolloin vaihtimen pintojen likaantumisen riski on suurempi. Järjestelmää suunniteltaessa huomio kiinnitetään tarpeeksi suuren jäteveden virtauksen saavuttamiseksi, mutta samalla on pidettävä mielessä, ettei virtausta voida päästää liian suureksi, jolloin vedestä talteen saatava energiamäärä on huomattavasti alhaisempi. Lisäksi on kiinnitettävä huomiota vaihtimen materiaaliin ja tunnettava virtaavan aineen (jäteveden) lämpötila ja sen mukana kulkeutuvat aineet. (Motiva 2016)



**Fig. 12.1** Thermal resistances across heat exchanger surface.

Kuva 15 Lämmönvaihtimen kokonaislämmönsiirtokerroin muodostuu vaihtimen kaikista resistansseista (Kothandaraman 2006, 521.).

Kuvassa 15 on esitetty lämmönvaihtimen resistansseja siirrettäessä lämpöenergiaa fluidien välillä.

1. Konvektioresistanssi putken sisäpinnan ja fluidin välillä
2. Vaihtimen pinnan likaantumisen aiheuttamat muutokset putken sisä- ja ulkopinnassa vaikuttavat lämmön siirtymiseen
3. Lämmönjohtuvuus nesteitä erottavan seinän läpi
4. Konvektioresistanssi putken ulkopinnan ja fluidin välillä

(Kothandaraman 2006, 521.)

### 7.2.1 järjestelmän huoltotarpeet

Huolimatta jäteveden likaisuudesta on LTO-järjestelmä suhteellisen huoltovapaa kokoonpano. Oikealla mitoituksella ja materiaalivalinnalla sekä suunnitelulla saadaan huoltotarpeiden määrää laskettua huomattavasti, mutta systeemin toimintaa on hyvä tarkkailla, mikäli lämmönsiirtokerroin laskee. Lämmönsiirtokertoimen laskemisen lisäksi likaantuneet pinnat aiheuttavat painehäviöitä. Järjestelmän vaatima huoltotoimintapide on pääasiassa mekaanista puhdistusta ja erilaisten kemikaalien hyödyntämistä, joten jatkuva huoltotarve tuo tarpeettomia kustannuksia. (Motiva 2016.)

## 8 PÄÄTELMÄT JA POHDINTAA

Kohteen jäteveden virtaamien arviointi laskennallisesti saattaa poiketa todellisuudesta. Esimerkiksi kiinteistössä olevan elokuvateatterin aiheuttamat virtauspiikit ovat laskelmissa jakautuneet tasaiseksi virtaamaksi. Tarkemman lopputuloksen laskelmille voisi antaa oikeanlainen mittausjärjestelmä, joka tarjoaisi tarkemman tiedon jätevesien virtaamista ja veden lämpötilasta. Lisäksi tarkkaa tietoa käyttöveden lämmittämiseen käytetävästä tehosta ei ollut laskelmia tehdessä käytössä. Laskelmissa on havaittavissa järjestelmän tuottaman tehon laskua kesäaikana, jolloin kaukolämmön hinta on alhaisempi. Tällöin käyttöveden kulutus rakennuksessa oli huomattavasti alhaisempaa kuin muina vuodenaikoina.

Käyttöveden esilämmittäminen ei ole kovin kannattava säästöratkaisu opinnäytetyön kohteessa johtuen järjestelmän korkeista investointikustannuksista suhteessa LTO-järjestelmän tuottamaan rahalliseen hyötyyn. Kustannusarvioon ei ole sisällytetty rakennuksen viemäreiden keskittämiseen vaadittavaa hintaa. Todennäköisesti tämä aiheuttaisi investointikustannusten suurta kasvua, jolloin järjestelmään investoiminen muuttuisi entistä vähemmän kannattavaksi rahallisesti. Aiemmin viitattu Lahden hotelliin asennettu järjestelmä oli hankintana taloudellisesti kannattava. Tässä opinnäytetyössä tutkittu järjestelmä ei kuitenkaan ole välttämättä taloudellisin ratkaisu toteuttamaan kiinteistönomistajalle tärkeitä kestäviä arvoja.

Voidaan siis todeta, että jäteveden lämmöntalteenoton kannattavuus vaihtelee huomattavasti kohteiden välillä. Pääpiirteissään jäteveden LTO:n kannattavuus on riippuvainen jäteveden virtauksien suuruudesta, lämpötilasta ja investointikustannuksista sekä saaneerauskohteeseen suunniteltavan järjestelmään vaadittavista muutostöistä.

LTO-järjestelmän kannattavuuden arviointi osoittautui ennakoitua hankalammaksi. Lähtötietoja ei ollut kovin paljoa saatavilla, mutta sain kuitenkin työn tilaajalta neuvoa kysyttäessä, mikä helpotti työn edistymistä. Siirtimen valmistajan tehomitoitus taulukolle on ilmoitettu hieman alle 10 % virhearvio, joten todellisuudessa järjestelmä hyötysuhde saattaisi olla laskelmissa arvioitua korkeampi.

Mahdollista jatkotutkimuksia työlle voisi olla mittausjärjestelmän avulla tutkia tarkemmin kiinteistön veden kulutusta ja täten tarkentaa järjestelmän tuottamaa hyötyä. Lisäksi voisi pohtia siirtimeen rinnalle kytkettäviä järjestelmiä, kuten aurinkokeräimiä. Voisiko aurinkokeräimien tuottama teho nostattaa järjestelmän kannattavuutta? Lisäksi voisiko jatkuvasti kasvava uusiutuvilla energialähteillä tuotettu sähkö olla kuluttajille edullisempaa? Tämä voisi laskea järjestelmän takaisinmaksuaikaa ja tehdä investoinnista rahallisesti kannattavaa. Turku Energia ottaa jätevedestä talteen lämpöenergiaa nykyisin Kakolan jätevedenpuhdistamolla. Jäteveden lämmöntalteenoton yleistyminen kiinteistöissä saattaa vaikuttaa Kakolan kaukolämmön tuotantoon. Lisäksi on otettava huomioon se, että usein ympäristöystävälliset ratkaisut vaativat rahallista uhrausta, jolloin taas tullaan arvokysymysten eteen.

Työni opetti minulle, että usein tämän kaltaisia projekteja saatetaan lähteä toteuttamaan hyvinkin hatarilla lähtötiedoilla. Tarvitaan siis kärsivällisyyttä. Lisäksi sain syvennettyä tietotaitoani lämmönsiirtimistä ja lämmöntalteenoton toiminnasta.

## LÄHTEET

- Antero Aittomäki: Kylmätekniikka 1996, 59-60, 344-348
- Dairy and Food Engineering 2013. Tubular heat exchanger [viitattu 12.02.2020]  
<http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=124071>
- Ecopal jäteveden LTO mitoitus, vuosi ei ilmoitettu [viitattu 19.01.2020]  
<https://www.ecopal.fi/jateveden-lto-mitoitus/>
- Ecopal Oy referenssit. 2018 [viitattu 12.12.2019]  
<https://www.ecopal.fi/wp-content/uploads/2017/08/Sokos-Hotel-Lahden-Seurahuone.pdf>
- Ecopal, ecowec Vuosi ei ilmoitettu [viitattu 12.12.2019]  
<https://www.ecopal.fi/ecowec/>
- Ecopal: Esimerkkejä Ecowec kytkentämalleista 2020 [viitattu 15.04.2020]  
<https://www.ecopal.fi/ecowec-kytkentamallit/>
- Ensavetec suihkuvedestä energia talteen. 2016 [viitattu 12.02.2020]  
[http://ensavete.asiakkait.sigmatic.fi/wp-content/uploads/2016/05/ENSAVETEC\\_FIN\\_2016\\_.pdf](http://ensavete.asiakkait.sigmatic.fi/wp-content/uploads/2016/05/ENSAVETEC_FIN_2016_.pdf)
- Grundfos MOG.09.1.2. 2020 [viitattu 01.02.2020]  
<https://product-selection.grundfos.com/product-detail.product-detail.html?custid=GMA&productnumber=97901124&qcid=861033425>
- Huber Solutions for water reuse [viitattu 22.2.2020]  
<https://www.huber.de/solutions/water-reuse.html>
- J Laanearu, A Borodinecs M Rimeika, B Palm. A review on potential use of low-temperature water in the urban environment as a thermal-energy source. 2017  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/251/1/012054/pdf>
- Kothandaraman, Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 2006 [viitattu 05.04.2020]  
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/turkuamk-ebooks/reader.action?docID=424088>
- Motiva. Vuosi ei tiedossa Lämpöä ilmassa: Motiva lämmitysjärjestelmät ilmalämpöpumput [viitattu 5.12.2019]  
<https://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>
- Motiva: energiatehokas lämmönsiirto 2016 [viitattu 12.12.2019]  
[http://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas\\_lammonsiirto\\_opas.pdf](http://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas_lammonsiirto_opas.pdf)
- Nibe Asentajan käsikirja F1155. 2016 [viitattu 4.4.2020]  
<https://www.nibe.fi/assets/documents/19616/331345-3.pdf>
- Niemela M, Saarela R. The wastewater utilization in Kakola heat pump plant; 2014. [viitattu 7.12.2019]  
[http://www.districtenergyaward.org/wp-content/uploads/2012/10/New\\_scheme\\_Finland\\_Turku.pdf](http://www.districtenergyaward.org/wp-content/uploads/2012/10/New_scheme_Finland_Turku.pdf)
- Rakennusten kaukolämmitys Määräykset ja ohjeet. julkaisu K1/2013 9.5.2014 [viitattu 19.01.2020]  
[https://energia.fi/files/502/JulkaistuK1\\_2013\\_20140509.pdf](https://energia.fi/files/502/JulkaistuK1_2013_20140509.pdf)

- Talotekniikka info 2020. [viitattu 19.01.2020]  
<https://www.talotekniikkainfo.fi/esimerkki-kayttoveden-lamputila-ja-laatu>
- Tilastokeskus: Polttoaineluokitus 2019. [viitattu 7.12.2019]  
[http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html)
- University of Oulu. 2013 Heat recovery from wastewater: Assessing the potential in northern areas [verkkajulkaisu] [viitattu 5.12.2019]  
[https://www.researchgate.net/publication/264661596\\_Heat\\_recovery\\_from\\_wastewater\\_Assessing\\_the\\_potential\\_in\\_northern\\_areas](https://www.researchgate.net/publication/264661596_Heat_recovery_from_wastewater_Assessing_the_potential_in_northern_areas)
- Vesihuoltolaki: 119/2001 [viitattu 10.12.2019]  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2001/20010119>
- VTT: energian varastoinnin nykytila. 2003 [viitattu 13.12.2019]  
<https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>
- Wasenco Oy Rakennuslehdessä 9.6.2016 [viitattu 20.03.2020]  
<http://wasenco.com/wasenco-oy-talotekniikka-lehdessa-26-2-2016/#more-653>
- Wasenco verkkosivu vuosi ei ilmoitettu [viitattu 12.02.2020]  
[http://wasenco.com/ecowec-hybridivaihdin\\_ottaa\\_lammon\\_talteen\\_jatevedesta/](http://wasenco.com/ecowec-hybridivaihdin_ottaa_lammon_talteen_jatevedesta/)
- Water Research 39: Effect of heat recovery from raw wastewater on nitrification and nitrogen removal in activated sludge plants. 2005  
<https://www.sciencedirect-com.ezproxy.turkuamk.fi/science/article/pii/S0043135405005403>
- Ympäristöministeriö: 1047/2017 [viitattu 10.12.2019]  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171047#Lidp446424864>

## Liite 1 laskelmat excel



järjestelmän\_tuotta  
ma\_hyöty.xlsx

## Liite 2 käyttöveden kulutus



Maamiesten  
kauppatalo\_vedenki



## Liite 3 mitoitustaulukko

**Lämpöpumppukytkentä - jätevesi alhaalta ylös - vaijpaneste: etanoli 30 % - vesi 70 %**

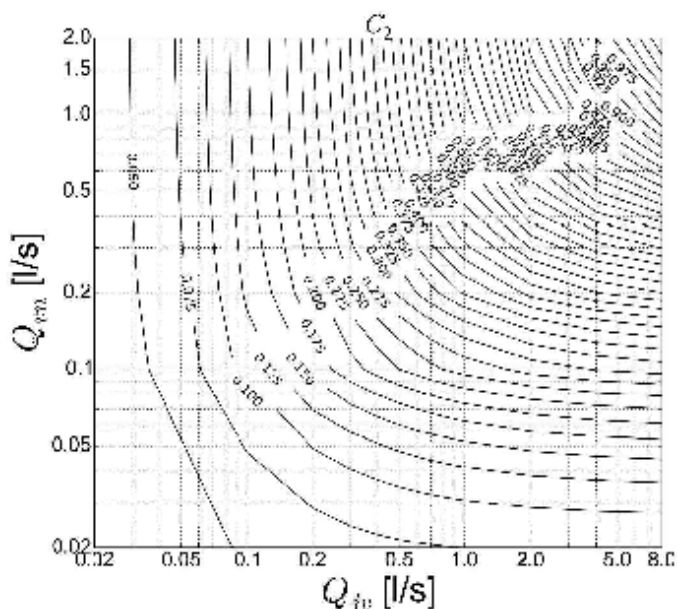
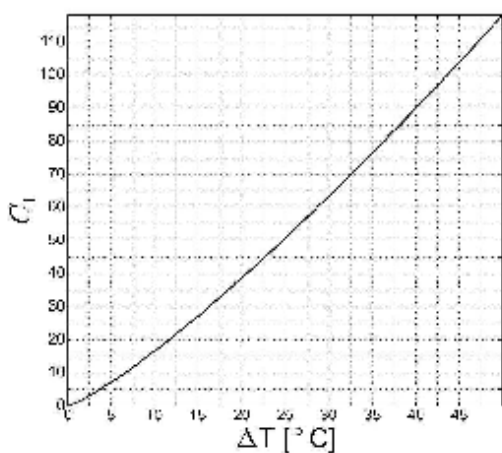
Selvitä jäteveden ja vaijpanesteen tilavuuksut  $Q_{jv}$  ja  $Q_{vn}$

Laski maksimälämpötilasto:  $\Delta T = T_{jv\ in} - T_{vn\ in}$

Lue kuvasta  $C_1$  ja kytkeäsiisä  $C_2$

Laski hybridivaijpanimen teho kilowattina kuvasta

$$\phi = C_1 \times C_2 \text{ [kW]}$$



**Teho vain suunta-antava! Teho voidaan tarkemmin määrittää esimerkiksi laskentamallilla.**