

Leena Vihavainen

JÄTEVEDEN  
LÄMMÖNTALTEENOTON  
TARKASTELU  
KITEEN  
JÄTEVEDENPUHDISTAMOLLA

Opinnäytetyö  
Ylempi ammattikorkeakoulu  
Ympäristötekniikka, Kestävä energiatalous


Syyskuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <h1 style="margin: 0;">MAMK</h1> <p style="margin: 0;">University of Applied Sciences</p> </div>	<p><b>Opinnäytetyön päivämäärä</b></p> <p>16.09.2014</p>
<p><b>Tekijä(t)</b> Leena Vihavainen</p>	<p><b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> <b>Ylempi AMK, ympäristöteknologia,</b> <b>Kestävä energiatalous</b></p>
<p><b>Nimeke</b> Jäteveden lämmöntalteenoton tarkastelu Kiteen jätevedenpuhdistamolla</p>	
<p><b>Tiivistelmä</b></p> <p>Jätevesi sisältää nesteeseen sitoutunutta lämpöenergiaa, joka poistuu pääosin käsitellyn jäteveden mukana. Suomessa vesihuoltolaitoksilla lämmöntalteenottojärjestelmien tunnettavuus on huono ja kustannustehokkaita teknisiä ratkaisuja ei ole juuri kartoitettu. Suomessa jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä on rakennettu noin kymmenelle jätevedenpuhdistamolle, joissa lämpö hyödynnetään kiinteistön lämmityksessä sekä puhdistamon lämpimän käyttöveden tuotannossa. Hukkalämmön hyödyntämistä jätevedenpuhdistamoilla ja niille soveltuvia lämmöntalteenottojärjestelmiä tulisi selvittää enemmän.</p> <p>Opinnäytetyössä tarkasteltiin Kiteen keskustaajaman jätevedenpuhdistamon nykyisen lämmöntalteenotto laitoksen toimintaa ja etsittiin optimaalisinta lämmöntalteenottovaihtoehtoa kohteeseen sekä määritettiin laitoksen teoreettinen jäteveden lämpömassavirta. Teoreettisen lämpötehon tarkastelussa käytettiin aineistona laitoksen käyttötarkkailun jäteveden virtaama- ja lämpötilatietoja. Nykyisen jäteveden lämmöntalteenoton lämpökapasiteettia arvioitiin mitoitus- ja suunnitteluarvojen avulla. Jätevesikäyttöön soveltuvia lämpöpumppuja selvitettiin internet- lähteistä ja kysyttiin lisätietoja laitevalmistajilta. Lisäksi tehtiin karkealla tasolla jätevedenpuhdistamon energiantarveselvitys lämpöenergiatarpeen osoittamiseksi.</p> <p>Lämmöntarpeen ja teknisten olosuhteiden perusteella etsitettiin vaihtoehtoja optimaaliseksi lämmöntalteenottojärjestelmäksi, joksi osoittautui puhdistamolta lähtevää jätevettä höyrystävä lämpöpumppu. Nykyinen lämpöpumppu on jo käyttöikänsä päässä sekä heikentynyt tehontuotoltaan, joten sitä ei kannata saneerata, vaan korvata se uudella paremman lämpökertoimen omaavalla lämpöpumpulla. Puhdistamon teoreettinen kokonaislämpökapasiteetti on noin 700 kW, josta todennäköinen hyödynnettävä teho olisi alle 600 kW. Käytössä olleilla energiantarvetiedoilla lämpöpumpun tehontarve olisi 100- 200 kW. Lämpimän käyttöveden lämpötilavaatimuksen vuoksi lämpöpumpulla pitäisi olla käyttöveden priimaus tulistuslämmöllä. Mitoitusarvoja verrattiin markkinoilla oleviin lämpöpumppuihin.</p> <p>Jäteveden hukkalämmön hyödyntäminen rakennuksen energiantuotannossa ilmaisenergiana olisi kannattavaa. Ennen lämmöntalteenottojärjestelmän teknistä suunnittelua rakennukseen olisi tehtävä tarkempi energiantarve selvitys. Energiansäästöinvestointiin on mahdollista saada avusta, joka lämpöpumppujärjestelmille on ollut 10 - 15 % kokonaiskustannuksista.</p>	
<p><b>Asiasanat (avainsanat)</b> lämmöntalteenotto jätevedestä, lämpöpumppu, jäteveden lämpömäärä, lämpöteho</p>	
<p><b>Sivumäärä</b> 64</p>	<p><b>Kieli</b> Suomi</p>
<p><b>URN</b></p>	
<p><b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b></p>	
<p><b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Johanna Arola</p>	<p><b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Kiteen vesikunta</p>

## DESCRIPTION

		<b>Date of the master's thesis</b>  16.09.2014
<b>Author(s)</b> Leena Vihavainen	<b>Degree programme and option</b> Master programme of environmental technology, sustainable energy	
<b>Name of the master's thesis</b> Optimization of the heat recovery systems in Kitee WWTP		
<b>Abstract</b>  <p>The heat pump application for large industrial heat pumps is rare. The main sewer strands in all larger towns in Finland supply sufficient waste water as source of energy, which can be also used by the retrofit of sewer heat exchangers as heat source for large size heat pumps.</p> <p>The main focus of my study was analyse the function of the heat pump system in Kitee waste water treatment plant.. The monitoring data of WWTP was used as the main material for the result analysing. The data was saved in Excel- table for calculating. The total heat mass flow without losses was analysed with the temperature and flow of out-coming waste water. Technology needs was discussed in the context of existing technologies, which can be further optimized, as well as developing technologies that may provide new opportunities for heat recovery.</p> <p>Heat pumps suitable for waste water used were searched from internet and more information was asked from the device manufacturers. The collected information was for example type of compressor, COP-value, flow to pump, temperature into pump and allowed temperature out of pump, thermal capacity, heat of evaporation temperature, condensation temperature and the costs of pump system. The options of the heat pump were founded on theoretical conclusions. The planned options were compared to dimensions of the ware heat pumps. In consideration the straight steaming heat pump was proved to be the optimized system in heat recovery of the waste water. The heat required of the heat pump was 100-200 kW. In theory total heat capacity of waste water is about 700 kW and capacity of being in use was on average 600 kW. As the result of high temperature demand for the hot water, there has to be used super-heating power to extra heating. The existing heat pump has become to the end of its useful life. It had to be replaced with the heat pump with new energy efficiency.</p> <p>The heat energy in WWTP is demanded for heating, warm water, air heating and cooling if is possible). The usage of waste water heat pump was especially economical, with more than 5,000 population equivalents.</p> <p>Before starting technical detail planning of the new heat pump system, a report of the energy efficiency should be done. Waste water heat is free energy and it utilization is cost-effective and it also environmental friendly (less CO<sub>2</sub> emissions). For energy saving investment, it is possible to get a financial support of 15 % of the total expenses. In this case, isn't cost-effective to feed heat into district heating which could makes the utilization much more economical.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b> waste water treatment plant (WWTP), heat capacity of WW, heat exchanger, heat recovery		
<b>Pages</b> 64	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b> Johanna Arola	<b>Master's thesis assigned by</b> Kiteen vesikunta	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	RAKENNUKSEN ENERGIAN TARVE JA KULUTUS .....	2
3	LÄMMÖNTALTEENOTTO JÄTEVEDENPUHDISTAMOLLA.....	4
3.1	Jäteveden sisältämä lämpöenergia .....	4
3.2	Jäteveden lämpöenergian hyödyntäminen.....	5
3.3	Lämmöntalteenotto jätevedestä .....	6
3.3.1	Lämmöntalteenottopaikka jätevedenpuhdistamolla .....	6
3.3.2	Lämmöntalteenottojärjestelmät .....	7
3.4	Jätevedenlämmöntalteenoton käyttö jätevedenpuhdistamoilla.....	7
3.4.1	Suomi .....	7
3.4.2	Ruotsi ja muu Eurooppa.....	11
3.5	Hallinto ja talous .....	12
3.5.1	Energiatuki .....	12
3.5.2	Sopimukset ja rajoitukset jäteveden lämpöenergian hyödyntämiselle .....	14
4	LÄMPÖPUMPUT.....	15
4.1	Lämpöpumpun toimintaperiaate .....	15
4.2	Lämpöpumpun pääkomponentit .....	16
4.3	Lämpöpumpputyypit .....	17
4.4	Mitoitus.....	19
4.5	Lämpökerroin.....	21
4.6	Lämmönsiirtimet.....	22
4.7	Lämpöpumpun sähköenergian kulutus.....	23
4.8	Jäteveden hyödyntämiseen soveltuvat lämpöpumput ja valmistajat.....	24
4.8.1	Pemco Oy .....	24
4.8.2	Oilon Scancool Oy.....	24
4.8.3	Gebwell Oy.....	25
4.8.4	Suomen Lämpöpumpputekniikka Oy .....	26
4.8.5	Hydropress Huber Ab .....	27

5	KITEEN KESKUSTAAJAMAN JÄTEVEDENPUHDISTAMO .....	30
5.1	Organisaatio .....	30
5.2	Kiteen jätevedenpuhdistamon toiminta .....	30
5.2.1	Puhdistamon rakennus ja talotekniikka .....	31
5.2.2	Lämmöntalteenottolaitteisto .....	34
6	LÄMMÖNTALTEENTOTTOLAITOKSEN TARKASTELU .....	37
6.1	Jätevedenpuhdistamon energiantarveselvitys .....	38
6.2	Jäteveden puhdistamon teoreettinen kokonaislämpöteho .....	38
6.3	Jätevedenpuhdistamon lämmöntalteenottolaitoksen toimintaselvitys .....	39
6.4	Optimaalinen lämmöntalteenotto järjestelmä .....	39
7	TULOKSET .....	40
7.1	Rakennuksen energian kulutus ja kustannukset .....	40
7.2	Jätevedenpuhdistamon laskennallinen lämpökapasiteetti .....	42
7.3	Jäteveden lämmöntalteenotto .....	46
7.3.1	Nykyisen jätevesilämpöpumppujärjestelmän toiminta .....	46
7.3.2	Jäteveden lämmöntalteenottoon soveltuvat lämpöpumput .....	49
7.3.3	Optimaalinen lämpöpumppujärjestelmä .....	50
7.4	Uudistuksen kustannusarvio .....	53
8	TULOSTEN TARKASTELU .....	54
8.1	Rakennuksen energian kulutus ja kustannukset .....	54
8.2	Jäteveden teoreettinen lämpökapasiteetti .....	56
8.3	Jäteveden lämmöntalteenotto .....	57
8.3.1	Nykyisen lämpöpumppujärjestelmän toimivuus .....	57
8.3.2	Optimaalinen lämpöpumppujärjestelmä .....	58
8.3.3	Jätevesikäyttöön soveltuvat lämpöpumput .....	59
8.4	Arvio uudistamisen kannattavuudesta .....	59
9	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	60
	LÄHTEET .....	63

#### LIITE/LIITTEET

- 1 Kiteen jvp:n nykyisen lämpöpumpun järjestelmäkaavio
- 2 Jätevesilämpöpumppujen teknisiä tietoja
- 3 RoWin-järjestelmän tyyppikuvat

## 1 JOHDANTO

Jätevesi sisältää nesteeseen sitoutunutta lämpöenergiaa, joka poistuu pääosin käsitellyn jäteveden mukana. Osa lämpöenergiasta siirtyy (säteilystä, johtumalla ja konvektiolla) jätevedestä ilmaan tai laitoksen rakenteisiin. Suomessa jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä on rakennettu noin kymmenelle jätevedenpuhdistamolle. Näissä lämpö hyödynnetään lähes pelkästään kiinteistön lämmityksessä, ja joillakin lämpöä käytetään lisäksi puhdistamon lämpimän käyttöveden tuotantoon. Muutamassa suurimmassa puhdistamossa lämpöä johdetaan kaukolämpöverkkoon.

Suomessa vesihuoltolaitoksilla lämmöntalteenottojärjestelmien tunnettavuus on huono ja kustannustehokkaita teknisiä ratkaisuja ei ole juuri kartoitettu. Nykytekniikalla lämmöntalteenotto voi olla huomattavan paljon kustannustehokkaampaa sekä saatava lämpömäärä huomattavasti suurempi kuin ennen 2000-lukua toteutetuilla järjestelmillä.

Lämmöntalteenottolaitteistojen, kuten lämpöpumppujen tekninen kehitys, on ollut viime vuosina erittäin myönteistä hyötysuhteen kannalta katsottuna. Täten on syytä epäillä, että jätevedenpuhdistamoilla 1980-90-luvuilla käyttöönotettujen järjestelmien tekniikka alkaa olla elinkaarensa päässä. Viime vuosina lämpöpumppujen, lämmönsiirtotekniikan ja pintamateriaalien kehittyminen sekä osittainen puhdistustekniikan käyttö (puhdistamatonta jätevettä käytettäessä) on merkittävästi parantanut jäteveden hukkalämmön talteenoton tehokkuutta ja siten edistänyt sen laajempaa hyödyntämistä. Suomessa on muutaman viime vuoden aikana kiinnostuttu uudelleen jätevedenlämmöntalteenotosta. Muutama menestyksekkäs projektiesimerkki on toteutettu, ja joitakin uusia laitoksia on suunnittelussa. Vielä on kuitenkin runsaasti tehtävää ennen laajempaa läpimurtoa jäteveden lämmön hyödyntämiseksi lämmöntuotannossa. Suomessa jäteveden lämpöpotentiaalin voi arvioida olevan vähintäänkin Norjan luokkaa eli noin 1 500 GWh. vuodessa. /1, s. 20./

Laitossuunnittelussa tarkastellaan prosessisuunnittelun lisäksi myös taloteknisiä seikkoja, energiatehokkuutta sekä laitoksien pitkäkestoisia ympäristövaikutuksia. Usein pohdittavaksi on noussut myös prosessoitavan jäteveden sisältämän energian hyödyntäminen. Hukkalämmön hyödyntäminen kiinteistöillä tai aluelämpöverkossa tulee tulevaisuudessa energian hinnan ja saatavuuden muuttuessa olemaan yhä enemmän kiin-

nostavampaa. Hukkalämmön hyödyntämistä jätevedenpuhdistamoilla ja niille soveltuvia lämmöntalteenottojärjestelmiä tulisikin selvittää enemmän. Laitoksien energiaomavaraisuus ja mahdollinen ulkoinen tuotanto tukee uusiutuvalla energialla tuotettavaa energiataloutta.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin yleisesti toteutettuja jäteveden lämmöntalteenottolaitoksia. Lämmöntalteenotossa keskityttiin lämpöpumppeihin sekä niiden tekniikkaan ja mitoitukseen. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Kiteen Vesikunnan keskustajaman jätevedenpuhdistamon jäteveden lämpöenergian talteenottolaitteiston toimintaa sekä selvittää optimaalinen lämmöntalteenottojärjestelmä kyseiseen kohteeseen.

Työssä selvitettiin ensin jätevedenpuhdistamon jäteveden teoreettinen lämpökapasiteetti. Tämän jälkeen tarkasteltiin nykyisen lämmöntalteenottolaitoksen toimivuutta ja saavutettuja tehoja sekä lämmöntalteenottolaitoksen tekniset vaatimukset. Tarkastelun tavoitteena on saada yleisarvio laitteiston saneeraustarpeesta ja kustannustehokkuudesta. Lisäksi tarkastellaan rakennuksen lämmitysenergiatarvetta sekä lämpöpumpun lämpöenergian käyttömahdollisuuksia.

## **2 RAKENNUKSEN ENERGIAN TARVE JA KULUTUS**

Rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan örakennuksen energiatarpeella ja -kulutuksella ( $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ ) tarkoitetaan vuotuisia energian ominaistarpeita ja kulutuksia lämmitettyä nettoalaa kohti. Rakennuksen lämmitysenergian tarpeella tarkoitetaan sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseksi tarvittavaa energiamäärää. Lämmitysjärjestelmän energiankulutuksella tarkoitetaan tilojen lämmityksen, ilmanvaihdon lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämmityksen energiankulutusta. Lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan lämmitysenergian nettotarpeesta ottamalla huomioon järjestelmähäviöt ja muunnokset sekä lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus. Järjestelmähäviöt muodostuvat lämmitysenergian tuoton, varastoinnin, jakelun, luovutuksen häviöistä ja muunnoksista sekä lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutuksesta. Energian muunnokset tapahtuvat esimerkiksi lämpöpumpuissa ja polttokennoissa. Lämmitysjärjestelmän energiankulutus eritellään sähkö- ja lämpöenergian osalta.

Rakentamismääräyskokoelman D5 mukaan örakennuksen ostoenergian kulutus on energiaa, joka hankitaan rakennukseen esimerkiksi sähköverkosta, kaukolämpöverkosta, kaukojäähdytysverkosta ja uusiutuvan tai fossiilisen polttoaineen sisältämänä energiana. Ostoenergia koostuu lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä sähkölaitteiden että valaistuksen energiankulutuksesta energiamuodoittain eriteltynä, missä on otettu huomioon vähennykset uusiutuvasta omavaraisenergiasta. Rakennuksen energiankulutus (kWh/m<sup>2</sup>a) on rakennuksen vuotuinen lämmitykseen, sähkölaitteisiin ja jäähdytykseen yhteensä kulutettu energiamäärä, johon ei sisälly eri energiamuotojen kiinteistökohtaisen eikä kiinteistön ulkopuolisen energiantuotannon häviöt.ö/2./

Rakennuksen energiakulutus lasketaan kaavalla

$$Rak_{ek} = (Q_{lämmitys} + Q_{iv} + Q_{lämmitys, lkv} + W_{tilat} + W_{ilmanvaihto} + W_{lkv, pumppu} + W_{jäähd} + W_{kuluttajalaitteet} + W_{valaistus}) / A_{netto} \quad (1)$$

,jossa

$Rak_{ek}$  rakennuksen energiankulutus, kWh/(m<sup>2</sup> a)

$Q_{lämmitys, tilat}$  tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a

$Q_{lämmitys, iv}$  ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve, kWh/a

$Q_{lämmitys, lkv}$  lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve, kWh/a

$Q_{jk}$  jäähdytysjärjestelmällä tuotettu vuotuinen jäähdytysenergia, kWh a

$W_{tilat}$  lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a

$W_{ilmanvaihto}$  ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a

$W_{lkv, pumppu}$  lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus, kWh/a

$W_{jäähd, apu}$  jäähdytysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus, kWh/a

$W_{kuluttajalaitteet}$  kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a

$W_{valaistus}$  valaistuksen sähköenergian kulutus, kWh/a

$A_{netto}$  rakennuksen lämmitetty nettoala, m<sup>2</sup>.

Toimistorakennuksen valaistuksen tyypillinen käyttöaika  $t$  on 2500 tuntia vuodessa /2/.



### 3 LÄMMÖNTALTEENOTTO JÄTEVEDENPUHDISTAMOLLA

#### 3.1 Jäteveden sisältämä lämpöenergia

Jätevesi sisältää viemäriin johdettujen vesien mukana tullutta lämpöä. Puhdistamolle johdetun jäteveden lämpötila vaihtelee hieman jätevesien mukaan. Teollisuus-, kylpylä- tai muun erityiskohteen liittyminen viemäriverkkoon voi nostaa puhdistamolle johdetun jäteveden lämpötilaa useilla asteilla. Ainoastaan yhdyskuntajätevesiä käsittelevillä jätevedenpuhdistamoilla jäteveden lämpötila on hyvin samankaltainen kaikilla puhdistamoilla, joilla jäteveden lämpötila vaihtelee hieman myös vuodenajan mukaan, ollen keskimäärin talvella noin 7-13 °C ja kesällä 15 - 18 °C. Lämpömäärä on riippuvainen myös massavirrasta. Puhdistamolle tuleva virtaama on jokaisella laitoksella yksilöllinen verkostonliittyjistä johtuen. Puhdistamolle tuleva virtaama vaihtelee vuodenajan ja vuorokauden ajan suhteen. Virtaamahuiput ajoittuvat maaliskoukokuulle lumien sulamisen aikaan ja minimi kesäaikaan. Vuorokausivaihtelussa virtaama on pienin yöllä ja suurin aamulla sekä alkuillasta. Jäteveden määrä noudattelee ihmisten asumisrytmiä verkostonpumpausviiveellä lisätynä. Nesteeseen sitoutunut lämpömäärä on riippuvainen aineen lämpötilasta ja massavirrasta sekä aineen ominaislämpökapasiteetista.

Aineen sisältämä lämpövirta eli lämpöteho ( ) muodostuu kaavan 2 mukaisesti

$$= q_v c_{pv} t \quad (2)$$

jossa

teho, kW

veden tiheys, 1000 kg/m<sup>3</sup>

q<sub>v</sub> virtaama, m<sup>3</sup>/s

c<sub>p</sub> veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kg K

t veden lämpötilaero, [K]./3, s. 314/

Jätevesi on fysikaalisesti hyvin lähellä puhdasta vettä, joten laskennassa voidaan käyttää veden ominaislämpökapasiteettia ja tiheyttä. Lämpötilaero t on lämmöntalteenotto

on tulevan jäteveden  $t_{\text{jätevesi}}$  ja lämmöntalteenoton jälkeisen jäteveden lämpötilan  $t_{\text{lto}}$  erotus. Veden sisältämä lämpöteho ( ) voidaan muuntaa kilowateista (kW) kilowattitunneiksi (kWh) kaavan 3 mukaisesti

$$= (q_v c_{pv} t)/3600 \quad (3)$$

jossa muuntokertoimen yksikkö on s/h /3/.

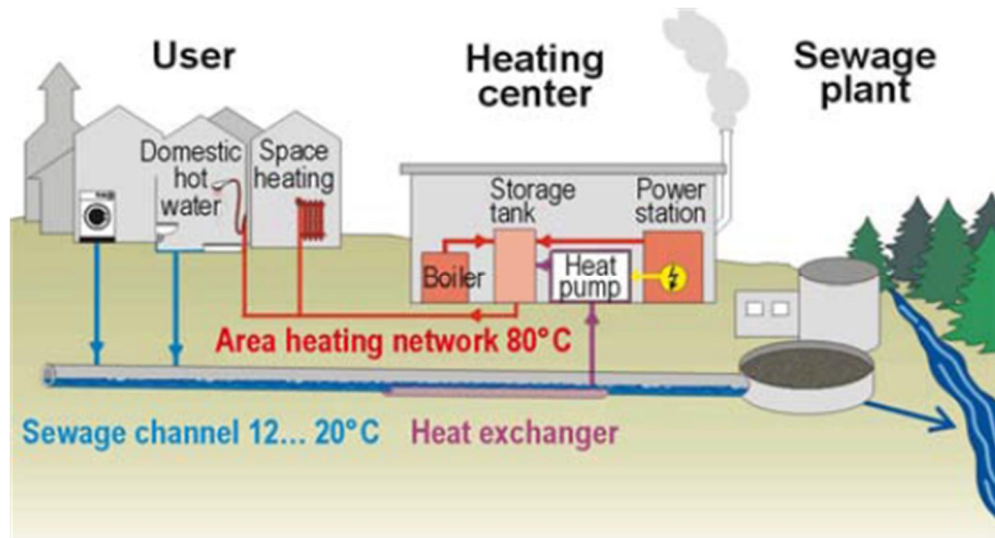
### 3.2 Jäteveden lämpöenergian hyödyntäminen

Lämpömäärä on riippuvainen jäteveden määrästä ja laadusta, joten saatava lämpömäärä vaihtelee viemärlaitoksittain. Laitoksen puhdistusprosessityypillä on vaikutusta LTO-tekniikkaan sekä talteenotto- $t_{\text{lto}}$ lämpötilaan. Laitoskohtaisesti tulevan jäteveden lämpötila on melko vakio ollen noin 8-15 °C. Lämmöntalteenoton jälkeen poistoviemäriin johdettavan jäteveden tulisi olla vähintään noin + 5 °C viemäriin jääntymisen estämiseksi. Hyödynnettävissä oleva lämpötilaero on noin 3-10 °C. Lämpömäärään vaikuttaa myös jäteveden tilavuusvirta, joka vaihtelee puhdistamokohtaisesti. Puhdistamolle tuleva virtaama on yleensä melko vakio lukuun ottamatta kevättä, jolloin lumien sulamisvesistä johtuvat vuotovedet aiheuttavat virtamaahuippuja. Tasaisen virtaamatuoton ja alhaisen lämpötilan ansiosta yhdyskuntajätevedenpuhdistamot soveltuvat hyvin lämpöpumpun lämmönlähteeksi. Kesäkaudella jäteveden lämpöenergian tuotanto on suurinta, mutta lämmityksen tarve pienin. Ylimääräenergiaa voisi kesäaikana käyttää myös jäähdytyksessä.

Lämmöntalteenotto jätevedestä tulisi toteuttaa mahdollisella vaihtimella tai lämpöpumpulla. Hyödyksi saatua lämpöenergiaa voidaan hyödyntää kohdekiinteistöllä rakennuksen lämmityksessä, lämpimän käyttöveden tuotannossa ja prosessin lämmityksessä tai jäähdytyksessä. Lämpöenergiaa voi jäädä myös yli kiinteistön oman tarpeen, jolloin sen johtaminen keskitettyyn lämpöverkkoon voisi olla mahdollista. Hukkalämpöenergian tuotanto on tasaista, mutta lämpöenergian tarve vaihtelee rakennuksen lämmitystarpeen mukaan. Lämmöntalteenotto jätevedestä voi tapahtua kiinteistössä (kierrätys tai viemäristä) tai jätevedenpuhdistamolla./13/

### 3.3 Lämmöntalteenotto jätevedestä

Jätevesi on potentiaalinen lämmönlähde. Suurimpien taajamien viemärlaitoksilla jäteveden lämpöä voidaan hyödyntää viemärilämmönvaihtimilla tai suurlämpöpumpuilla. /4/.



**KUVA 1. Lämmöntalteenotto jätevedestä lämpöpumpulla /4/**

Kaukolämpöverkkoon johdettua lämpöä voidaan käyttää lähialueen kiinteistöillä lämmityskiertoveden tai lämpimän käyttöveden lämmitykseen (kuva 1). Käyttökohteiden tulisi sijaita lähellä lämmöntalteenottolaitosta /4/.

#### 3.3.1 Lämmöntalteenottopaikka jätevedenpuhdistamolla

Puhdistamolla lämmöntalteenotto (lto) voidaan toteuttaa tulevasta jätevedestä (tuloviemäri), prosessivaiheesta tai lähtevästä jätevedestä (puhdistettu jätevesi). Suomessa lto tapahtuu yleisimmin puhdistetusta jätevedestä. Jätevedenpuhdistamolle tuleva puhdistamaton jätevesi sisältää kaiken viemäriin joutuneen materiaalin, kuten kiintoaineksen ja roskat. Jäteveden sisältämä kiintoaine aiheuttaa lämmönvaihtimien tukkeutumisriskiä.

Jäteveden lto puhdistamolle tulevasta jätevedestä tai prosessista voi vaarantaa biologisen jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessin veden lämpötilan laskiessa liian alas. Varsinkin biologinen typenpoisto edellyttää prosessiveden lämpötilaa yli 12 °C, jota kylmempi jätevesi haittaa ravinteidenpoistoa heikentäen puhdistamon puhdistusreduktiota sekä voi johtaa päästöluparajojen ylityksiin. Puhdistettu, laitokselta ulosjohdettava lähtevä jätevesi, sisältää melko vähän kiintoainetta tai muuta lämmönvaihdinta liikaavaa

ainesta, jolloin lto-laitteiden hyötyteho on parhain. Jäteveden lämpötila ei muutu oleellisesti puhdistamossa, joten lto:lla tulevasta jätevedestä saatava lämpömäärä hyöty on huomattavasti pienempi kuin jäteveden laadun aiheuttamat haitat. Kylmänä vuodenaikana jätevesi lämpenee puhdistusprosessin aikana puhdistamon sisäilma lämpötilan ansiosta. Puhdistetun jäteveden purkujärjestelmään johdettavan jäteveden tulee kuitenkin olla riittävän lämmintä pitämään purkulaitteisto sulana kaikissa olosuhteissa. Riittävänä lämpötilana voidaan pitää noin + 4 °C.

### **3.3.2 Lämmöntalteenottojärjestelmät**

Jäteveden lämmön hyödyntämiseen tarvittavia teknisiä perusvaihtoehtoja ovat pelkästään lämmönvaihdinta hyödyntävä suoraesilämmitysjärjestelmä tai lämpöpumppu, jolla voidaan tehostaa lämmöntuotantoa ja myös tuottaa jäädytysenergiaa /1, s. 18/.

Lämpöpumpulla voidaan potentiaalisesti hyödyntää jäteveden sisältämää lämpöä taajamassa, jossa asukasvastineluku on yli 5000 tai alueella on muutoin riittävän suuri jätevedenpuhdistamo. Jäteveden keskimääräinen virtaama tulisi olla vähintään 36 - 54 m<sup>3</sup>/h (10 - 15 l/s) ja suhteellisen jatkuvaa (ilman hulevesiä). Lämmönkäyttökohteessa lämmitystehon tarve tulisi olla vähintään 100 - 200 kW. Kohteen tulee sijaita alle 1000 metrin etäisyydellä puhdistamosta. Lämmön ja kylmän tuotannon yhdistäminen parantaa kannattavuutta. /1, s. 20./

## **3.4 Jätevedenlämmöntalteenoton käyttö jätevedenpuhdistamoilla**

### **3.4.1 Suomi**

Jätevesilaitoksissa prosessi-, huolto- ja toimistotiloja lämmitetään öljyllä tai sähköllä, vaikka jäteveden mukana poistuu suuria lämpömääriä melko korkeassa lämpötilatasossa (yli 5°C). Suomessa jätevesilaitokset ovat hyvä kohde lämpöpumpulle, jolla jätevedestä voitaisiin saada ilmaisenergiaa yhteensä n. 160 TWh/a. Sähkölämmitetyissä laitoksissa sähkön säästö olisi merkittävä. Lämmöntarpeeltaan merkittäviä kunnallisia jätevedenpuhdistuslaitoksia Suomessa on noin 420 kappaletta ja lämpöenergiaa ne käyttävät yhteensä 300 TWh/a./5, s. 9./

Suomessa on muutamalle laitokselle lämmitysjärjestelmien saneerauksina lämmönottoon käytetty ilmastusaltaan seinille sijoitettua putkistoa. Tehokkaampi tapa on ottaa

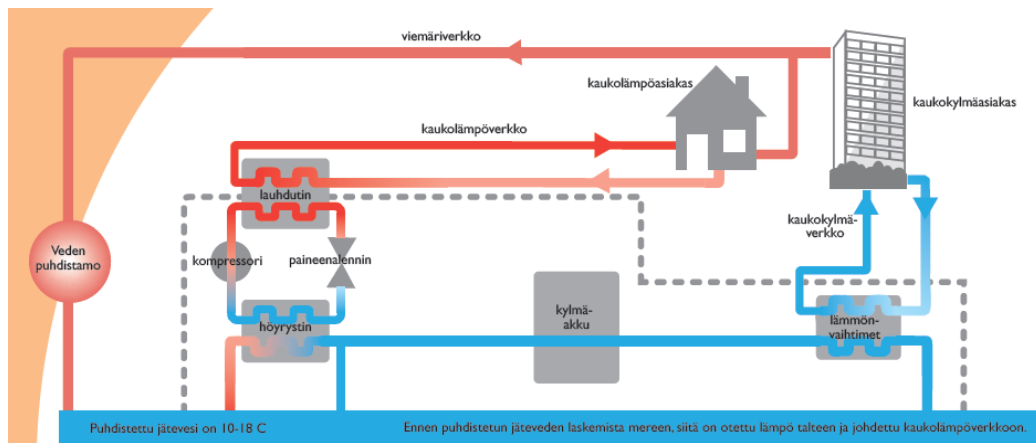
lämpö suoraan höyrytimen läpi virtaavasta puhdistetusta jätevedestä /6/. Suomessa lämmöntalteenottoa jätevedestä on toteutettu pääosin keskikokoja suuremmilla jätevedenpuhdistamoilla (avl noin 50 000 - 100 000). Lämmöntalteenotto tapahtuu aina käsitellystä lähtevästä vedestä. Teoreettisesti kannattavaa lämmöntalteenotto on jätevedenpuhdistamoilla, joiden tulovirtaama on noin 1000 m<sup>3</sup>/d, joka vastaa noin 5000 avl mitoitusta./1/

Suomessa lämpöpuilla toteutettuja jäteveden lämmöntalteenottolaitoksia ovat mm. HSY Viikinmäen jätevedenpuhdistamo ja Lapuan jätevedenpuhdistamo. Esimerkkejä Suomessa toteutetuista jäteveden lämmöntalteenottolaitoksista lämpöpumpuilla on esitetty taulukossa 1.

**TAULUKKO 1. Lämmöntalteenottolaitokset Suomessa /8, 1, 12, 18, 7, 29, 3, 6, /**

Sijainti käyttöönotto vuosi	Asiakas/ käyttö-kohde	Lämpö-/ kylmä- teho KW	Läm- mön tuotto kylmä MWh/a	COP	LPP vir- taama qv m <sup>3</sup> /h	Lämmön talteen- otto- paikka vir- taama qv m <sup>3</sup> /h	LTO Valmistaja
Orimattilan Vesi, Vääräkos- ken jvp	puhdistamon lämmitys, LTO lamellin kautta	100	150	4,5- 5,0	-		Pemco Oy,
Joensuun Vesi,	puhdistamon lämmitys	800	-	4,5	-	-	Oilon Oy, Scancoll S- sarja
Kiteen vesi- kunta, Keskus- taajaman jvp	puhdistamon lämmitys, LKV	100	-	-	16	100	Läm- pöÄssä Oy
Haapavesi	puhdistamon lämmitys, LKV	170	-	-			GebWell Oy
Turku Energia, Kakolanmäki	KL-yhtiö	19 000/ 13 000	150 000		1750 (max)	1000	Fortum Oy
Espoo, Suo- menoja	KL-yhtiö		300 000	-		4200	Fortum Oy
Suomussalmi, Pitäjänmäki	puhdistamon lämmitys	120	-	-	-		Nibe FI 330
Vaasan Vesi , Pätt	puhdistamon lämmitys, LKV	600	-	4	-	670	-
Helsinki, (Katri Vala), 2006	KL-yhtiö	90000/ 60000	200 000	3,5/ 5,5	-	11000	-

Turun Energia Oy hyödyntää jätevedenlämpöenergiaa Turun Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla, joka on yksi Suomen suurimmista jätevedenpuhdistamoista. Lämpöenergiaa tuotetaan Fortumin lämpöpumpuilla ja lämpö johdetaan kaukolämpöverkkoon (kuva 2) /7/.



**KUVA 2. Turun Kakolanmäen lämpöpumppulaitos /7/**

Orimattilan Vesi Oy ottaa Vääräkosken jätevedenpuhdistamolla puhdistettavan jäteveden hukkalämmön talteen lämpöpumpun avulla. Lämpöenergia käytetään puhdistamorakennuksen lämmitykseen. Lämpöpumppu on teholtaan noin 100 kW, ja se on liitetty tuloilmakoneen lamellipatteriin. Rakennuksen peruslämpö tuotetaan lämmöntalteenottojärjestelmällä, jolla poistoilman lämpö siirretään takaisin tuloilmakanavaan. Jätevesilämmöllä tuotetaan niin paljon lämpöä kuin voidaan, ja loppu tuotetaan sähkölämmityksellä (kylmähuippujen lisälämpö). Puhdistamolle tuleva vesi on talviaikanakin 8 - 10 °C. Teknillistaloudellisessa tarkastelussa lämmöntalteenotto lämpöpumpulla osoitautui parhaimmaksi vaihtoehdoksi. Tavoitteena oli vähentää kiinteistön ostolämmitys-sähkönkulutusta 250 MWh:sta noin 100 - 120 MWh:n, joka vastaisi 14 000 €:n säästöä vuodessa. Lämpöpumppujärjestelmän rakentaminen maksoi noin 60 000 €. Lämpöpumppujärjestelmän takaisinmaksuajaksi tuli reilu neljä vuotta. TEM avusti hanketta 20 % (kuntien energiaohjelma), mikä lyhensi maksuaikaa noin vuodella. Huoltovarmuuden takaamiseksi jätevettä kierrättävä lämmönvaihdin toimitettiin avattavana puhdistettavana mallina. /8./

Helsingissä sijaitsevan vuonna 2006 valmistuneen Katri Valan laitoksen kaukolämpöteho on 90 MW ja kaukojäähdytysteho 60 MW. Lämpöpumput ovat viitenä toisistaan riippumattomana yksikkönä, jolloin jokaisen koneikon jäähdytysteho on 12 MW. Kesäisin lämpöpumppulaitosta voidaan käyttää kompressorijäähdytyksen tavoin, jolloin kylmäaine lauhdutetaan meriveteen. Lähes poikkeuksetta lämpöpumppulaitos toimii kuitenkin yhdistetyssä tuotannossa, jolloin kaukojäähdytysveden lämpösisältöä siirretään kaukolämpöveeten. Sama laitos myös ottaa talvisin mereen johdettavan puhdistetun jäteveden sisältämän lämmön talteen kaukolämmitysverkkoon. /5. s 21./

Jätevedenlämmöntalteenottolaitoksia on suunniteltu mm. seuraaville jätevedenpuhdistamoille Espoon Blomminmäki, Kuopion Lehtoniemi ja Lahden Kariniemi. Blomminmäen jätevedenpuhdistamon lämpöä tullaan johtamaan kaukolämpöverkkoon.

### 3.4.2 Ruotsi ja muu Eurooppa

Ruotsissa ja Norjassa jäteveden lämpöä on hyödynnetty suuremmissa mittakaavassa jo 1980 - luvulta alkaen. Ruotsissa on nykyään toiminnassa 40 - 50 puhdistettua jätevettä hyödyntävää suurta lämpöpumppua (>1 MW), jotka toimittavat vuosittain 6 200 GWh lämpöenergiaa kaukolämpöverkkoihin. Jäteveden lämpöenergian hyödyntäminen on kuitenkin hiipunut bio- ja jäte-energiälähteiden yleistyttyä. Jäteveden energiatuotannon potentiaali on kuitenkin pienemmällä jätevedenpuhdistamoilla korvaamassa sähkön ja öljyn käyttöä omalla laitoksella sekä kiinteistöillä, joissa passiivisen systeemin käyttäminen on mahdollista (lämmönsiirtimet). Ruotsissa arvioidaan, että jäteveden lämmön hyödyntämätöntä potentiaalia olisi edelleen noin 1 700 GWh vuodessa. /1, s. 18 - 20./

Keski-Euroopassa perehtyminen jäteveden lämmön hyötykäyttöön alkoi tiiviimmin 1990 - luvulla. Erityisesti Sveitsissä ja Saksassa on tehty systemaattista työtä jäteveden lämmön hyötykäytön saamiseksi merkittävämpään rooliin yhtenä primäärienergiaa korvaavien ja CO<sub>2</sub>-päästöjä alentavien toimenpiteiden joukossa. Muutamissa muissa maissa on arvioitu jäteveden hyödynnettävissä olevan lämpöenergiapotentiaalin vuositasolla olevan Saksassa 11 000 GWh, Sveitsissä 2 000 GWh, Norjassa 1 500 GWh ja Itävallassa 500 GWh. Erään arvion mukaan maailmanlaajuisesti jätevettä hyödyntäviä lämpöpumppuja on käytössä jo yli 500 kappaletta, jotka ovat teholtaan 10 kW - 20 MW. /1, s. 18 - 20./

Esimerkkejä muualla kuin Suomessa toteutetuista jätevesilämpöpumppulaitoksista on koottu taulukkoon 2.



**TAULUKO 2. Jätevettä hyödyntävät lämpöpumppulaitokset /1, s. 22, taulukko 1/**

Sijainti/ vuosi	Asiakas / käyttökohde	Lämpö- / kylmäteho kW	Tuotettu lämpö/kylmä MWh	COP	Lämmön talteenotto- paikka	T °C	Qmin l/s
Itävalta, Wien	toimisto-kiin- teistö	190 / 149	366 / -	3,7	viemäri	0,2	300
Ruotsi, Alvesta, 1981, 2002	JV-puhdistamo	214	1000		JV-puhdistamo	4	
Sveitsi, Binningen, 2001	kerrostalo, 300 asuntoa	380	2400	3,2	viemäri,	0,3	200
Saksa, Lingen, 2004	KL-yhtiö (31%)	120	460	3,4	teollisuusviemäri		42
Norja, Skoyen, 1980, 2006	KL-yhtiö (10%)	18400	85 000	2,85	viemäri-tunneli	5	
Norja, Sandvika, Oslo 1989	KL-yhtiö (52 %)	13000/9000	47 00/11000	3,1	viemäri-tunneli	8	3000
Ruotsi, Örebro 1984, 2005	KL-yhtiö (10 %)	40 000	120000/9000	3	ju-puhdistamo	5	

Jäteveden lämmöntalteenottopaikaksi on ilmoitettu pääosin viemäri, mutta tarkempaa tietoa sijainnista verkostossa ei ole saatavilla. Viemäriin sijoitetut lämmöntalteenotto-laitteet hyödyntävät puhdistamatonta jätevettä. Lämpöpumppujen lämpökertoimet (COP- arvot) ovat 2,8 - 3,7. COP- arvonn laskentatapaa ei ole tarkemmin eritelty.

### 3.5 Hallinto ja talous

#### 3.5.1 Energiatuki

TEM:n energiakatselmustukea voivat saada yritykset ja yhteisöt (esimerkiksi kunnat, seurakunnat ja säätiöt). Investointitukea yrityksille ja yhteisöille voidaan myöntää muun muassa hankkeisiin, jotka edistävät energiansäästöä uutta teknologiaa hyödyntäen tai edistävät uusiutuvan energian käyttöä. Lisäksi energiatehokkuussopimusjärjestelmään liittyneiden yritysten ja yhteisöjen on mahdollisuus saada tapauskohtaisen harkinnan perusteella tukea myös tavanomaisen tekniikan säästöinvestointien toteuttamiseen. Tuettavista hankkeista on laskelmilla selkeästi osoitettava koituvan energiansäästöä. Energiatukea voidaan hankekohtaisen harkinnan perusteella myöntää sellaisiin ilmasto- ja ympäristömyönteisiin investointi- sekä selvityshankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan

energian tuotantoa tai käyttöä, energiansäästöä tai energiantuotannon tai sen käytön tehostamista taikka vähentävät energian tuotannon tai käytön ympäristöhaittoja. Energiatekniikalla pyritään erityisesti edistämään uuden energiateknologian käyttöönottoa. Energiansäästön ja energiankäytön tehostamista koskevia investointihankkeita ovat tavanomaisen teknologian hankkeet, jotka liittyvät energiatehokkuussopimusjärjestelmään. Energiansäästöön ja energiankäytön tehostamiseen sekä uusiutuvan energian käyttöön liittyviä tuettavia selvityshankkeita ovat energiakatselmukset ja energia-analyysit. Tuettavia hankkeita eivät ole tavanomaiset liiketoiminnan perustamis-, laajennus-, kannattavuus-, kehitys-, suunnittelu-, markkinointi- tai testausselvitykset. Energiatukea ei pääsääntöisesti myönnetä hankkeille, jotka kuuluvat päästökauppalain (311/2011) piiriin. /9./

Energiakatselmustoiminnan tavoitteena on analysoida katselmuskohteiden kokonaisenergian käyttö, selvittää energiansäästöpotentiaali ja esittää ehdotettavat säästötoimenpiteet kannattavuuslaskelmineen. Energiakatselmuksissa selvitetään myös mahdollisuudet uusiutuvien energiamuotojen käyttöön ja energiansäästöpotentiaaliksi katselmuksissa raportoidaan ehdotettavien toimenpiteiden vaikutus CO<sub>2</sub>-päästöihin. Energiakatselmus perustuu toteutusajankohdan tuotanto-, energiankulutus- ja käyttötietoihin, mutta siinä pyritään mahdollisimman paljon ottamaan huomioon myös tiedossa olevat ja suunnitellut muutokset. Tavoitteena on liittää energiakatselmus tiiviisti kohteen muihin toimintaprosesseihin niin, että siitä syntyy työkalu, joka palvelee kohdetta myös myöhemmin energiatehokkuuden jatkuvassa seurannassa ja ylläpidossa. /9./

Tavanomaisen tekniikan (myös lämpöpumpputekniikka) energiansäästöinvestointien tuissa on rajoituksia. Peruskorjaushankkeisiin voidaan erityistapauksissa myöntää tukea erillisiin energiaa säästäviin laitteisiin/järjestelmiin, jos hakijalla on selvästi olemassa vaihtoehto jättää ne toteuttamatta sekä ne ovat selkeästi ja yksilöidysti ja riittävästi perusteltuja. Lämpöpumppuihin tukea voidaan myöntää, mikäli voidaan osoittaa niillä olevan energija-järjestelmän tasolla korvattavaan energiaan verrattuna selkeästi CO<sub>2</sub>-päästöjä vähentävää vaikutusta. Investointitukea ei myönnetä tavanomaiseen tekniikkaan perustuvaan hankkeeseen, joka on luonteeltaan kunnossapitotoimenpide. Tavanomaisen tekniikan energiansäästöinvestointien tukimäärä on enimmillään 20 %. Tuettavan hankkeen minimikoko on 10 000 euroa. Se voi koostua myös pienempiä investointeja sisältävästä paketista, jonka keskimääräinen takaisinmaksuaika asettuu hyväksyttäviin rajoihin. Tuettavan hankkeen kustannusten ylittäessä 5 M€, tukipäätös tehdään

TEM:ssä./10/ Energiatuen osuus hyväksyttävistä kustannuksista voi olla enintään 30 - 50 %. Tavanomaisen teknologian käyttöön liittyvissä hankkeissa ja muissa energiantuotannon ympäristöhaittoja vähentävissä investoinneissa 30 %. Tyypillisiä hankkeita sekä niiden tukia vuonna 2014 ovat lämmöntuotannossa lämpökeskukset (biomassa) 10615 %, aurinkolämpöhankkeet 20 %, biokaasuhankkeet 20630 % ja lämpöpumppuhankkeet 15 %. Jäte- ja hukkalämmön hyötykäyttöön liittyviin lämpöpumppuhankkeisiin sovelletaan poikkeuksellisesti energiansäästöön liittyviä tukiprosentteja, jotka ovat noin 10 - 20 %./9./

Energiatukea haetaan aina siitä elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksesta, jonka toiminta-alueella investointi tai selvityshanke toteutetaan. Jos hanke toteutetaan usealla paikkakunnalla, tulee hakemus jättää siihen ELY-keskukseen, jonka toiminta-alueella hakijan kotipaikka sijaitsee. Tukea sekä tuen maksatusta haetaan työ- ja elinkeinoministeriön vahvistamilla lomakkeilla, joista ilmenevät myös ohjeet hakemuksen tekemiselle sekä tarvittavat liitteet. Tukea tulee hakea ennen hankkeen aloittamista. Investointihankkeeseen tukea voidaan myöntää, jos sen hyväksyttävät kustannukset ylittävät 5 000 000 euroa ja selvityshankkeeseen, jonka hyväksyttävät kustannukset ylittävät 250 000 euroa. Työ- ja elinkeinoministeriö päättää myös tuen myöntämisestä, jos investointihanke liittyy uuden teknologian käyttöönottoon ja selvityshanke uuden palvelun tai menetelmän kehittämiseen. /9./

### **3.5.2 Sopimukset ja rajoitukset jäteveden lämpöenergian hyödyntämiselle**

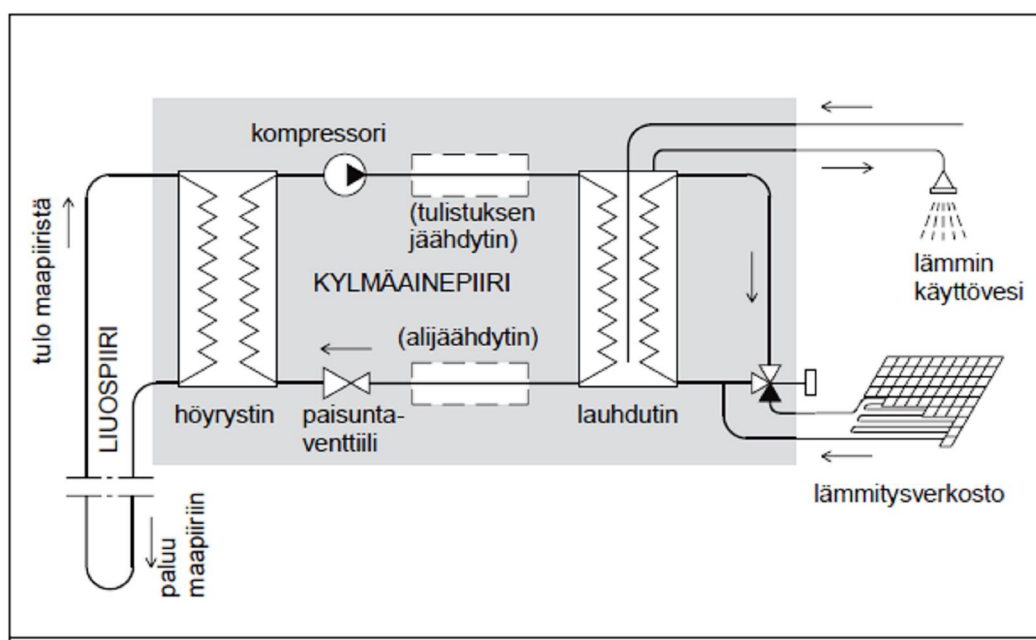
Jätevedenpuhdistamolla ja viemäriverkossa lämpö kuuluu viemärilaitokselle, mutta kiinteistöllä kiinteistölle (kiinteistöviemäri) ellei sopimusehdoissa toisin ole sovittu /1, s. 20/. Vesihuoltolain mukaan vesihuoltolaitos voi halutessaan määrittää ja asettaa liittymissopimuksessa ehdot viemäriin johdettavalle jäteveden laadulle. Myös viemäriin johdettavan jäteveden lämpötilalle voidaan asettaa minimi- ja maksimiarvot. Suomessa näin ei kuitenkaan ole perinteisesti toimittu lukuun ottamatta teollisuusjätevesisopimuksia. Poikkeuksena on Helsingin seudun ympäristöpalvelut, joka on laatinut viemäriin liittymissopimukseen ehdon jäteveden vähimmäislämpötilalle turvatakseen jätevedenlämmöntalteenottolaitoksen energian saannin.

## 4 LÄMPÖPUMPUT

### 4.1 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Lämpöpumpulla voidaan mekaanisen työn avulla siirtää lämpöä alemmasta potentiaalista korkeampaan. Lämpöpumppu toimii sähköllä, ja sen avulla lämpö siirretään veden tai ilman välityksellä lämmitettäviin tiloihin. Lämpöpumpun sähkönkulutus on kuitenkin vain pieni osa esimerkiksi suoran sähkölämmityksen vaatimasta määrästä. Lämpöpumppukoneisto on toiminnaltaan melko samanlainen kuin jääkaapin jäädytyskoneisto, mutta teholtaan suurempi. Lämpöpumpun teho on yleensä yli 4 kW:a. Lämpöpumppu ottaa lämmön virtaavasta aineesta, kuten esimerkiksi jätevedestä, ja siirtää sen esimerkiksi lämmitykseen ja lämpimään käyttöveteen. /11./

Lämpöpumppukoneiston toiminta perustuu koneistossa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Kylmäaineen höyrystyminen vaatii lämpöä, joka otetaan höyrystimessä matalassa lämpötilassa ilmasta tai liuoksesta. /12/ Neste kiertää pumpun höyrystimen kautta. Höyrstyessään kylmäaine sitoo lämpöä ja jäädyttää nestettä. Kompressori imee höyryn ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, jolloin höyryn lämpötila nousee. Lauhduttimessa nesteeseen sitoutunut lämpö vapautuu ja luovutetaan välittäjäaineeseen. Lauhduttimesta nesteytynyt kylmäaine johdetaan takaisin höyrystimeen (kuva 3). /13./



KUVA 3. Lämpöpumpun osat ja toimintaperiaate /11./

## 4.2 Lämpöpumpun pääkomponentit

### Höyrystin

Yleisin höyrystin on levylämmönsiirrin tyyppinen höyrystin, jossa kylmäaine ja neste virtaavat toisiaan vastaan. Nämä soveltuvat myös kylmäaineille, joilla on pieni lämpötilaliukuma. Levylämmönsiirtimellä on pieni tilantarve ja hyvä hinta-laatusuhde. /13, s. 226./

### Kompressori

Lämpöpumpuissa käytetään 100 kW:n lämmitystehoon asti hermeettisiä mäntä- ja scroll-kompressoreita. Suuremmilla tehoilla käytetään yleensä puolihhermeettisiä mäntäkompressoria. ARI-olosuhteissa Scroll-kompressorin lämpökerroin on jopa 10 % parempi, mutta todellisissa olosuhteissa (höyrystyslämpötila  $\pm 5$  °C, lauhtumislämpötila 55 °C, alijäähtyminen 5 K, tulistuminen 7 K) lämpökertoimet ovat lähellä toisiaan. Scroll-kompressorit ovat herkempiä märälle imuhöyrylle kuin mäntäkompressorit. Lämpöpumppujen kompressorin valintakriteerejä ovat lämpökertoimen lisäksi mm. hinta, kestävyys, tilantarve, äänitaso, eristettävyyys ja putkiliitännöiden sijainti. /13, s.225./

### Lauhdutin

Lämpöpumpuissa käytetään pääosin levylämmönsiirrin tyyppisiä lauhduttimia niiden pienen tilantarpeen ja hyvän hinta-laatusuhteen vuoksi. Lauhdutin voi olla myös putkierukka, joka on asennettu joko lämmitys- tai käyttövesisäiliöön. Lauhduttimen lisäksi lämpöpumpussa voi olla tulistuksen poistovaihdin, jolla lämmin käyttövesi lämmitetään lauhtumislämpötilaa kuumemmaksi. Lämpöpumpun lämpökerrointa voidaan parantaa myös alijäädyttimellä, jolla esilämmitetään käyttövettä./13, s.225./

### Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiilinä käytetään yleensä termostaattista mekaanista venttiiliä. Suuremmissa lämpöpumpuissa voidaan käyttää myös elektronisia paisuntaventtiilejä, jotka pystyvät mukautumaan vaihteleviin käyttöolosuhteisiin ja joilla saavutetaan mahdollisimman pieni vakaa tulistus./13, s.226./

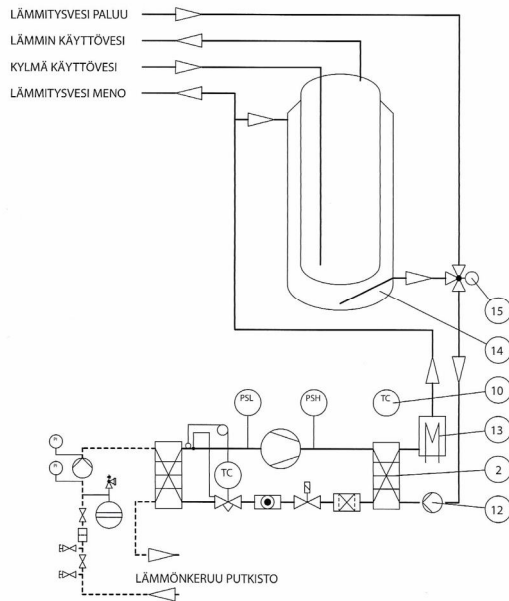
### Kylmäaineet

Yleisiä maalämpöpumpuissa käytettyjä kylmäaineita ovat mm. R407, R134a, R404, R507 ja R410A. Kylmäaineen valinta vaikuttaa mm. koneiston lämpökertoimeen, käyntipaineisiin, puristuslämpötilaan ja tulistuslämmön osuuteen. Mahdollinen kylmäaineen lämpötilaliukuma tulee ottaa huomioon höyrystimen ja lauhduttimen mitoituksessa. /13, s.226- 227./

Jäähdytysenergian ominaistuotto ( $\text{kJ/m}^3$ ) on suurimmalla osalla kylmäaineista vajaa  $3000 \text{ kJ/m}^3$ . R410-seoksilla se on selvästi muita suurempi, (n.  $4000 \text{ kJ/m}^3$ ). Huonoimmat tässä suhteessa ovat R134a, R152a ja R409A, joilla tilavuustuotto matalista paineista johtuen on vain vajaat  $2000 \text{ kJ/m}^3$ . Jäähdytysenergian ominaistuoton pienentyessä tarvitaan suurempi kompressori. /5, s.9./ Kylmäaineen valinta vaikuttaa kompressorin mitoitukseen.

### **4.3 Lämpöpumpputyypit**

Suomessa ei ole sallittua tuottaa lämmintä käyttövettä järjestelmällä, jossa kylmäaineen ja käyttöveden välissä on vain yksi seinämä /13, s.229./. Ruotsalaismallisessa lämpöpumpussa lämpöpumppuun on lisätty vaipallinen käyttövesisäiliö (kuva 4). Lämmitysveden kiertovesipumppu ja käyttöveden lämmityksen 3-tieventtiili ovat eripaikoissa. Lämpöpumpun säädin priorisoi käyttöveden lämmityksen. 3-tieventtiili ohjaa lämpöpumpun lämmittämän veden kiertämään käyttövesisäiliön vaipankautta. Tarvittaessa lauhduttimessa kiertävää lämmitysvettä lämmitetään lisää sähkölämmittimellä. Käyttövesisäiliön lämpötila on vähintään  $+55 \text{ °C}$ . Muutoin säädin ohjaa kompressorin ja sähkölämmittimen toimintaa sekä lämmityksen 3-tieventtiiliä ulkoilman tai huonelämpötilan perusteella. Lämmitysjärjestelmän suunnittelussa tulee varmistaa lauhduttimen vesivirran pysyminen vakiona. Lämmitysvedenkiertoon voidaan asentaa säiliö tasaamaan lämpötilan vaihteluja./13, s.230./



Kuva 17.10.  
Lämpöpumppu, jossa on vaipallinen  
käyttövesisäiliö.

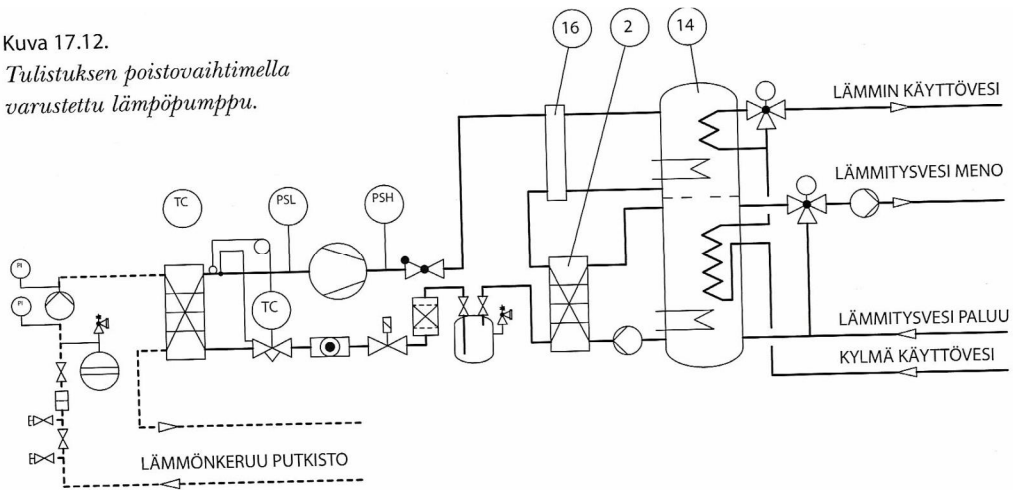
#### KUVA 4. Ruotsalaismallinen lämpöpumppu /13, s. 230, kuva 17.10/

Varaajamallisessa lämpöpumpussa lauhdutinputkisto on käyttövesisäiliön ulkopuolella vaipassa. Järjestelmässä hyödynnetään myös tulistuslämpöä, joka lämmittää käyttövesisäiliön vettä. Käyttövesisäiliö on varustettu lisäksi lämmitysvastuksella. Lämmitysvesi kiertää vaipassa ja lämmitykseen lähtevän veden lämpötilaa säädetään 2-tiemoottoriventtiilillä.

Tulistuslämmön erikseen hyödyntävässä lämpöpumpussa kompressorista lähtevä kuuma, tulistunut höyry johdetaan tulistuslämmönvaihtimen kautta lauhduttimeen (kuva 5). Tällöin päästään jopa 80 - 85 °C lämpötilaan. Vesi kiertää omavoimaisesti tulistuksen poistovaihtimen ja käyttöveden lämmityssäiliön yläosan kautta. Sovelluksissa käyttövesi voidaan esilämmittää lämmityssäiliön alaosassa varsinaisella lauhdelämmöllä ja lämmittää lisää tulistuslämmöllä (priimaus). Tällöin säästetään sähköenergiaa noin 10 - 15 % verrattuna sähkövastuksen käyttöön./13, s.231-232./ Osa lämpöpumpuista voidaan varustaa säätimillä, joilla ohjataan lämpöpumpun lisäksi patteri- ja lattialämmityspiirin 3-tieventtiileitä sekä mahdollista lisälämmitystä /13, s.232./ Lämpöpumppujärjestelmän taloudellinen käyttöikä on 15 - 20 vuotta. Vuotuinen lämpökerroin-COP on keskimäärin 2,6 - 3,6. /11./

Kuva 17.12.

*Tulituksen poistovaihtimella varustettu lämpöpumppu.*



**KUVA 5. Tulituksen poistovaihtimella varustettu lämpöpumppu /13, s. 232/**

#### 4.4 Mitoitus

Lämpöpumppu voidaan mitoittaa tuottamaan kompressorilla kaikki lämpöenergia (täysteholämpöpumppu) tai siten, että tarvitaan lisälämpöä, jolloin kyseessä on osateholämpöpumppu./13, s 236/ Osatehomitoituksessa lämpöpumpun enimmäisteho mitoitetaan vastaamaan 50 - 70 % rakennuksen lämmitystehon enimmäistarpeesta, jolloin lämpöpumppu kuitenkin tuottaa lämmitysenergian kokonaisvuositarpeesta 80 - 95 %, jolloin lämpöpumppu käy hyvällä hyötysuhteella pitkiä jaksoja lämmityskaudella. Lämpöpumpun lämpökerrointa parannetaan merkittävästi mitoittamalla maalämpöpumppu mahdollisimman korkeaan höyrystyslämpötilaan (0...+3 °C) ja alhaiseen lauhdutuslämpötilaan (+35...+40 °C). Lisätehoa saadaan tarvittaessa vesivaraajaan asennettulla sähkövastuksella. Näin vähennetään merkittävästi kompressorin pysäytys- ja käynnistyskertoja ja siten myös sähkönkulutusta, kulumista ja lämpökertoimen alenemista. /11./

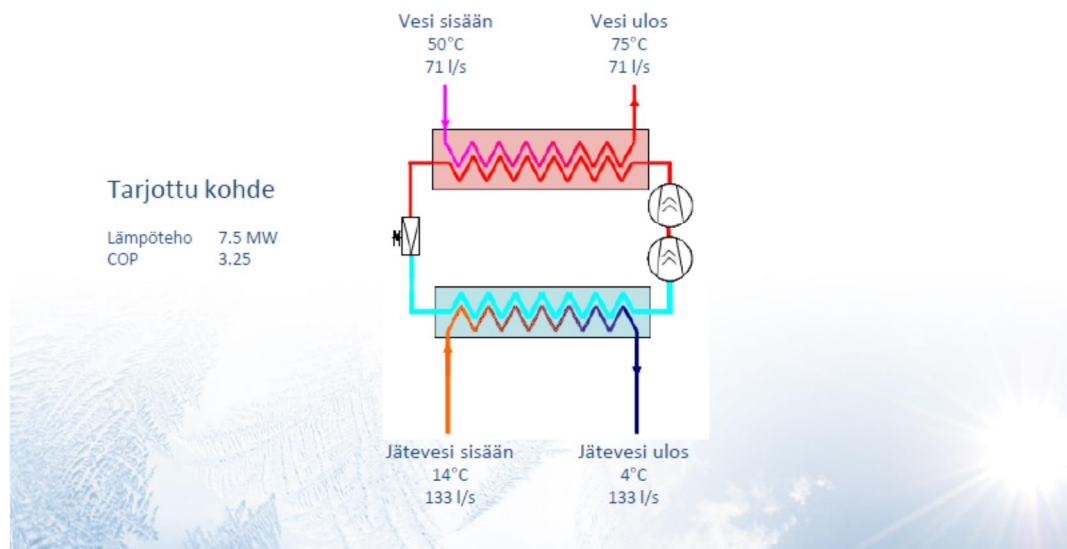
Täystehomitoituksessa lämpöpumppu mitoitetaan enimmäisteholle, jolloin järjestelmä tuottaa tarvittavan energian kokonaan lämpöpumpulla. Täystehomitoituksessa tarvitaan yleensä isompi lämminvesivaraaja, jolloin investointikustannus on jonkin verran suurempi. Lauhduttimen häiriötön toiminta edellyttää, että lauhduttimesta poistuu jatkuvasti riittävä määrä lämpöä, jotta kylmäaine (kuumakaasu) pääsee jäähtymään ja nesteytymään ja siirtymään prosessissa eteenpäin. Muuten kompressorin tuottama paine ja kuumakaasun lämpötila nousevat, kunnes yläpainekeytkin pysäyttää kompressorin. Jatkuva ylikuumentuminen voi vahingoittaa kompressoria, koska kylmäaineen mukana



kulkevan voiteluaineen lämpötila nousee niin korkeaksi, että voiteluainetta voi krakautua järjestelmään ja heikentää sen toimivuutta ja myös kompressorin voitelua. /11./

Lämpöpumpun optimaalinen mitoitusaste on noin 70 % riippuen hieman lämmitysjärjestelmän lämpötilatasoista ja energian (yleensä sähkön) hinnasta. Lämpöpumpun toimintaan vaikuttavia lämpötiloja ovat ilman meno-lämpötilan mitoitusarvo (ohjaus ulkolämpötilan mukaan), jäteveden lämpötila ja sisätilan lämpötila. Lämpötilatason mukana nousee luonnollisesti energiantarve. Lämpöpumpulla saatavissa olevan säästön osuus pysyy kuitenkin suunnilleen samana, mutta absoluuttinen määrä kasvaa lämmöntarpeen suhteessa. Koska samalla lämpöpumpun tehokin nousee (jos mitoitusaste pidetään samana), ei kannattavuus juuri muutu. Korkeammalla sisätilan lämpötilatasolla mitoitusaste on suurempi, koska vuotuinen lämmöntarve on suurempi. /5./ Esimerkki jäteveden lämmöntalteenoton mitoituksesta lämpöpumpulla on esitetty kuvassa 6.

## Jätevedestä kaukolämpöä



**KUVA 6. Periaatekuva kaukolämpötuotannosta jätevedellä /14./**

Lämpöpumpun kannalta parhaat lämmönjakotavat ovat lattialämmitys ja ilmalämmitys, mutta hyödyksi saatavalla lämmöllä voidaan myös lämmittää käyttövetä. Lämpöpumpulaitoksen lämpötilatasot määräytyvät käyttötarkoituksen mukaan. Lämpötilat ovat lattialämmityksessä 30/40 ja patterilämmityksessä 40/50 tai 50/60 sekä LVK:ssa yli +55 °C.

## 4.5 Lämpökerroin

Lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvataan lämpökertoimella (COP-arvo), joka kuvaa, kuinka paljon lämpöä saadaan laitteeseen käytetyllä sähköllä. Lämpökerroin voidaan ilmoittaa pelkästään kompressorille tai koko lämpöpumpulle. Lämpöpumppu toimii parhaimmalla lämpökertoimella matalissa toisiopiirin lämpötiloissa. Tämän vuoksi se on erityisen sopiva lämmönlähde lattialämmitykseen ja ilmalämmitykseen. Ainoastaan lauhduttimella tuotettavan lämmitysveden korkein lämpötila on + 55°C. Erillistä lämmönvaihdinta käyttäen voidaan tulistuslämmöllä tuottaa kuumempaa käyttövedettä (+ 65°C)./13/

Lämpöpumpun ominaisuuksien vuoksi lämpökerroin riippuu voimakkaasti lämpötiloista lämmönlähteessä eli lämmönnotossa ja lämmitysjärjestelmässä sekä lämmönluovutusjärjestelmässä. Suurin hyöty saavutetaan, jos lämmönoton lämpötila on mahdollisimman korkea ja lämmönkäytön lämpötila mahdollisimman alhainen. Kylmäkerroin on kylmäprosessin hyötysuhteesta käytetty nimitys. Kylmäkerroin saadaan jakamalla höyrystimen sitoma lämpö Q kompressorin tekemällä työllä./13, s. 10./

$$\epsilon = \frac{Q_1}{W} \quad (4)$$

Lämpökerroin ( ) lasketaan jakamalla lauhduttimen luovuttama lämpö kompressorin tekemällä työllä /13, s. 11./

$$= Q_1 / W \text{ tai } +1 \quad (5)$$

Lämpökerroin (COP<sub>2c</sub>) lasketaan jakamalla lauhtumislämpötila lauhtumislämpötilan ja höyrystymislämpötilan erotuksella /13, s. 11./

$$\text{COP}_{2c} = T_1 / (T_1 - T_2) \quad (6)$$

jossa on T<sub>1</sub> lauhtumislämpötila ja T<sub>2</sub> höyrystymislämpötila.

Kokonaiskylmäkerroin ( $COP_{2t}$ ) lasketaan jakamalla höyrystimen kylmäteho kompressorin ottamalla sähköteholla /13, s. 11./.

$$COP_{2t} = \frac{\dot{Q}_2}{P_e} \quad (7)$$

jossa  $\dot{Q}_2$  on höyrystimen kylmäteho (kW) ja  $P_e$  on kompressorin ottosähköteho (kW). Virtasen (2010) tutkimuksen mukaan lämpöpumpun lämpökertoimen avulla voidaan tehdä suoraan karkea arvio pumpun energiantuoton osuudesta rakennuksen sähköenergiantarpeesta (taulukko 3) /5/.

### TAULUKKO 3. Lämpöpumpun lämpökertoimen vaikutus energiaosuuksiin /5/

Lämpökerroin	Sähköenergiaa	Ilmaisenergiaa
4.0	25 %	75 %
3.9	26 %	74 %
3.8	26 %	74 %
3.7	27 %	73 %
3.6	28 %	72 %
3.5	29 %	71 %
3.4	29 %	71 %
3.3	30 %	70 %
3.2	31 %	69 %
3.1	32 %	68 %
3.0	33 %	67 %
2.9	34 %	66 %
2.8	36 %	64 %
2.7	37 %	63 %
2.6	38 %	62 %
2.5	40 %	60 %
2.4	42 %	58 %
2.3	43 %	57 %
2.2	45 %	55 %
2.1	48 %	52 %
2.0	50 %	50 %

#### 4.6 Lämmönsiirtimet

Lämmöntalteenottoon käytetään lämmönsiirrintä, joka voi olla myös talteenottojärjestelmään integroitu kuten lämpöpumpuissa. Lämmönsiirron laskennassa käytetään lämpökapasiteettivirtaa ( $q_v$ ), joka on massavirran ja ominaislämpökapasiteetin tulo

$$q_v = \dot{m} c_p \quad (8)$$

jossa on  $\rho$  tiheys,  $q_v$  on tilavuusvirta ja  $c_p$  on aineen ominaislämpökapasiteetti.

Lämmönsiirtimessä siirtyvä lämpövirta on

$$= \dot{Q}_1 (T_1 - T_2) = \dot{Q}_2 (T_1 - T_2) \quad (9)$$

jossa  $T_1$  on sisään tulevan aineen lämpötila ja  $T_2$  siirtimestä lähtevän aineen lämpötila.

Lämmönsiirtimien avulla siirretään lämpöä ainevirrasta toiseen aineiden kuitenkin sekoittumatta toisiinsa. Rekuperatiivisissa lämmönsiirtimissä kulkee jatkuvasti kaksi seinämän toisistaan erottamaa ainevirtaa lämmön siirtyessä johtumalla seinämän läpi ainevirrasta toiseen. Lämmitystekniikassa käytetään pääosin rekuperatiivisiä siirtimiä. Virtausteknisesti lämmönsiirtimet voivat olla vastavirtasiirtimiä, joissa ainevirrat kulkevat vastakkaisiin suuntiin tai myötävirtalämmönsiirtimiä (ainevirrat samaan suuntaan). Myös ristivirtasiirtimiä (virtaukset ristissä kohtisuorassa toisiaan vastaan) esiintyy. /15, s. 224./

Rekuperatio- lämmönsiirtimen lämmönsiirronhyötysuhde on

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{\text{siirretty}}}{\dot{Q}_{\text{sisään}} - \dot{Q}_{\text{ulko}}} \quad (10)$$

Regeneratiivisissa eli varaavissa lämmönsiirtimissä ainevirrat kulkevat vuoroon vastakkaisiin suuntiin lämpöä varastoivan rakennelman läpi lämmittäen ja jäädyttäen sitä vuorotellen. Varaavissa lämmönsiirtimissä saadaan paljon lämmönsiirtopintaa pieneen tilaan, mutta riskinä ovat ainevirtojen väliset vuodot./15, s. 223./

#### 4.7 Lämpöpumpun sähköenergian kulutus

Lämmityskäytössä olevan lämpöpumpun sähköenergiankulutus, lämpöpumpun tuottama tilojen ja käyttöveden lämmitysenergia sekä tilojen ja käyttöveden lämmitykseen tarvittava lisälämmitysenergia voidaan laskea. Lämpöpumppujen tuottama lämmitysenergia määritetään valitun lämpöpumpun nimellistehon ja tilojen lämmitystehontarpeen avulla. Lämpöpumpun sähköenergiankulutus koostuu lämmitysenergian tuoton energiankulutuksesta sekä apulaitteiden sähkönkulutuksesta. Lämpöpumpun sähköenergiankulutus lasketaan lämpöpumpun tuottaman tilojen tai käyttöveden lämmitysenergian sekä lämpöpumpun kausisuorituskykykertoimen (SPF-luku) avulla. Rakenta-

mismääräyskokoelman D5 mukaan SPF-luvut ovat vuoden keskimääräisiä lämpöker-toimia, joita voidaan käyttää vain silloin, kun energiankulutus lasketaan koko vuoden lämmöntarpeesta. Lämpöpumpun SPF-lukujen laskennassa oletetaan, että ulkoilmaläm-pöpumppujen alin toimintalämpötila on 20 °C sekä, että tiloja ja käyttövettä lämmit-tävät lämpöpumput lämmittävät vuorotellen käyttövettä tai tiloja. Käyttövettä lämmitet-tään kuitenkin ensisijaisesti. Poistoilmalämpöpumpun oletetaan lämmittävän tiloja sekä käyttövettä vuoroittain. Mikäli nämä oletukset eivät päde laskettavassa tapauksessa, on tapaus laskettava tarkemmin muilla menetelmillä. Laskentamenetelmää voidaan käyttää myös tapauksissa, joissa lämpöpumppua käytetään tilojen ja käyttöveden lämmityksen lisäksi myös ilmanvaihdon lämmitykseen. Tällöin ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve lisätään tilojen lämmitysenergian tarpeeseen. Lämpöpumppujen energialaskentaa varten on ensin laskettava tilojen lämmitystehontarve./2/

## **4.8 Jäteveden hyödyntämiseen soveltuvat lämpöpumput ja valmistajat**

### **4.8.1 Pemco Oy**

Pemco Oy:n teollisuussovelluksen jätevesilämpöpumput toimitetaan valmiina laiteko-konaisuutena. Laitekokoonpanot testataan ja säädetään tehtaalla asiakkaan käyttö-olo-suhteita vastaaviksi. Lämpöpumppujen teho-alueet ovat 50 ó 1 000 kW. Suurimmat te-hot saadaan rinnankytkennällä, jossa on myös laajin säätöalue. Kompessoreina käytet-tään ruuvi-, mäntä- tai Scroll-kompressoria. Levylämmönvaihtimet ovat haponkestäviä. Kylmäaineena käytetään mm. R410A ja R134a. Sähkö- ja automaatiokaapit ovat IP54-tason suojauksella. Ohjaus on liitettävissä useisiin väyläratkaisuihin./16/

### **4.8.2 Oilon Scancool Oy**

Oilon Scancool Oy:n lämpöpumpuista ChillHeat-tuotteet soveltuvat eri sovelluksiin, kuten jätelämmön hyödyntämiseen, maalämmölle, ilmastointiin tai kylmävarastojen jäähdytykseen. ChillHeat-lämpöpumppujen avulla voidaan ottaa talteen kunnallisen tai teollisen jäteveden sisältämä hukkaenergia, jolla voidaan tuottaa kuumaa vettä yrityk-sen omiin tarpeisiin tai kaukolämpöä myytäväksi kaukolämpöverkkoon. ChillHeat-läm-pöpumppuja voidaan kytkeä rinnan, jolloin saavutetaan vielä suuritehoisempi josta-vasti toimiva kokonaisuus. Pumppujen COP-luku on tyypillisesti 3-5. Tuotteiden kehiti-

telyssä on huomioitu energiatehokkuus. Laitteet ovat ulkomitoiltaan kompaktin kokoisia, varmatoimisia sekä helpokäyttöisiä. Tuotteiden monipuolinen automatiikka mahdollistaa energiatehokkaan ja helpon käytön. Lämpöpumppujen ominaisuudet vaihtelevat halutun lämpötilan ja tehon tuoton osalta (taulukko 4) käyttötarkoituksen mukaan.

**TAULUKKO 4. Jätevesikäyttöön soveltuvien ChillHeat-lämpöpumppujen ominaisuuksia /17./**

ChillHeat	Malli P	Malli S
Lämpöteho EN 14511 0/35	150 - 380 kW	180 - 540 kW
Tuotetun lämmön maks. It	80 °C	67 °C
Tuotetun jäädytyksen min. It	-20 °C	-15 °C
Kompressorityyppi	mäntäkompressori	ruuvikompressori
kylmäaine	R134a	R134a

Jätevesikäyttöön soveltuvien lämpöpumppujen teknisiä ominaisuuksia on esitetty lisää liitteessä 2.

#### 4.8.3 Gebwell Oy

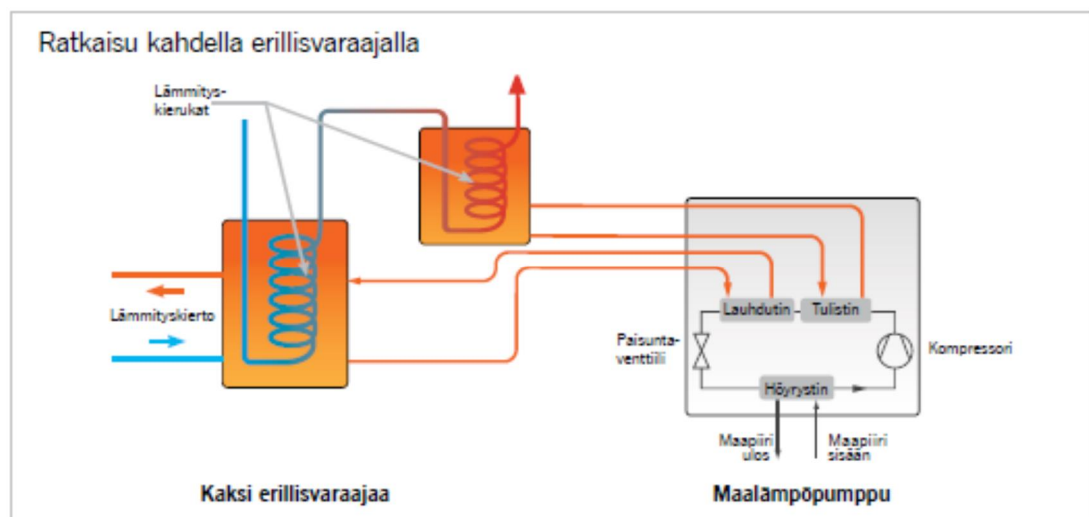
Gebwell Oy:n G maalämpöpumppu lämmitys- ja jäädytysjärjestelmä soveltuu suuriin, pinta-alaltaan sadoista tuhansiin neliötä oleviin isoihin kiinteistöihin, kuten kerrostalot ja rivitalot, teollisuusrakennukset ja liikekiinteistöt sekä koulut, kirkot ja muut julkiset rakennukset. Mallistossa vakiomalleina ovat 50, 60 ja 85 kilowatin pumppumoduulit, joita yhdistelemällä saadaan tarvittava teho satoihin kilowatteihin asti. G-maalämpöpumpussa on aina vähintään kaksi kompressoria, mikä varmistaa maalämpöpumpun optimaalisen käynnin niin kovilla pakkasilla kuin leudoimmilla säillä. G-maalämpöpumppu on itsenäisesti toimiva lämmitys- ja lämpimän käyttövedentuottoyksikkö. Pumpua käytetään yhdessä kiinteistön tarpeen mukaan mitoitettujen Gebwell-tulistusvaraajien kanssa. G-maalämpöpumppu soveltuu erinomaisesti myös teollisuuskiinteistön lämmitykseen. Maalämpöpumppuun voi myös yhdistää kiinteistön jäädytystoiminnot. G-sarjan maalämpöpumput koostuvat korkealaatuisista komponenteista, kuten kovajuotetut levylämmönsiirtimet, Scroll-kompressori, pumput ja integroitu automa-

tiikka tarvittaessa. Toinen teholtaan tarkastelualueelle sopiva malli on T-sarja. /18./ Jätevesikäyttöön soveltuvien lämpöpumppujen teknisiä ominaisuuksia on esitelty liitteessä 2.

#### 4.8.4 Suomen Lämpöpumpputekniikka Oy

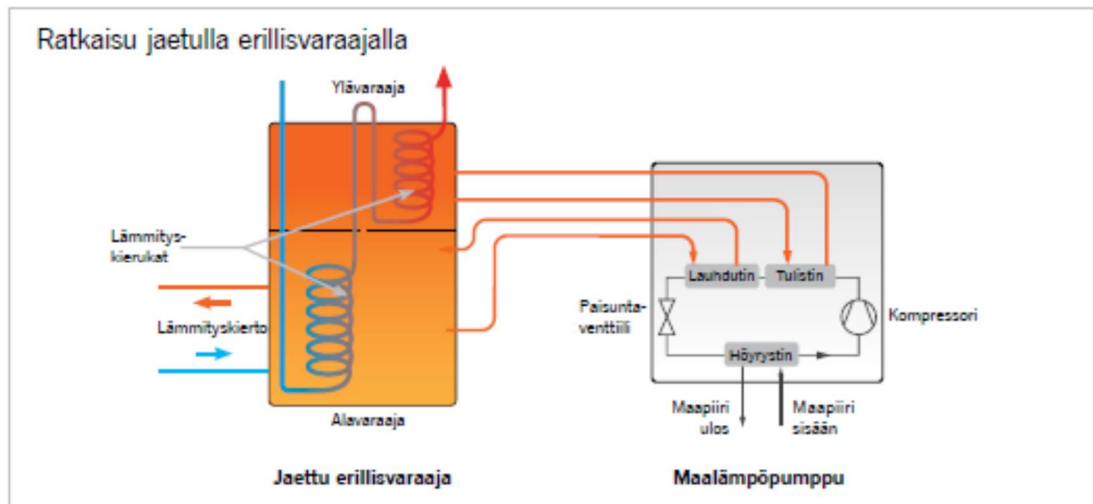
Suomen Lämpöpumpputekniikka Oy Lämpöässä T-mallisto on joustava ratkaisu erityyppisiin maaenergiajärjestelmiin. Tyypillisiä T 10 - 31 -mallien käyttökohteita ovat omakotitalot, rivitalot, kerrostalot, teollisuuskiinteistöt, julkiset rakennukset ja maatilat. T 40 - 120 -mallisto on suunniteltu suuremmille kohteille, kuten maataloille, tehtaille, päiväkodeille, kerrostaloille ja rivitaloille. Suuremmat T-mallit soveltuvat hyvin kiinteistöihin, joissa lämmitettävä pinta-ala ja/tai lämpimän käyttöveden tarve on erityisen suuri. Tehontarpeen kasvaessa T-malleja voidaan kytkeä rinnakkain. T-mallin maalämpöpumppu voidaan tarvittaessa mitoittaa myös osatehoiseksi. T 40 - 120 -mallien ohjausjärjestelmänä käytetään Lämpöässä kehittämää ÄssäControlia. Jätevesikäyttöön soveltuvien lämpöpumppujen teknisiä ominaisuuksia on esitetty liitteessä 2./19/

Lämpöässä käyttämä tulistustekniikka loppukuumentaa lämpimän käyttöveden. Veden lämpötilan nostaminen toteutetaan T40 - 120-malleissa joko jaetulla erillisvaraajalla tai kahdella erillisvaraajalla (kuvat 7 ja 8)./19./



**KUVA 7. Veden lämpötilan nostaminen toteutetaan kahdella erillisvaraajalla /19./**

Kahden varaajan järjestelmässä voidaan lämmityksen ja käyttöveden lämmitys tehdä eri varaajilla./19./



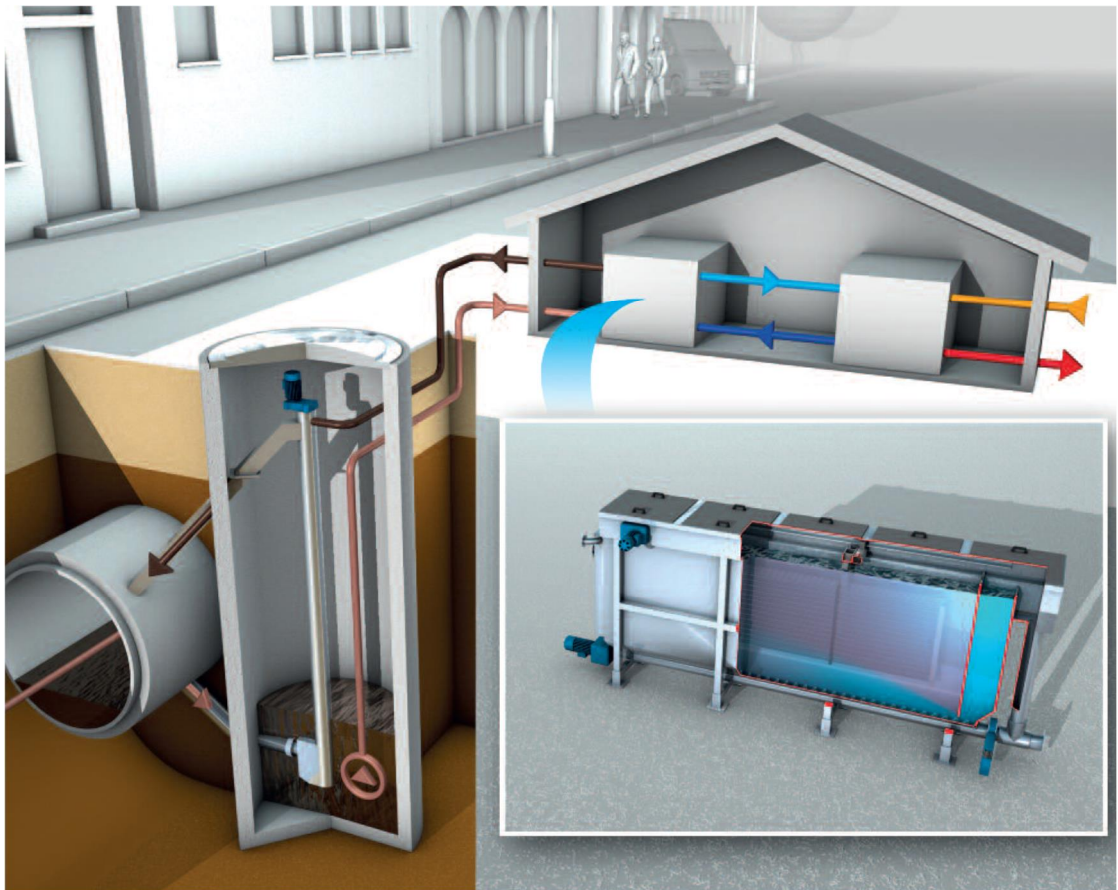
**KUVA 8. Veden lämpötilan nostaminen jaetulla erillisvaraajalla /19./**

Lämmön varaaminen voidaan toteuttaa myös jaetulla erillisvaraajalla, jolloin yhdessä varaajassa on kaksi lämmityskierukkaa. Ylävaraajassa kierukassa kierrätetään tulistuksella lämmitettyä kuumempaa vettä./19./

#### 4.8.5 Hydropress Huber Ab

HUBER ThermWin®-järjestelmä käyttää maan pinnalle asennettua lämmönvaihdinta lämmön talteenottamiseksi jätevedestä. Lämmönvaihdin siirtää lämpöenergian jätevedestä lämpöpumpulle. Lämmönvaihtimessa käytetään lämmönsiirtoon suljettua glykoliputkistoa. Sisäänottorakenteen avulla otetaan osa jätevesivirrasta viemäristä välpälle, joka pidättää karkean kiintoaineen. Esivälpätty jätevesi nostetaan, ja se virtaa painovoiman avulla maan pinnalle asennettuun lämmönvaihtimeen. Tämä luo jatkuvat stabiilit hydrauliset olosuhteet ja hallitun lämmönsiirron lämmönvaihtimessa toisiopiiriin. Jäähdytynyt jätevesi virtaa välpän kautta takaisin viemäriin ja ottaa mukaansa erotetun välppeen. Viemärin muoto ei vaikuta toimintaan. Myös pienet virtaukset voidaan käsitellä ongelmitta, koska järjestelmä toimii painovoiman avulla ja sisäänotto tapahtuu lähellä viemärin pohjaa (kuva 9). Etuja ovat nopea ja helppo asennus sekä toteutus ja käyttö, kompakti lämmönvaihdin, helppohuoltoisuus, ympäristöystävällisyys, ilmastoystävällisyys. /20./





**KUVA 9. HUBER ThermWin-järjestelmä lämmöntalteenottoon jätevedestä /20/**

HUBER RoWin (kuva 10) lämmönvaihdin on suunniteltu jätevesisovelluksille. Esimerkkilaitteistolla saadaan teho 90 kW lämpöenergiaa jätevedestä jäädytykseen ja lämmitykseen. Säiliö on valmistettu kokonaan ruostumattomasta teräksestä ja on haju tiivis, eli se voidaan asentaa myös asutuille alueille. Lämmönvaihtimessa on automaattinen pinnan puhdistus ja laskeutuneen aineen poistoruuvi, joka takaa laitteen jatkuvan toiminnan. Laite ei vaadi paljon huoltotöitä. HUBER RoWin lämmönvaihtimen rakenne muodostuu moduuleista, jolloin se voidaan helposti sovittaa ja räätälöidä vastamaan eri asennuspaikkojen vaatimuksia./20/



**KUVA 10. A HUBER RoWin lämmönvaihdin asennettuna /9/**

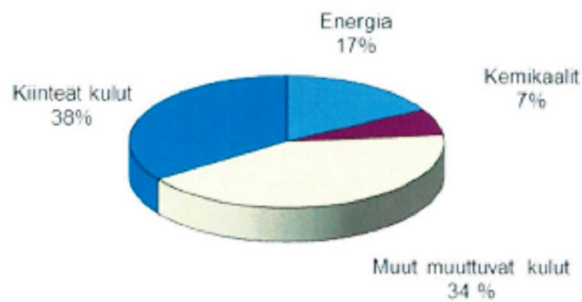
Lämpöpumpulle tarvitaan jatkuva jätevesivirtaus (noin 5 l/s), jotta voidaan taata tehokas lämmöntalteenotto. Kannattavuusraja lämmitysenergialle jätevedestä on tehontuotto n. 40 kW. Jäteveden lämmön ei tulisi laskea alle 10 °C. Lämpöpumppujen tehokkuus kasvaa, kun lämmitettävän veden lämpötilavaatimus on alhainen. Tästä hyötyy erityisesti uudet rakennukset, jossa on matalan lämpötilan lämmitysjärjestelmät. Liityntä lämpöasemasta viemäriin ja rakennukseen tulisi olla mahdollisimman lyhyt. Näin minimoidaan investointi- ja käyttökustannuksia. Käyttösovelluksia ovat lämmön ja/tai kuuman veden takaisinotto sekä rakennuksen lämmittäminen ja viilentäminen. Talteenotettu lämpö voidaan syöttää paikalliseen lämmönjakeluverkostoon (kaupunkialueilla olevan energialähteen käyttäminen). Lämpöpumppu tuottaa lämpötehoa enimmillään 110 kW. Järjestelmän etuna on samanaikainen jäähdytys- ja lämpöenergian tuotanto. Järjestelmällä säästetään fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Lämpöpumpuissa jäteveden kuiva-ainepitoisuuden tulee olla 4-5 %. Joillakin käsittelylaitoksilla jäteveden lämpötilan tulisi olla vakio optimaalisen prosessitasapainon säilyttämiseksi. Mikäli kausittaiset lämpötilat ovat liian korkeita, jätevesiä voidaan jäähdyttää ja energiaa käyttää lämmittämään varaa- ja säilytyskyläjä. Menetelmä on yleisesti käytetty mm. Saksassa. /9/ ROWin järjestelmäkaavio on esitetty liitteessä 3.

## 5 KITEEN KESKUSTAAJAMAN JÄTEVEDENPUHDISTAMO

### 5.1 Organisaatio

Kiteen keskustaajaman jätevedenpuhdistamon omistaa Kiteen vesikunta, joka on osuus-kuntamuotoinen vesihuoltolaitos. Kiteen vesikunnan toimintaan sisältyy talousveden-hankinta ja jakelu sekä jäteveden käsittely ja viemärlaitostoiminta. Laitos ylläpitää omat verkostonsa ja laitoksensa. Vuonna 2012 tilikauden liikevaihto oli noin 1 117 000 €, josta keskustaajaman viemärlaitoksen osuus oli noin 600 000 € (54 %). Kiteen vesikunnan käyttökate oli noin 160 000 € ja muuttuvat kulut oli noin 530 000 €. Puhdistamoraennuksen verotuksellinen arvo oli vuonna 2012 noin 1 100 600 €./21/

JÄTEVESIMAKSUN MUODOSTUMINEN v. 2012



KUVA 11. Jätevesimaksun muodostuminen vuonna 2012 /21/

Vuonna 2012 jätevesimaksun hinta oli 2,15 €/m<sup>3</sup>, joka muodostui pääosin muuttuvista ja kiinteistä kuluista. Energian osuus jätevesimaksusta on noin 100 000 €/a, joka on noin 17 % kokonaiskuluista (kuva 11). Energiakustannukset jätevesikuutiota kohti ovat 0,31 €/m<sup>3</sup> (alv 0%). /21/

### 5.2 Kiteen jätevedenpuhdistamon toiminta

Vuonna 1981 käyttöön otetussa Kiteen keskustaajaman jätevedenpuhdistamossa jätevedet käsitellään biologiskemiallisesti. Jäteveden jatkuvatoiminen käsittelyprosessi koostuu mekaanisesta esikäsittelystä, fosforin rinnakkaissaostuksella varustetusta biologisesta aktiivilietevaiheesta ja kemiallisesta jälkisaostuksesta. Puhdistamo on yksilinjai-

nen. Puhdistamolle tuleva jätevesi on tavanomaista yhdyskuntajätevettä. Biologinen käsittelyprosessi on suunniteltu siten, että orgaanisen aineen ohella typpeä ja fosforia on myös mahdollista poistaa biologisesti. Nykyisin biologisessa käsittelyvaiheessa käytetään lisäksi fosforin saostuskemikaalia. Biologinen prosessi edellyttää typenpoistoon vähintään +12 °C:n lämpötilaa. Prosessin nitrifiointilämpötilaksi on valittu 9 °C. /22/ Puhdistamo on uudistettu ja tehostettu 1990 - luvulla ja viimeksi vuonna 2009. Saneeraus kohdistui prosessiin, mutta myös sähkö- ja automaatiojärjestelmiä uusittiin. Puhdistamolle on laadittu viimeisen saneerauksen yhteydessä uusi mitoitus (taulukko 5).

**TAULUKKO 5. Kiteen puhdistamon mitoituskuormitus vuodelle 2020 /22/**

Liittyjä määrä	7000 as	
Asukasvastineluku	4035 as.yks	
Virtaama		
$Q_{d,kesk}$	2300 m <sup>3</sup> /d	
$Q_{d,max}$	4000 m <sup>3</sup> /d	
$q_{kesk.}$	96 m <sup>3</sup> /h	
$q_{mit}$	150 m <sup>3</sup> /h	33 l/s
$q_{max}$	200 m <sup>3</sup> /h	56 l/s
	keskim.	maksimi
BOD <sub>7-ATU</sub>	500 kg/d	700 kg/d
Kokonaisfosfori	21 kg/d	25 kg/d
Kokonaistyppeä	120 kg/d	150 kg/d
Ammoniumtyppeä	90 kg/d	100 kg/d
Kiintoaine	560 kg/d	850 kg/d

Liittyjä määrän ei arvioida lisääntyvän nykyisestä olennaisesti. Ennusteen mukaan viemäriverkon piirissä on 6 950 asukasta vuonna 2010 ja 7 000 asukasta vuonna 2020 /22/.

### 5.2.1 Puhdistamon rakennus ja talotekniikka

Jätevedenpuhdistamon rakennuksen osat jakautuvat käyttötarkoituksen perusteella lämpimiin toimisto-, sosiaali- ja varastotiloihin sekä puolilämpimiin varasto-, huolto- ja prosessitiloihin. Rakennuksen sisälämpötilat on mitoitettu rakennusmääräysten mukaisesti. Rakennus on rakennettu vuonna 1996 ja sitä on saneerattu usein sekä laajennettu

merkittävästi vuonna 2009. Saneerauksessa vuonna 2009 rakennus sai nykyisen ulko-  
muotonsa ja talotekniset ratkaisut. Rakennuksen tilavuus ja alat sekä eri lämmitysmuo-  
tojen alat on esitetty taulukossa 6.

**TAULUKKO 6. Rakennuksen tilavuus ja alat /24/**

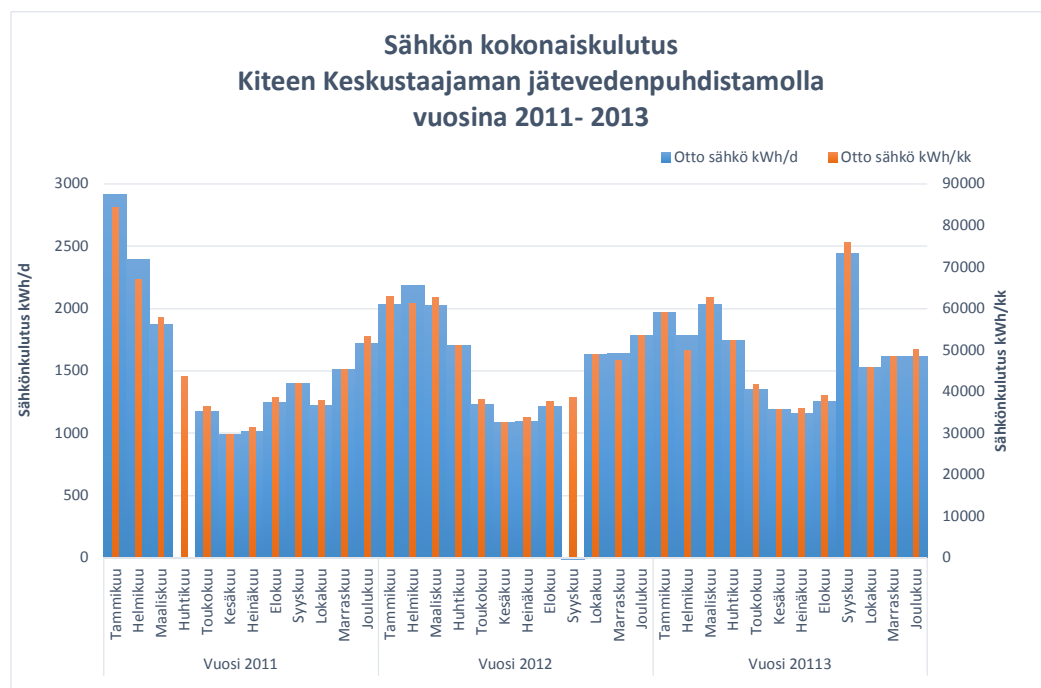
Toiminto	Yksikkö	Tilavuus
Rakennuksen brutto tilavuus	m3	5715,02
		Pinta-ala
Rakennuksen brutto neliöt	m2	1084,4
puolilämmin ala	m2	907,0
lämmin ala	m2	177,4
patterit	m2	68,3
lattialämmitys	m2	74
ilma/sähkö	m2	35,1

Rakennuksen lämmityksen käyttöenergia tuotetaan suorasähköllä ja lämpöpumpuilla. Rakennuksen lämmitys on toteutettu vesikiertoisilla lamellipattereilla (40/60 °C) sekä lisäksi sosiaalituloissa on vesikiertoinen lattialämmitys (30/40 °C). Prosessihallin lämmitys on toteutettu tuloilman lämmityksellä sekä suorasähkölämmittimillä. Lämmitysjärjestelmään on liitetty myös lämpimän käyttöveden tuottaminen sekä ilmanvaihdon tuloilman lämmitys. Lämmitysjärjestelmään on tehty pieniä muutoksia vuoden 2009 jälkeen, kuten lämminvesivaraajien ohjaustavan muutos sekä ilmalämpöpumppujen asentaminen. Tiloissa ei ole jäähdytystä toimistotiloja lukuun ottamatta, jossa jäähdytys on toteutettu erillisellä ilmalämpöpumpulla. Toimistotilojen lisälämmityksessä on myös toimen ilmalämpöpumppu, jolla kesäaikana jäähdytetään tilaa. /24/

Vanhemman osan toimisto- ja huoltotilojen ilmanvaihdosta huolehtii tuloilmakoneet TK1 ja TK2, jotka on rakennettu vuosina 1996 ja 2004. Ilmanvaihtoa laajennettiin ja uudistettiin vuonna 2009 puhdistamon laajennuksen yhteydessä, jolloin mm. lisättiin tuloilmakone TK3 ( $q_v = 0,86 \text{ m}^3/\text{s}$ ) huolehtimaan prosessitilojen ilmanvaihdosta. Tilat on varustettu koneellisella tulo- ja poistoilmalaitteistolla. Tuloilmakoneen ilmalämmitys on mitoitettu vesi 50/30 °C, teho 40 kW ja ilma -32 °C/ +10 °C. Poistoilmakoneita on yksi (PF11) sekä kolme erillisipoistopuhallinta (huippuimurit). Poistopuhaltimissa ei ole LTO:a./25/ Tuloilmakoneiden tehon tarpeeksi on arvioitu TK1 38 kW, TK2 22 kW, TK3 45 kW ja ilmalämpöpumppu (tsto) 9 kW. Yhteensä tuloilmakoneiden lämmitystehon tarve on 114 kW./24/

Rakennuksessa lämmintä käyttövedettä tarvitaan toimisto- ja sosiaalityötilojen suihku- ja pesuvedeksi. Laitoksella työskentelee noin 5 henkilöä, jolloin rakentamismääräyskokoelman mukaan toimiston vedenkulutuksen voidaan arvioida olevan 750 dm<sup>3</sup>/d (Vkv, omin, henk =150 l/hlö/d), josta lämpimän käyttöveden osuus on 250 dm<sup>3</sup>/d (Vlkv, omin, henk =50 l/hlö/d) /2/. Lisäksi lämmintä käyttövedettä tarvitaan prosessissa polymeerin valmistamiseen, mikä on merkittävin lämpimän käyttöveden kulutuskohte (muutamia kuutioita). Viime vuosina lämpimän käyttöveden veden kulutus on kasvanut runsaaksi polymeerin valmistuksen vuoksi.

Rakennuksessa on COMPUTEC:n Saitec-kiinteistöautomaatiojärjestelmä, johon myös lämmitysjärjestelmä on liitetty /24/. Lämpöpumpun virtaamatieto kirjautuu prosessiautomaatioon, mutta pumppujen ohjaus on liitetty kiinteistöautomaatioon. Pumppujen käynti on ohjattu lämminvesivaraajan lämpötilan mukaan. Lämmityksen menoveden lämpötila on + 57 C./11/ Rakennuksen lämmityksen tarvitsemaa energiaa joudutaan tuottamaan merkittävässä määrin suorasähköllä sekä varaajan lisälämmityksellä. Kiinteistöllä ei ole kaukolämpöliittymää. Liittymismahdollisuutta on selvitetty ja kustannukset olisivat noin 100 000 €. /11/ Puhdistamon kokonaissähkön kulutus vaihtelee pääsääntöisesti välillä noin 30 000 ó 84 000 kWh/kk, ollen keskimäärin noin 48 000 kWh/kk eli 580 MWh/a. Sähkönkulutus on suurinta talvikuukausina, joka johtuu osin lämmityssähköntarpeesta. Myös puhdistusprosessissa kuluu sähköä enemmän talvella ilmastustarpeen kasvaessa (kuva 12).

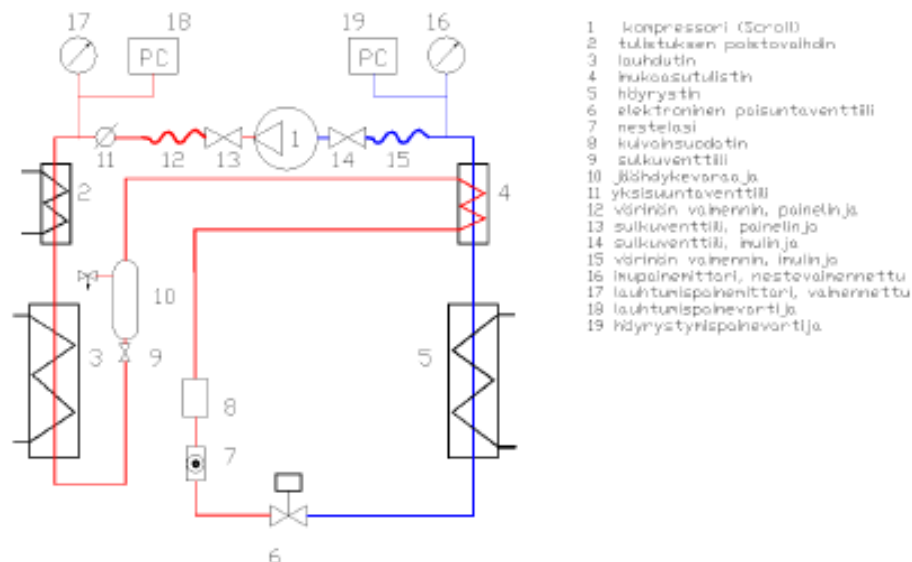


**KUVA 12. Kiteen keskustaajaman jätevedenpuhdistamon sähkönkulutus kWh/d ja kWh/a vuosina 2011 - 2013 /käyttötarkkailudata/.**

Puhdistamon prosessin, rakennuksen lämmityksen ja muun sähkönkulutuksen erittelyä ei ole saatavilla. Sähköä kuluu talotekniikassa lämpimän käyttöveden lisälämmitykseen, lämmitysveden tuotantoon, IV-koneiden puhaltimiin ja ilman lämmitykseen (tuulilma yhteensä 113 kW), valaistukseen sekä laitesähköön. Prosessilaitteet kuluttavat myös paljon sähköä. Nykyisen sähkösopimuksen mukaan sähkön kulutushinta on 6,66 c/kWh, joka voisi paremmalla sopimuksella on hieman alhaisempikin. /14/

### 5.2.2 Lämmöntalteenottolaitteisto

Jätevedenpuhdistamon lämmöntalteenottolaitteisto suunniteltiin ja rakennettiin puhdistamorakennuksen lämpökeskuksen uusimisen yhteydessä vuonna 1998. Lämpökeskuksen peruslämmöntuotanto perustuu jätevesilämpöpumppeihin. Lisälämpö toteutetaan sähkövastuksilla. Järjestelmää ohjataan automaatio- ja instrumentointisuunnitelman mukaan tietokoneohjelmalla. Varsinaista lämmönkeruuputkistoa ei ole, vaan laitoksen lähtevää jätevettä pumpataan lämpöpumppujen höyrystimeen ja jäähdetyttynä takaisin jäteveden poistokanavaan (kuva 13). Järjestelmässä on höyrystimen pesujärjestelmä epäpuhtauksien poistoon. /24, s. 14./



**KUVA 13. Lämpöpumppujen kaavio /12/**

LämpöÄssän lämpöpumput (2 kpl) on sijoitettu puhdistamon hoitotasolle lähtevän veden altaan yläpuolelle betonilaatalle (kuva 14). Lämpöpumput on asennettu rinnan, ja ne on yhdistetty toisiinsa vesikiertopiirin avulla. Pumpuilla on erilliset jäähdetyskierrot.



**KUVA 14. Kiteen keskustaajaman puhdistamon lämpöpumput ja varaajat**

Lämpöpumput ovat ns. tulistusenergiälämpöpumppuja, jossa varaajaa VA2 (Akva-term) käytetään lämpimän käyttöveden varausosana sekä varaajaa VA1 matalalämpöisen lämmitysenergian varaamiseen ja lämpimän käyttöveden esilämmitykseen. Kiteen jvp:n laitteisto on Lämpöässä nykyisen T-malliston kahden erillisvaraajan (kuva 16) tyyppinen. Jos lämpöpumput pysähtyvät, käynnistyvät sähkövastukset. Mitoitusarvot lämpöpumpulle ovat virtaama  $8,3 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $2,3 \text{ l/s}$ ) ja lämpötila  $5 - 6 \text{ °C}$ , jolloin lämpötilaeroksi jää  $3 \text{ K./24/}$  Jäteveden lämpöpumpun tuottama säästö aiempien mitoituslaskelmien mukaan vuonna 2000 oli noin  $2\,300 \text{ ó } 4\,600 \text{ p/kW./12, s. 23.}$  Tarkempi lämpöpumpulaitoksen järjestelmäkaavio on esitetty liitteessä 1.

#### Lämpöpumpun optimointi vuonna 2000

Lämpöpumpulaitteiston toimintaa selvitettiin vuonna 2000 Tampereen teknillisen korkeakoulun tutkimuksessa. Mittausohjelmassa tutkittiin tulistuksen jäähdyttimen pinta-alan, lauhduttimen koon ja tyypin sekä höyrystimen tyypin vaikutusta lämpöpumpun tehontuottoon. Lisäksi tehtiin kylmäainevertailua ja veden alimman lämpötilan sekä paisuntaventtiilin toiminnan kokeilua. Termodynaamisessa vertailussa oli tarkasteltu kylmäkerrointa, tilavuustuottoa, puristuslämpötilaa, painetasoja sekä tulistuksen osuutta saadusta lämmöstä. Vertailussa pidettiin ulkoiset lämpötilat sekä lämpötilaerot



höyrystimessä ja lauhduttimessa vakiona. Tarkastelussa todettiin myös, että kompressorin isentrooppinen hyötysuhde ( $\eta_s$ ) oli 0,73. Lämpöpumpplaitteiston kylmäaineen valinnan optimointi tehtiin CoolPack- ohjelmistolla./12, s. 12./ Termodynaamisen tarkastelun lämpötilat on esitetty taulukossa 7.

**TAULUKKO 7. Termodynaamisen tarkastelun lämpötilat /12/**

	°C	lauhtumislämpötilat °C
höyrystimelle tuleva vesi $T_{b1}$	5	-1
	10	4
lauhduttimelta lähtevä vesi $T_{v2}$	40	43
	50	53

Tulistuksen osuus oli riittävä kaikilla kokeiluilla kylmäaineilla. Tuotto vaihteli 2 000 ó 4 000 kJ/m<sup>3</sup> (suurin tuotto pienin kompressori) /12, s. 9./. Valitulla kylmäaineella R407a tilavuustuotto oli noin 3 500 kJ/m<sup>3</sup>, joka oli kokeilun keskimääräinen. Tulistuslämmön osuus oli noin 20 % /12, s. 13./ Optimointitarkastelussa todettiin, että muuttuvissa käyttöolosuhteissa on vaikea löytää optimaalista tulistuksen säätöä ja se tehtiinkin varman päälle riittävän suureksi, josta seurasi tarpeettoman alhainen höyrystymislämpötila suuren osan aikaa. Paisuntaventtiili ohjaa kylmäaineen syöttöä höyrystimeen. Stabiilimpi säätö pienemmällä tulistuksella voitaisiin saavuttaa käyttämällä elektronista venttiilillä (adaptiivinen). Höyrystimen ja lauhduttimen lämpötila-erotarkastelun perusteella oli todettu optimaalisen lämpötilaeron olevan 1 - 2 K. Lämmönsiirtimet kannattaa mitoittaa mahdollisimman pienelle lämpötila-erolle /12, s.18./. Höyrystimelle johdettavan jäteveden lämpötilan laskua oli kokeiltu vakiovirtaamalla 8,3 m<sup>3</sup>/h. Lämpötilat höyrystimessä voitiin laskea 0 - -1 •C. Varmuudella 5 - 6 •C lämpöisestä jätevedestä voidaan ottaa lämpöä 3 K:n jäädytyksellä. /17, s. 20./ Optimointitarkastelussa lämpöpumpun teoreettiseksi mitoitusasteeksi saatiin 55 %, mutta rajatuotto huomioiden lämpöpumpun optimaaliseksi mitoitusasteeksi saatiin 70 - 75 % /17, s. 22./

Rakentamisen ja koekäytön yhteydessä oli tullut esiin ratkaistavia ongelmia, kuten sopivimmat höyrystintyyppit ja niiden mitoitus, priimausjärjestelmä, lämpöpumpun optimaalinen kylmäaine, lämmönsiirtimien likaantuminen ja puhdistaminen sekä jäteveden minimilämpötila. /12/

### Nykyisen lämpöpumpun mitoitus

Jätevedenpuhdistamolla lämpimän käyttöveden tarve on pieni verrattuna lämmitystarpeeseen, joka on mitoituksessa määräävä tekijä. Käyttöveden valmistustavalla ei ole ollut merkittävää vaikutusta lämpöpumpun talouteen./12, s. 9/ Hallin mitoituslämpötiloina olivat 10 •C ja 15 •C. Nykyisen lämpöpumpun mitoitusarvot on esitetty taulukossa 8.

#### **TAULUKKO 8. Lämpöpumpujärjestelmän mitoitus /18/**

<b>Tekijä</b>	<b>Yksikkö</b>	<b>Arvo</b>
Kylmäteho, lauhdutin	kW	24,2
Lämpöteho, höyrystin	kW	34,8
Sähköteho	kW	9,95
Lämpötila		
sisään	°C	8
Ulos	°C	5,5
lisänä alijäähdytys	°C	2
kompressori	Scroll	2
virtaama	l/s	4,6

Virtaama lämpöpumpuille on mitoitettu 2,3 l/s kummallekin pumpulle. Kylmätehoa ei tällä hetkellä hyödynnetä. Puhdistamorakennusta on muutettu useaan kertaan lämpöpumpulaitoksen mitoittamisen jälkeen. Lämpöpumpun mitoituksessa esitetyt toiminnalliset tavoitteet eivät vastaa nykyisen rakennuksen lämmitystehontarvetta eivätkä sen mitoitusta.

## **6 LÄMMÖNTALTEENTOTTOLAITOKSEN TARKASTELU**

Työn tavoitteena oli selvittää Kiteen keskustaajaman jätevedenpuhdistamon nykyisen lämmöntalteenottolaitoksen toimintaa sekä esittää optimaalisin lämmöntalteenotto vaihtoehto kohteeseen mahdollista saneerausta varten. Lisäksi arvioitiin laitoksen teoreettinen lämpömassavirta. Selvityksen sisällön määritteli toimeksiantajan tarve. Työ rajattiin toimeksiantajan tarpeen perusteella.

## 6.1 Jätevedenpuhdistamon energiantarveselvitys

Jätevedenpuhdistamon energiantarveselvitys tehtiin karkealla tasolla. Tavoitteena oli selvittää energiantarpeen suhdetta prosessin ja rakennuksen talotekniikan välillä periaatetasolla. Selvityksen perusteella arvioitiin lämpöpumpun tuottaman ilmaisenergioiden käyttökohteita ja jakautumista. Energiankulutus mitattiin laitoksen kokonaisenergiankulutuksena, sillä erillismittauksia ei ole. Rakennusosien pinta-alat ja tilavuudet selvitettiin viimeisistä suunnitteluasiakirjoista ja loput arvioitiin mittaamalla pohjapiirusten layout-kuvista. Rakennuksen energiankulutus arvioitiin toimiston laitesähkökulutuksen ja valaistuksen osalta bruttotilavuuden ja  $\phi$  pinta-alan perusteella rakentamismääräyskokoelman D5 mukaisesti. Prosessitilojen osalta käytettiin muiden rakennusten vertailuarvoja. Lämpimän käyttöveden tarve arvioitiin toimistorakennuksille ilmoitetun pinta-alaan suhteutetun ominaiskulutuksen mukaan. Lämmitysenergian tarvetta selvitettiin suunnitteluasiakirjoista.

## 6.2 Jäteveden puhdistamon teoreettinen kokonaislämpöteho

Teoreettisesti arvioitiin jätevedenpuhdistamon jäteveden häviötön kokonaislämpöteho sekä virtamaan ja lämpötilatasojen vaikutus lämpötehoon. Lämpötehon tarkastelussa käytettiin aineistona laitoksen käyttötarkkailutietoja virtaamien ja lämpötilojen osalta. Käyttötarkkailutiedot haettiin laitoksen mittaus- ja automaatiojärjestelmästä tarkasteluajanjaksoilla. Tulokset muodostettiin koontana vuosien 2011  $\phi$  2013 käyttötarkkailutiedoista. Käyttötarkkailutulokset tallentuvat mittausjärjestelmään automaattisesti tunnin välein, joten tarkkailutulosten määrä oli suuri. Käyttötarkkailutietoja muokattiin (vuorokausikeskiarvoja) niiden käsittelyn helpottamiseksi. Laskenta suoritettiin laaditulla excel-ohjelmistoon tallennettujen lähtevän jäteveden virtaaman ja lämpötila tietojen avulla. Laskenta koontataulukoihin tehtiin kuitenkin aina alkuperäisellä data-aineistolla. Laitoksen kokonaissähkön kulutustiedot saatiin laitoksen käyttötarkkailupäiväkirjasta (sähköinen), johon ne oli toimittu etäluettavan mittarin seurantatiedoista (sähköntoimittajalta).

### 6.3 Jätevedenpuhdistamon lämmöntalteenottolaitoksen toimintaselvitys

Nykyisen jäteveden lämmöntalteenoton lämpökapasiteettia arvioitiin mitoitus- ja suunnitteluarvojen avulla. Lämpöpumppulaitoksen toimintaa selvitettiin käyttötarkkailutiedoista sekä puhdistamon hoitajan antimien tietojen perusteella. Käyttötarkkailun virtaamatietoja verrattiin mitoitusarvoihin. Laitteiston toimivuutta arvioitiin käyttötarkkailutietojen avulla sekä laskennallisesti suunnitteluarvoista (mittaustietojen puuttumisen vuoksi).

### 6.4 Optimaalinen lämmöntalteenotto järjestelmä

Lämmöntalteenottomenetelmien vertailuaineistona käytettiin mitoituskäsikirjoja ja teknisiä standardeja sekä laitevalmistajien laitetietoja. Vastaavalla jätevesivirtaamalla mitoitettuja laitoksia ei ole Suomessa käytössä, joten lämmöntalteenottojärjestelmä mitoitettiin laitoksen käyttöolosuhteiden ja tilaajan tarpeiden mukaan.

Jätevesikäyttöön soveltuvia lämpöpumppuja selvitettiin internet- lähteistä ja näiden perusteella kysyttiin lisätietoja sähköpostilla laitevalmistajilta. Näiltä laitevalmistajilta saatuja lisätietoja hyödynnettiin teknisessä tarkastelussa. Lämpöpumpuista koottuja tietoja ovat mm. kompressorityyppi ja lukumäärä, kylmäteho, lämpöteho, sähköteho, lauhdutus- ja höyrystymislämpötilat, COP-luku, pumpulle johdettava virtaama ja jätevesi lämpötila sisään ja ulos johdettaessa sekä mahdolliset hintatiedot. Saadut laitetiedot koottiin tietokannaksi vertailua varten. Lisäksi selvitettiin lämpöpumppujen lämpöenergian hyödyntämisen käyttötavat (lämmitys, jäädytys, käyttöveden lämmitys tai muu) Kiteen jätevedenpuhdistamolla.

Lämpöpumpun teoreettisen tarkastelun perusteella esitettiin optimaalisen lämpöpumpun mitoitusarvot ja verrattiin niitä markkinoilla oleviin jätevesilämpöpumppuihin. Vaatimuksena lämpöpumpulle oli soveltuvuus jätevesikäyttöön. Vertailun perusteella esitettiin kohteeseen mahdollisesti soveltuvat lämpöpumput sekä niiden tehojen erot nykyiseen järjestelmään. Vertailuperusteena käytettiin lämpökerrointa COP.

## **7 TULOKSET**

Opinnäytetyön tuloksena esitetään tarkastelu Kiteen jätevedenpuhdistamon lämmöntalteenottolaitoksen toiminnasta vuosien 2011 - 2013 välisellä ajanjaksolla sekä esitys optimaalisesta lämmöntalteenottojärjestelmästä kohteeseen sekä esitetään laskelma laitoksen maksimaalisesta lämpömäärästä sekä kausivaihtelusta. Lisäksi esitetään arvio rakennuksen energian kulutuksesta ja sen jakautumisesta sekä hukkalämmöllä tuotetun lämmön hyödyntämisestä.

### **7.1 Rakennuksen energian kulutus ja kustannukset**

Puhdistamorakennuksessa ei ole aiemmin suoritettu kokonaisvaltaista energiantarvetarkastelua. Energian hankintakustannukset selvitettiin investoinnin kannattavuuslaskelmia varten.

Puhdistamorakennuksen energiantarve ja -kulutustarkastelussa todettiin seuraavaa:

- Puhdistamorakennuksen bruttopinta-ala ja bruttilavuus ovat arvioitu, koska tarkkaa laskelmaa useiden saneerausten jälkeen ei ole suunnitteluasiakirjoissa.
- Rakenteiden U-arvoja tai rakennuksen ET-lukua ei ole ilmoitettu asiakirjoissa.
- Ilmanvaihtokoneessa TK3 on LTO, mutta sen lämpötehontuottoa ei tiedetä.
- Tuloilmakoneiden lämmitysenergian tarve on LVI-suunnittelijan arvio.
- Tarkkaa tuloilman lämmityksen tarvetta ei voida laskea puutteellisten IV-koneiden mitoitus tietojen vuoksi, joten käytettiin toiseen hankkeeseen tehtyä arvioita.
- Puhdistamorakennuksessa ei ole vedenmittausta (omistajan vesilaitos), joten talousveden ja prosessiveden määrää ei tiedetä.
- Lämpimän käyttöveden kulutusta ei tiedetä tarkkaan.
- Sosiaalitulojen lämpimän käyttöveden tarve voidaan laskea henkilömäärään tai toimistorakennuksen ominaiskäyttöveden kulutukseen perustuen.
- Prosessin lämpimän käyttöveden ja talousvedentarvetta ei voida arvioida.
- Rakennuksen energian kulutuksesta on vähän mitattua tietoa.
- Rakennuksessa käytetään useaa lämmitystapaa (vesikiertoinen patteriverkosto, ilmalämmitys, suorasähkö puhaltimet, lattialämmitys).
- Rakennus on rakennettu pääosin 90- luvun rakentamismääräysten mukaan.
- Rakennusta koskevat käyttötarkoituksesta johtuen pääosin kohdan muut rakennukset rakentamismääräykset, joita on vähän.

Puhdistamon kokonaisenergiankulutus on vuosina 2011 ó 2013 ollut keskimäärin 555 MWh/a. Käyttötarkkailun tulosten mukainen rakennuksen ostosähkökulutus ja sen kustannus nykyisellä kulutushinnalla on 6,66 c/kWh, jolloin ostosähkön kustannukset ovat noin 37 000 p/a (taulukko 9). Energiakustannukset ovat noin 17 % jäteveden hinnasta (alv 0%).

#### **TAULUKKO 9. Kiteen jätevedenpuhdistamon ostosähköenergia ja sähkönkulutuksen kustannukset**

<b>Vuosi</b>	<b>Sähkönkulutus</b>	<b>Ostosähkön hinta</b>
	kWh/a	hinta €/a
2011	555 520	36 998
2012	564 880	37 621
2013	545 720	36 345

Puhdistamorakennuksen energiatarve oli vuosina 2011 - 2013 keskimäärin noin 512 kWh/(m<sup>2</sup> a) (ET-luku). Arvio energian kulutuksen jakautumisesta prosessin sekä toimisto- ja sosiaalityötilojen kesken on esitetty taulukossa 10.

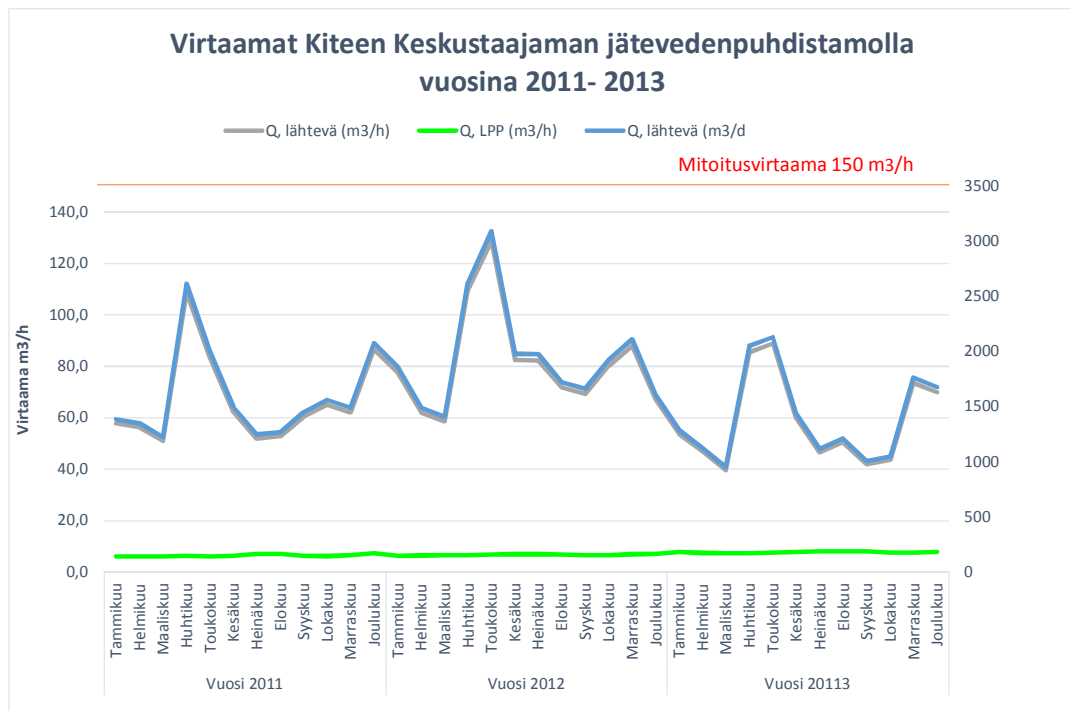
**TAULUKKO 10. Arvio Kiteen puhdistamon energiankulutuksesta**

Rakennuksen energian tarve	Teho kW	Käyttö-aika h	Energia kWh/a	%
Tuloilmakoneet lämmitys	114	2 868	326 936	94
Käyttövesi lämmitys tsto	97	-	1064	1
Lämmitys				
vesikierto radiaattorit			-	
lattialämmitys (20 W/m <sup>2</sup> )	2	2 500	4 200	
sähkö			-	
Valaistus		2 500	8 781	3
Laitesähkö		2 500	6 820	2
<b>Rak. Yhteensä</b>			<b>347 801</b>	<b>63</b>
Prosessi			207 572	37
Kaikki yhteensä			555 373	

Puhdistamon kokonaislämmitysenergiatarve on todennäköisesti noin 70 % rakennuksen kokonaisenergiatarpeesta eli noin 350 MWh/a. Tällä hetkellä suurin rakennustekninen tehontarve on tuloilman lämmitys (prosessitilat). Patterilämmityksen osuudeksi muodostui noin 4 000 kWh/a (pinta-ala noin 100 m<sup>2</sup>). Lattialämmityksen energiankulutus on arvioitu omaistehontarpeen ja pinta-alan perusteella. Rakentamismääräyskoelman D3 mukaisesti toimistorakennuksen lämpimän käyttöveden ominaiskulutuksena käytettiin 103 l/m<sup>2</sup>a ja 6 kWh/m<sup>2</sup>a. Valaistus on toteutettu pääosin loistevalaisimilla, jolloin niiden ominaistehonkulutuksena voidaan pitää 22 W/hum<sup>2</sup> (valoteho 500 lx). Laskennassa on käytetty toimisto- ja oheistilojen yhteisalaa 177 m<sup>2</sup>. Lämmitysenergian tarvetta ei voitu lähtötiedoilla arvioida. Prosessissa tarvittavaa lämmintä käyttövettä priimataan lämpöpumpulla, johon tarvittava teho sisältyy prosessintehontarpeeseen.

## 7.2 Jätevedenpuhdistamon laskennallinen lämpökapasiteetti

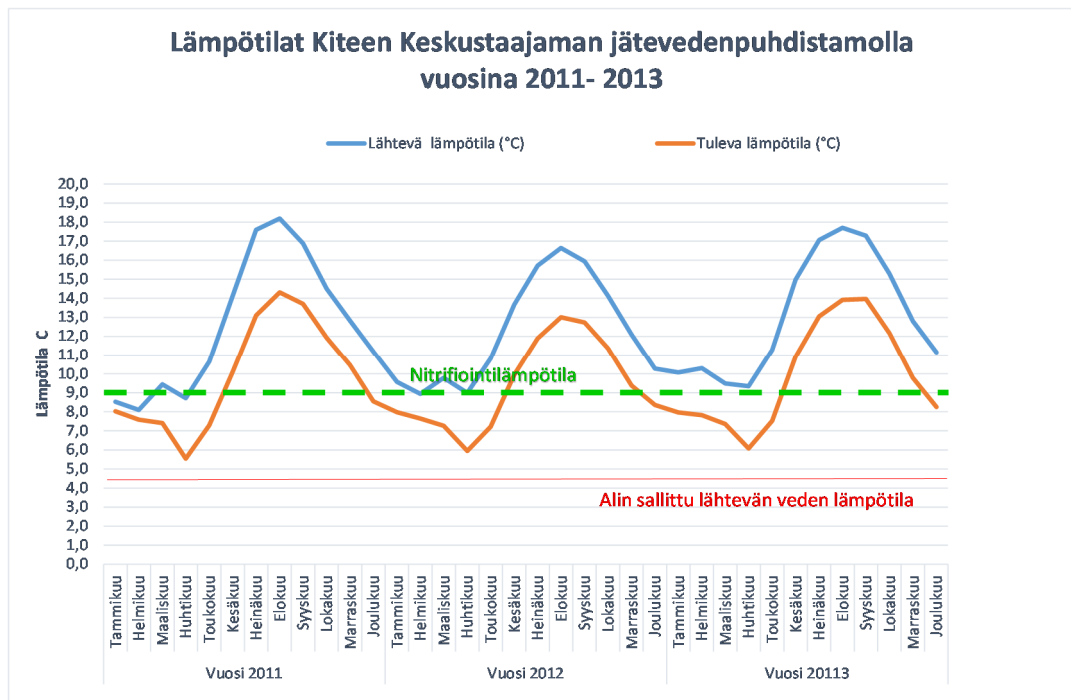
Puhdistamolle tuleva ja puhdistamolta lähtevä virtaama ovat lähes samansuuruiset erityistilanteita (ohitukset) lukuun ottamatta. Tarkastelujaksolla vuosina 2011-2013 puhdistamolta lähtevä virtaama oli noin 70 % mitoitusvirtaamasta. Mitoituksellisesti puhdistamolle voitaisiin johtaa jätevettä keskimäärin noin 2 400 m<sup>3</sup>/d. Virtaama lämpöpumpulle on tasainen eikä siinä tapahdu muutosta jätevesivirtaaman suhteen (kuva 15).



**KUVA 15. Jäteveden virtaamat Kiteen jäteveden puhdistamolla vuosina 2011-2013 (käyttötarkkailudata).**

Lähtevän jäteveden lämpötila vaihteli välillä + 4 - 18 °C. Lämpötila oli keskimäärin + 11 °C. Puhdistamolle tulevan jäteveden lämpötila voi laskea hetkellisesti sulamis- ja sadevesien aiheuttamien vuotovesien vaikutuksesta. Sulamisvedet ajoittuvat maaliskuulle ja sadevedet kesään tai syksyyn. Virtaamien vuosittainen vaihtelu on suurta. Jäteveden lämpötila nousee prosessin aikana muutaman asteen. Prosessiveden lämpötilan tulisi olla nitrifiointilämpötilaa + 9 °C korkeampi, ettei biologisen puhdistusprosessin toiminta häiriidy. Puhdistamolta purkuun johdettavan jäteveden lämpötilan tulee olla vähintään + 4,5 °C purkujärjestelmän sulana pysymisen takaamiseksi (kuva 16).





**KUVA 16. Kiteen keskustaaajaman jäteveden puhdistamolla vuosina 2011- 2013 (käyttötarkkailudata).**

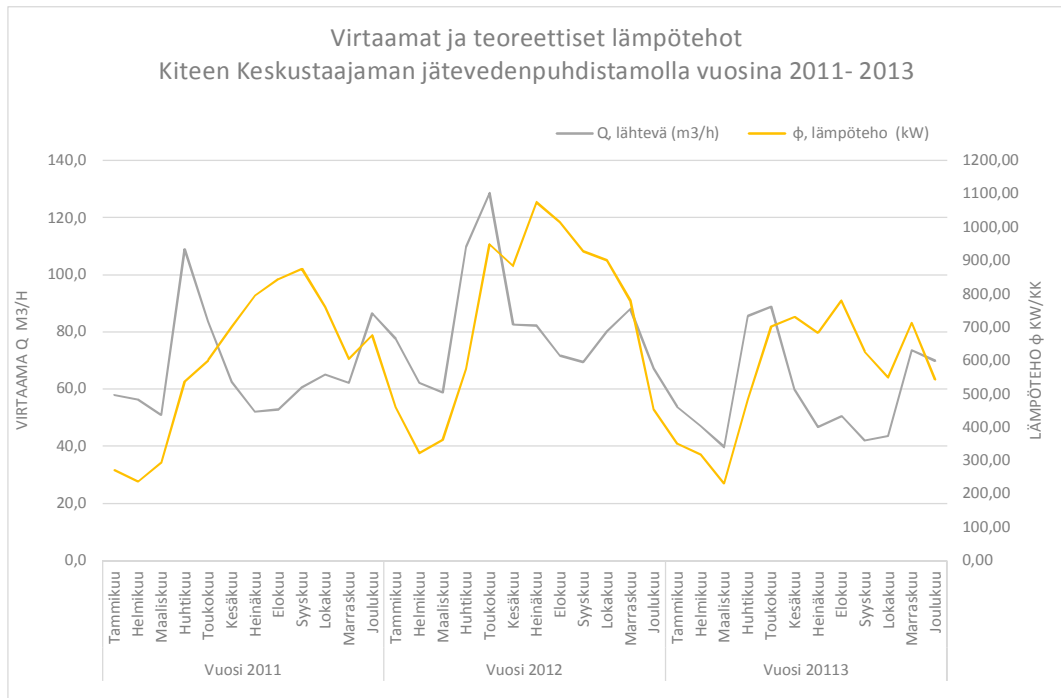
Jätevedenpuhdistamon virtaaman ja lämpötilan keskimääräiset arvot sekä vaihteluväli tarkastelujaksolla on esitetty taulukossa 11.

**TAULUKKO 11. Keskimääräinen, minimi ja maksimi virtaamat ja lämpötilat tarkastelujaksolla vuosina 2011 - 2013 (käyttötarkkailudata)**

Määre	Tuleva lämpötila (°C)	Lähtevä lämpötila (°C)	Q, lähtevä (m <sup>3</sup> /h)	Q, lähtevä (m <sup>3</sup> /d)	Q, lähtevä (m <sup>3</sup> /a)	Q, lähtevä (dm <sup>3</sup> /s)	Q, LPP (m <sup>3</sup> /h)
kesk	8,4	10,9	67,1	1652	603152	19	7
min	5,5	7,2	25,9	952	347535	11	6
max	11,8	12,2	154,1	3088	1127270	36	8

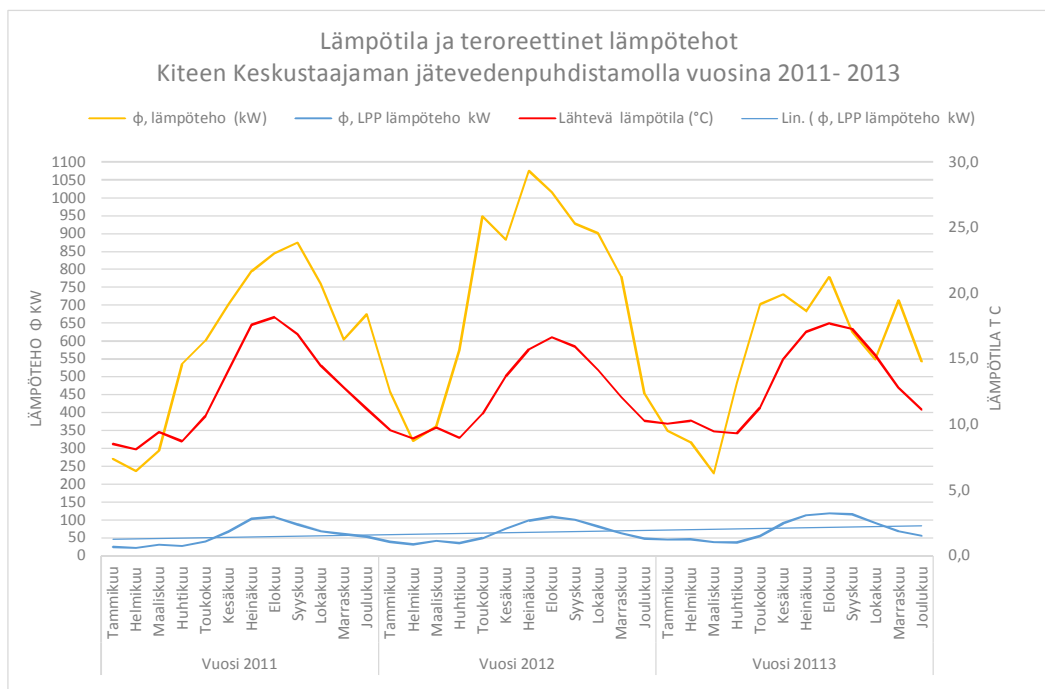
Puhdistamolalta lähtevä jätevesi oli keskimäärin lähes 11 °C ja vähintään 7 °C. Puhdistamolalta lähtevä vesi oli keskimäärin 2,5 °C lämpimämpää kuin laitokselle tuleva jätevesi. Joinakin päivinä talviaikaan jätevesi on alle + 4,5 °C, jolloin lämpöteho jää alle 0 kW (ei voida hyödyntää). Lämpöpumpuille johdettiin noin 10 % puhdistamon keskimääräistä kokonaisvirtaamasta.

Laskennallisesti lämpöteho noudattaa virtaamaa paitsi kesäaikana, jolloin lämpötilan vaikutus suurentaa lämpökapasiteettia. Puhdistamolalta lähtevä virtaama vaihteli välillä 950 - 3090 m<sup>3</sup>/d eli 40 - 129 m<sup>3</sup>/h. Samanaikaisesti teoreettinen lämpöteho on ollut 250 - 110 kW/kk. (kuva 17)



**KUVA 17. Jäteveden laskennallinen lämpövirta eli lämpöteho vuosina 2011 - 2013 (käyttötarkkailudata)**

Laskennallinen teoreettinen lämpöteho ei noudata virtaamatrendiä. Puhdistamolta lähtevän jäteveden lämpötila vaihteli vuosina 2011 - 2013 välillä 8 - 18 °C. Alhaisimmat lämpötilat ja lämpökapasiteetit sijoittuivat helmi - maaliskuulle. Laskennallinen lämpökapasiteetti noudatti lämpötilan trendiä (kuva 18).



**KUVA 18. Lämpötila ja laskennalliset lämpötehot Kiteen jätevedenpuhdistamon jätevedessä vuosina 2011 ó 2013**

Lämpöteho olisi ilman laite- ja järjestelmähäviötä täydellä puhdistamon lähtevällä virtaamalla keskimäärin noin 12 MW vuodessa (taulukko 12) eli noin 100 GWh/a jatkuvalla lämpöpumpun käytöllä (taulukko 12).

**TAULUKKO 12. Teorettinen lämpöteho ja lämpöenergia vuosina 2011 - 2013**

Vuosi	Teorettinen			Hyödynnettävä	
	Lämpöteho (kW)	Lämpö-energia kWh/a	Lämpö-energia GWh/a	Lämpöteho kW (virtaamasta 70 %)	Lämpö-energia ( $\eta=0,7$ ) GWh/a
2011	11393	99804296	100	5037	31
2012	14470	126755060	127	6336	39
2013	10386	90984685	91	4695	29
keskiarvo	12083	105848014	106	5356	33

Teknisistä syistä kaikkea lähtevää jätevettä ei ole haluttu johtaa lämpöpumpulle. Hyödyntämisasteena voidaan jatkossakin pitää noin 70 % kokonaisvirtaamasta (18 l/s). Teknisesti hyödynnettävänä kokonaislämpötehona voidaan pitää vähintään 5 400 kW vuodessa. Lisäksi purkuputkeen johdettavan veden minimilämpötilaksi arvioitiin + 4,5 °C, kun teoreettisesti lämpöpumpulla voidaan jäteveden lämpötilana pitää 0 °C. Lämmöntalteenottojärjestelmän lämpöpumpun hyödyksi saatava lämpöenergia (hyötysuhde 0,7) olisi keskimäärin noin 33 GWh/a.

### 7.3 Jäteveden lämmöntalteenotto

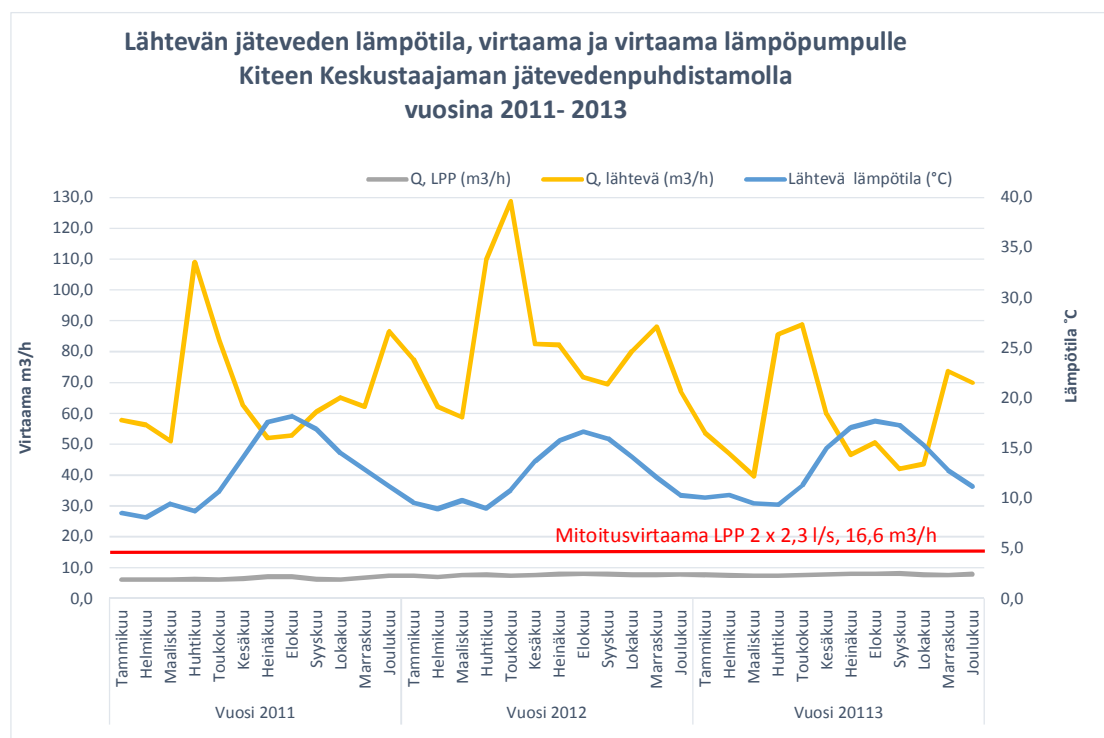
Jäteveden lämmöntalteenottoa tarkasteltiin nykyisellä järjestelmällä sekä uudistetulla järjestelmällä. Uudistusta varten tarkasteltiin kahta vaihtoehtoa, joissa toisessa jätevesi johdetaan suoraan lämpöpumpun höyrytimeen ja toisessa jätevesilämpöä hyödynnetään lämmönsiirtimen (välittäjäaine) kautta lämpöpumpulla.

#### 7.3.1 Nykyisen jätevesilämpöpumppujärjestelmän toiminta

##### Lämpöpumpun toiminta

Jätevesi johdetaan lähtevän veden altaasta suoraan lämpöpumpun höyrytimeelle. Pumpulle johdettava virtaama on säädetty vakioksi (2 x 2,3 l/s) /26 /. Lämpöpumpun vir-

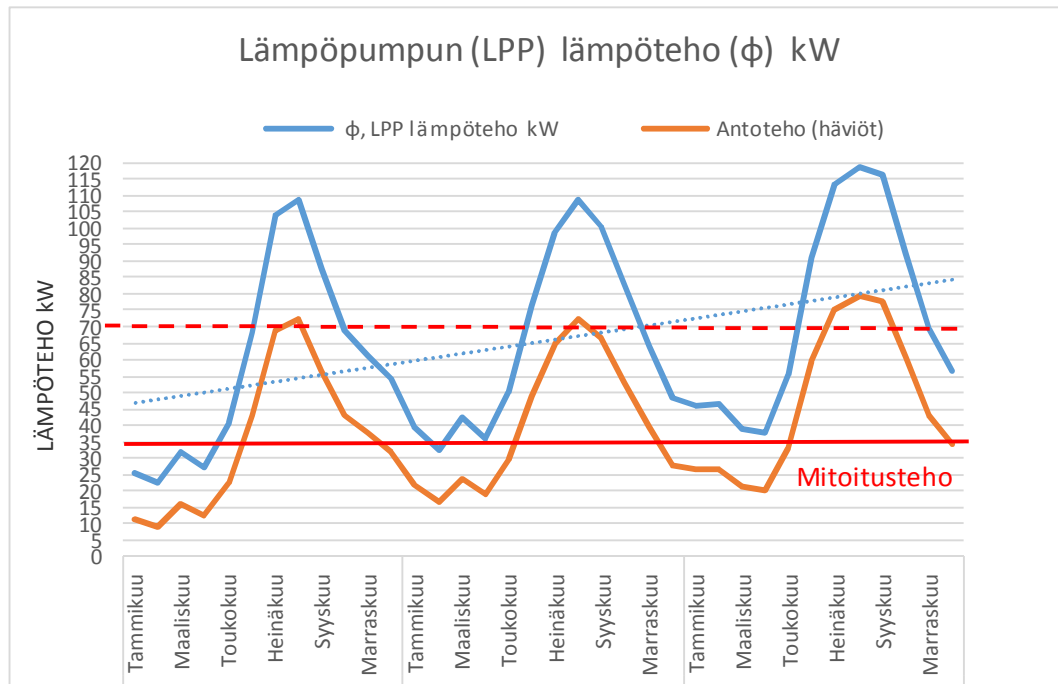
taama ja siten myös tehontuotto on tasainen eikä vaihtele puhdistamon jätevesivirtaaman mukaan. Käyttötarkkailutietojen mukaan virtaama lämpöpumpulle on ollut vuosina 2011- 2013 keskimäärin 7 m<sup>3</sup>/h eli 2,0 l/s (kuva 19).



**KUVA 19. Lähtevän jäteveden virtaamat ja lämpötilat sekä virtaama lämpöpumpulle Kiteen keskustaajaman jäteveden puhdistamolla vuosina 2011- 2013 /23/**

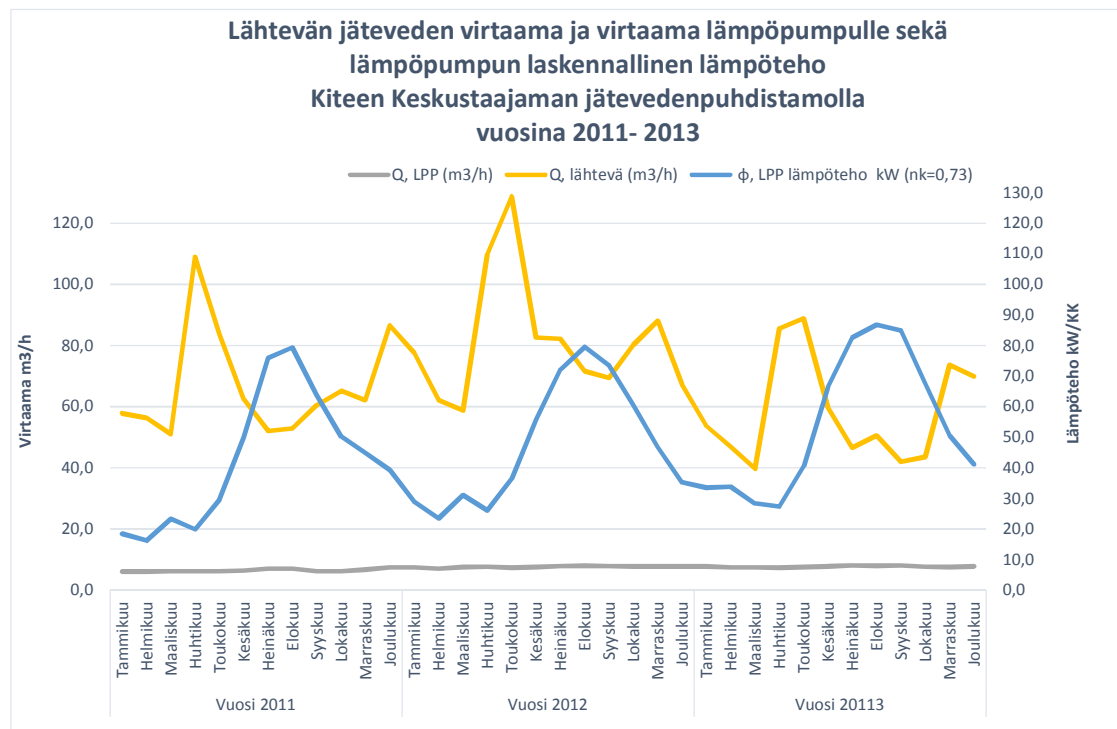
Virtaama lämpöpumpuille on viime vuosina ollut keskimäärin 18 m<sup>3</sup>/h ja maksimissaan noin 23 m<sup>3</sup>/h. Mittaustiedoissa virtaama on tasapainotettu vuorokauden tunneille, vaikka todellisuudessa pumpit eivät käy jatkuvasti, vaan noin kahdeksan tuntia työpäivisin.

Lämpöpumpun ottamaa sähkötehoa ja tuottamaa tehoa varten on mittaus, mutta mitaustuloksia ei ole saatu dokumentoitua etälueuttavien mittareiden asentamisen jälkeen mittaus- ja automaatiojärjestelmien yhteensopimattomuuden vuoksi. Lämpöpumpun mitoitus teho on 35 kW (2 kpl 70 kW). Laskennallinen teho vaihteli 25- 120 kW. Lämpöpumpun mitoitusottosähköteho on 9,95 kW sekä lämpöpumpun laitehäviöt pienentävät tehontuottoa (lämpöpumpun suunniteltu hyötysuhde (0,73). Laskennallinen antoteho on keskimäärin noin 20 kW laskennallista pienempi. Antoteho saavuttaa mitoitus-tehon vain kesäaikaan ollen keskimäärin vain hieman yli 50 % mitoitusarvosta (kuva 20). Lämpöpumpit toimivat kovin vajaatuottoisina. Järjestelmän laitteiden kuntoa ei suunnitelmasta poiketen arvioitu.



**KUVA 20. Lämpöpumpun laskennallinen teho ja mitoitus-teho vuosina 2011 - 2013**

Laskennallinen lämpökerroin nykyiselle lämpöpumpulle on COP=2,5. Talvikuukausina lämpöpumppujen teho on alle 50 % mitoitusarvosta. Lämpöpumppujen yhteinen antoteho ylittää mitoitus-tehon vain heinä-elokuussa. Tänä ajankohtana jäteveden lämpötila on yli 15 °C (kuva 21).



**KUVA 21. Lämpöpumpun lämpöteho ja virtaama sekä jäteveden virtaama**

Lämpöpumppujärjestelmän tuottama lämpöteho kuukaudessa oli keskimäärin 40 kW. Lämpöteho vaihteli välillä 8 - 80 kW. Järjestelmän tuottama laskennallinen lämpöteho on ollut noin 500 kW vuoden aikana. Työpäivinä käyden hyödyksi saatu lämpöenergia olisi noin 1400 MWh/a. (taulukko 13).

**TAULUKKO 13. Lämpöpumpun laskennallinen lämpöteho ja lämpöenergia**

Vuosi	Nykyinen , LPP lämpöteho kW	Uusi LPP		
		lämpöenergia MWh/a (käynti 8 h/24 h)	lämpöenergia GWh/a (käynti 8 h/24 h)	lämpöenergia MWh/a (käynti 8 h/24 h, 5/7)
2011	424	10295	10	744
2012	484	9226	9	830
2013	597	28788	29	937
kesiarvo	501	16103	16	837

Uudistettavan LPP:n lämpötehon ja lämpömäärän laskentaan on käytetty seuraavia mitoitusarvoja:

- lämpötila ulos pumpulta + 4,5 •C
- virtaamapumpulle noin 70 % kokonaisvirtaama, noin 18 l/s
- Lämpöpumppujärjestelmän keskimääriseksi käyntiajaksi arvioitiin 8 h/24 h sekä vaihtoehtoisesti 8/24 h työpäivinä.

Näillä mitoitus arvoilla uuden lämpöpumpun tehontuotto olisi vuodessa noin 5400 kW ja lämpöenergiantuotto 16 GWh/a.

### 7.3.2 Jäteveden lämmöntalteenottoon soveltuvat lämpöpumput

Jätevesikäyttöön soveltuvien lämpöpumppujen teknisiä tietoja saatiin seuraavilta laitevalmistajilta, Pemco Oy, Gebwell Oy, LämpöÄssä Oy, Oilon Scancool Oy, Nibe Oy ja Hydropress HUBER AB. Kaikki vastasivat yhteydenottoon, mutta saadut tulokset vaihtelivat kovin paljon sisällön suhteen. Investointihintatietoja ei toimittanut kukaan. Toimitettujen referenssilaitosten teknisiä yksityiskohtia ei myöskään saatu. Tarkastelussa esille tulleet mitoitusvaatimukset täyttävät pumpit on esitetty taulukossa 14 sekä tarkemmat tiedot liitteessä 2.

**TAULUKKO 14. Jätevesikäyttöön soveltuvia lämpöpumppuja**

Valmistaja	Oilon Oy		Lämpöässä	Gebwell			Nibe	Huber
Malli	ChillHeat P	Chill-Heat S	T120	G 50	G85	T30	F1330	DYNA CIAT
Lämmitysteho, kW (lämmitysverkosto) 18/8 °C, 40/55						31,8	22/30/40/60	97
Lämmitysteho, kW (maalämpö) EN 14511 0/35	150 - 380 kW	180 - 540 kW	11,7	50	85	34,5		112
COP			4,0*			4,4*		4,22
Ottoteho EN 14511 0/36			2,9			7,3		
Tuotetun lämmön maks. It	80 °C	67 °C	55			60	65	55
Kompressori, tyyppi ja lukumäärä	mäntä-kompressori	ruuvi-kompressori	Scroll	Scroll	Scroll			Scroll
kylmäaine	R134a	R134a	R	R410	R410		R407/R410a	R410a

\* laskettu

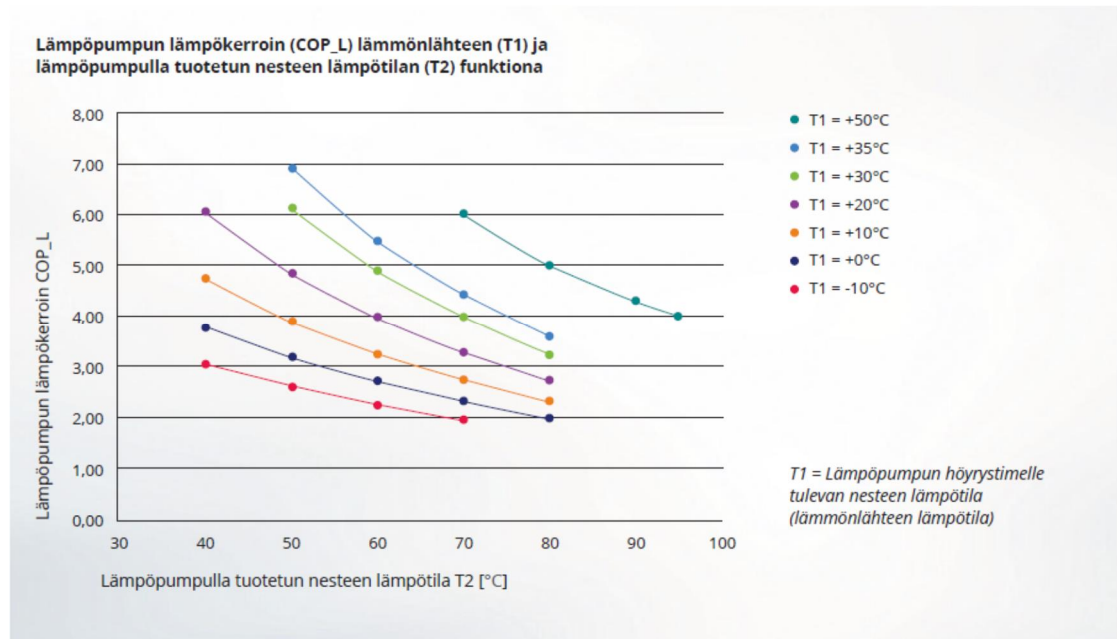
Laitevalmistajien ilmoittamat tiedot poikkeavat toisistaan mm. lämmitystehon ja COP arvon määrittämisen suhteen. Useista pumpuista COP-arvoa ei ilmoitettu tai sen laskentavasta ei ollut varmuutta. Yleisesti COP-arvot ovat kuitenkin 3,5 - 4. Taulukossa esitelyjen pumppujen tehot on määritetty standardin EN 14511 mukaisesti.

**7.3.3 Optimaalinen lämpöpumppujärjestelmä**

Optimaalisen lämpöpumppujärjestelmän suunnitteluvaatimukset ja mitoitusarvot ovat:

- Lämpimänkäyttö veden mitoituslämpötila +55 °C
- Tulistustehon hyödyntäminen priimauksessa
- Sääto ja ohjaus liitettävissä COMPUTEC:n kiinteistöautomatioon
- Lämpöpumpusta ulos johdettavan jäteveden lämpötilan määrää virtaama sekä kylmän veden viilennysvaikutus sekoittuessa lähtevään veteen, joka olisi täydellä virtaamavolyymillä + 4 °C ja osavirtaama käytöllä 2-3 °C tai jopa 0 °C
- Alimman lämpötilan lämpöpumppujärjestelmässä määrittää yllä mainitut ehdot sekä laitevalmistajan määrittämä pumpun alin toimintalämpötila
- Pehmokäynnistys
- Säädin lämpövirran joustavaan ohjaukseen

Kiteen jätevedenpuhdistamon tulevan jäteveden lämpötila  $t_1 = 8 \text{ °C}$  ja  $t_2 = 45 \text{ °C}$ , jolloin  $\text{COP}_L = 4$  (kuva 22).



**KUVA 22. PMHP lämpöpumppujen COP arvoja lämpötilojen mukaan /14/**

Lämpöpumppulaitoksen tekniset mitoitus-suositukset on esitetty taulukossa 15.

**TAULUKKO 15. Kiteen jätevedenpuhdistamon lämpöpumppujärjestelmä**

Tekninen tieto	Suositus arvo
Lämmitysteho, kW (lämmitysverkosto) EN 14511 40/55	100- 150
Lämmitysteho, kW (maalämpö) EN 14511 0/35	100- 150
COP	4
Ottoteho EN 14511 0/36	hyvä
Tuotetun lämmön maks. lt	55
Tuotetun jäädytyksen min. lt	hyvä
Kompressori, tyyppi ja lukumäärä	Scroll, 1-2 kpl
kylmäaine	
Jäädytysteho kW (ilmastointi) 2 12/7 °C, 36/42 °C	10
COPc 2 12/7 °C, 36/42 °	4

Nykyisen järjestelmän mukaiseen käyttöön lämpimän käyttövedentuotantoon ja tuloilmapattereiden lämmitykseen tarvitaan lämpötehoa 100 kW kumpaankin tarkoitukseen. Lämpöpumppujärjestelmän mitoitustehoksi valittiin 100 - 200 kW. Lisälaskelma tehtiin myös maksimiteholle 600 kW. Tulistuksen hukkalämmön hyödyntämisellä voidaan saavuttaa lisätehoa. Optimaalisen kylmäaineen määrittäminen oletettiin olevan laitevalmistajan tehtävä.



Kiinteistön lämmityspatteriverkoston kiertoveden lämmittämiseen ja lattialämmitykseen sekä ilmastoinnin jäähdytykseen lämpöenergiaa käytetään, mikäli kapasiteettia riittää. Lämpöpumppulaitoksen lämpökapasiteettia on mahdollista kasvattaa liittämällä pumppuja rinnan. Laitoksen hyödynnettävissä oleva lämpökapasiteetti olisi lähes 600 kW vuodessa.

### Vaihtoehto 1

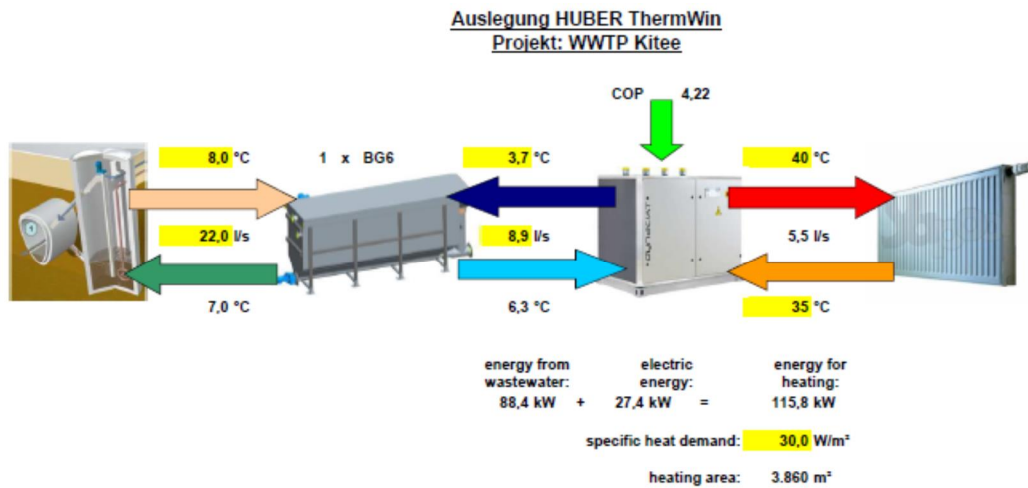
Vaihtoehdossa 1 lämmöntalteenottojärjestelmänä ovat erilaiset suoraan jätevedestä lämpöä hyödyntävät lämpöpumput. Vaihtoehdot 1A, 1B ja 1C sekä 1D eroavat toisistaan pumppujen tehojen sekä eri käyttöaikojen suhteen. Vaihtoehdot ovat seuraavat:

- Vaihtoehdossa 1A nykyinen järjestelmä korvattaisiin 100 kW:n lämpötehoisella yhdellä lämpöpumpulla ja sen käyttöaika olisi laitoksen miehitetty aika (11/24 h).
- Vaihtoehdossa 1B tekniset järjestelyt ovat samat, mutta käyntiaika 8/24 h, kuten nykyisin.
- Vaihtoehdossa 1C 100 kW:n tehoisia lämpöpumppuja asennettaisiin 2 kappaletta rinnan (200 kW) ja käyttöaika 11 h/d.
- Vaihtoehdossa 1D nykyinen järjestelmä korvattaisiin 600 kW:n lämpötehoisella yhdellä lämpöpumpulla ja sen käyttöaika olisi laitoksen miehitetty aika (11/24 h). Vaihtoehdossa mitoitetaan lämpötehoa 400 kW lämmityksen ja jäähdytyksen tehontarpeeseen.

Suuremmat tehontuotot voidaan toteuttaa rinnankytketyillä yksiköillä tai yhdellä suuri-tehoisella pumpulla.

### Vaihtoehto 2

Vaihtoehdossa 2 lämmöntalteenottojärjestelmänä on lämmönvaihtimen kautta jätevesilämpöä hyödyntävät lämpöpumput. Järjestelmästä pyydettiin laitetietoja Kiteen lämmöntalteenottojärjestelmän mitoituservoilla Hydropress Huber Ab:ltä, joka teki laskelmat jäteveden keskilämpötilalla +8 °C jäteveden lämpötilalla, jolla Huberin mukaan jätevedestä saadaan tehoa noin 90 kW (kuva 23).



**KUVA 23. Alustava prosessimitoitus Kiteen jätevedenpuhdistamon lämmöntalteenottojärjestelmäksi /20/**

Prosessiin palautettavan jäteveden lämpötila on noin 7 °C. Käyttöalueelle soveltuva lämmönvaihdin on Huber RoWin koko 6 (BG 6). Mikäli lämmönvaihdinten asennetaan suoraan betonikanavaan (Becken), niin ei tarvita terässäiliötä eikä pumppua jäteveden pumppaukseen kanavasta lämmönvaihtimeen. Lämpöpumppuna voidaan käyttää minkä tahansa valmistajan pumppua, joka vastaa esimerkin lämpöpumpun (CIAT) mitoitusarvoja. Jäähdytysvesikierrossa käytetään Glyolia, jolla estetään lämpöpumpun jäätymistä matalissa lämpötiloissa.

#### 7.4 Uudistuksen kustannusarvio

Lämpöpumpun kannattavuuslaskelmassa on huomioitu lämpöpumppujärjestelmän investointikustannus, hyödyksi saatava energia kWh/a sekä sen taloudellinen tuotto vuodessa. Vaihtoehtoisissa on erilaisilla tehontuotoilla toimivia sovellutuksia hyödyntämissuunnitelmien mukaisesti. (taulukko 16).

**TAULUKKO 16. Lämpöpumpujen laite-investointikustannus**

Arviotava tekijä	Kitee uusi				LPP lämmön-vaihtimella	LPP + maakaivot
	VA 1A	VA 1B	VA1C, 2LPP	VA 1D		
Vaihtoehto			VA1C, 2LPP	VA 1D	VA2, RoWin BG 6 + LPP	LVI- bioneerit
Investointikustannus €	60 000	60 000	120 000	460 000	140 000	150000
Tuotto kW	100	100	200	600	90	100
Tuotto kWh/A	264000	192000	528000	1584000	245600	264000
Tuotto €/a	17582	12787	35165	105494	23017	17582
Avustus 20%	6000	15000	12000	46000	14000	6000
Käynti aika h /a	2640	1920	2640	2640	5760	3840
h/kk	220	160	220	220	480	320
h/dtyö	11	8	11	11	16	16

\*Kiteen puhdistamolle mahdollinen avustusprosentti on ilmeisesti 10 %

Energiantuotto (kWh/a) vaihtelee suunnitellun käyntiajan mukaan. Huber-lämmönvaihtimen RoWin BG 6 hinta terässäiliössä on noin 70 000 p tai suoraan kanavaan asennutuna 60 000 p. Tämän lisäksi tarvitaan pumppu jäteveden pumppaukseen kanavasta sekä lämpöpumppu.

## 8 TULOSTEN TARKASTELU

### 8.1 Rakennuksen energian kulutus ja kustannukset

Puhdistamorakennuksessa ei ole aiemmin suoritettu kokonaisvaltaista energiantarvetarkastelua. Puhdistamorakennuksen bruttopinta-ala ja bruttotilavuus ovat arvioitu, koska ihan tarkkaa laskelmaa useiden saneerausten jälkeisistä suunnitteluasiakirjoista ei löytynyt. Rakennuksen mittojen arvion tarkkuutta tähän tarkoitukseen voidaan kuitenkin pitää riittävänä. Rakennuksen energian kulutuksesta oli vähän mitattua tietoa, eikä läheskään kaikkia energiataseen laskemiseen tarvittavia tietoja ollut suoraan saatavilla. Pääosin 90-luvulla rakennettua rakennusta koskevia rakentamisohjeita oli hyvin vähän, joten niiden avulla ei arvioida energiatasetta. Rakenteiden U-arvojen ja lämpöhäviöiden sekä lämpökuormien tietojen puuttumisen vuoksi tilakohtaisia lämmitystarpeita ei ole järkevää tässä määrittää, vaikka se olisi teoreettisesti mahdollista.

Rakennuksen energian tarve  $512 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  on korkea, mutta se aiheutuu osin puhdistamoprosessin energian tarpeesta. Rakennus on pääsoin rakennettu ennen energian kulu- tusnormien voimaantuloa, eikä siltä sen käyttötarkoituksesta johtuen ole edellytetty energiansäästöä. Puhdistamorakennuksen ET-luku määritettiin, mutta puhdistamora- kennuksen käyttötarkoituksesta johtuen sillä ei ole luokitusta (muut luokittelemattomat rakennukset). Vuosien 2007 - 2011 rakentamismääräysten mukaan puhdistamon ener- giatehokkuusluokka olisi ollut F ( $421 < \text{ET-luku} > 660$ ), joka olisi ollut toiseksi hu- noin. Huolimatta huonosta ET-luvusta puhdistamon katsotaan olevan jätevedenpuhdis- tamona ympäristöarvoiltaan lähes parasta tekniikkaa. Ympäristönsuojelulliset normit ja energiansäästönormit ovat osin ristiriitaisia. Energiakulut ovat melko suuri osuus lai- toksen kuluista, ja taloudelliset seikat imagon lisäksi kannustavat kiinnittämään asiaan huomiota. Rakennuksen energiaselvitys tulisi tehdä.

Prosessin lämpimän käyttöveden ja talousvedentarvetta ei voitu arvioida, koska puhdis- tamorakennuksessa ei ole vedenmittausta (omistajan vesilaitos). Polymeerin valmista- miseen kuluu runsaasti lämmintä vettä, mutta kulutustiedon puuttumisen vuoksi käyt- töveden lämmitysenergian tarve jäi viitteelliseksi. Veden lämmitysenergian tarve voi olla huomattavasti suurempi. Polymeerin valmistaminen kylmään veteen toisi huomata- van energian säästön, joten sellaisen mahdollisuuden selvittäminen olisi kannattavaa. Rakennuksessa käytetään useaa lämmitystapaa (vesikiertoinen patteriverkosto, ilma- lämmitys, suorasähkö puhaltimet, lattialämmitys), joiden mitoitus tietojen puutteen vuoksi lämmitysenergian kulusta ei voitu arvioida. Tällä on suuri merkitys lämmön- hyödyntämisen tarkastelussa. Lämmityskäytölle ei voitu laskea hyötytehoja ilmaläm- mitystä lukuun ottamatta. Ilmalämmityksessä arveltiin olevan suurin rakennustek- niikan energiantarve. Prosessilaitteiden energiantarpeen vuoksi energiataloudellista rat- kaisuun ei päästä taloteknisillä ratkaisuilla. Laskentaa vääristää lämpökuorman hyödyn huomiotta jättäminen.

Energiantarvelaskelmia käytetään jäteveden lämmönhyödyntämisen tarkastelussa. Jat- kossa ET-luku tarvitaan rakennuslupaprosessin tai energiaselvityksen yhteydessä. Puh- distamon kokonaisenergiankulutus on suurta, ja rakennuksen ostosähkön kustannukset ovat merkittävä osa viemärlaitoksen kuluista. Energiakustannuksilla on jo vaikutusta jätevesimaksun kokonaissuuruuteen. Joka tapauksessa tarkastelussa ilmeni tarkemman energiaselvityksentarve sekä energiankulutuksen merkitys laitostaloudelle.

## 8.2 Jäteveden teoreettinen lämpökapasiteetti

Jäteveden teoreettinen lämpökapasiteetti määritettiin veden fysikaalisten ominaisuuksien, jäteveden lämpötilan ja virtaaman avulla. Käytössä oli varsin laaja ja yksityiskohmainen käyttötarkkailun mittausaineisto. Maksimaalinen teoreettinen lämpökapasiteetti tuli hyvin selvitettyä. Laskennassa huomioitiin puhdistamolle tulevan jätevesikuormituksen vaihtelut. Teoreettinen lämpökapasiteetti ilmoitettiin keskimäärin, minimi- ja maksimiarvoilla.

Teoreettinen lämpömäärän tarkastelu tarvittiin lämpöpumpun maksimimaalisen tehoalueen mitoittamiseksi. Teoreettisen lämpömäärän lisäksi arvioitiin puhdistamon kokonaislämpömäärän hyödyksi käytettävä osuus. Puhdistamon purkujärjestelmän toiminnan takaamiseksi kaikkea jätevesivirtaa ei voida varmuudella johtaa lämpöpumpulle. Teknisesti toimivaksi osuudeksi arvioitiin 70 % kokonaisvirtaamasta, jolloin 30 % ylläpitäisi jatkuvatoimisesti purkujärjestelmän toimivuutta. Purkuputken toiminnan kannalta alhaisimmaksi turvalliseksi lähtevän veden lämpötilaksi arvioitiin 4,5 °C. Mikäli lämpöpumpulta palautettava jätevesi on tätä kylmempää, on tehtävä lämpötilojen sekoittumistarkastelu 30 %:n ylläpitovirtaaman kanssa. Alinta purkuun johdettavan jäteveden lämpötilaa ei tarkoin määritetty. Lämpöpumpun hyödynnettäväksi jäävä lämpötilaero on kuitenkin vähintään 3,5 °C. Pumpulta palautettava ja purkuun johtava vesi voisi mahdollisesti olla, jopa 1- 3 °C, mikäli lämpötila ehtii tasaantua sekoittuessaan purkuputkessa pumpun ohi johdettavaan jäteveteen. Tällä saavutettaisiin mahdollisesti noin 15 % tehontuoton kasvu. Lämpöpumpun lämpökerroin kuitenkin alenee matalissa höyrystymislämpötiloissa sekä jäätymisriski kasvaa.

Tulevasta jätevedestä hyödynnettävä lämpömäärä olisi pienempi, koska prosessiin johdettavan jäteveden tulisi olla vähintään 9 °C. Joka tapauksessa lämpötilan lasku on riski biologisen puhdistusprosessin toiminnalle. Talviaikaan lämpöpumpulle ei voitaisi mahdollisesti johtaa vettä jopa pariin kuukauteen. Kohteessa tulevan jäteveden lämpötila on jo lähtökohtaisesti lähtevää 3 K alhaisempi. Jo tällä puhdistamolla tapahtuvalla lämpötilaerolla voidaan lämpöpumpulle tuottaa taloudellisesti lämpöenergiaa, joten lämmöntalteenotto lähtevästä vedestä on kaikin puolin kannattavampaa kuin tulevasta jätevedestä. Lisäksi nykyisen LTO:n tilavaraus ja liitokset lämmitysjärjestelmään ovat hyödynnettävissä vain lähtevään veteen.

Jätevedenpuhdistamon hyödynnettävissä oleva lämpöteho oli seurantajakson aikana 500 - 700 kW, josta puhdistamon lämmitystehontarve oli noin 80 %. Täydelle hyötöteholle mitoitetulle lämmöntalteenottojärjestelmällä puhdistamorakennus olisi mahdollista lämmittää täysin omavaraisesti. Tehosta jäisi vielä jäädytystarpeeseen noin 100-150 kW laitteiston hyötysuhteesta riippuen. Täystehon mitoituksen lisäksi järjestelmään tulee kuitenkin, varotoimena lämpöpumppujärjestelmän häiriöiden ja seisokkien varalle, asentaa varaajaan sähkövastukset.

### **8.3 Jäteveden lämmöntalteenotto**

#### **8.3.1 Nykyisen lämpöpumppujärjestelmän toimivuus**

Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä on ollut toiminnassa jo yli 15 vuotta, joka on lämpöpumppujen laskennallinen käyttöikä. Laitteiden kuluminen käytössä laskee niiden hyötysuhdetta. Puhdistamon sisäilmasto-olosuhteet ovat vielä normaalia kuluttavampia kosteuden ja ilman kaasujen vuoksi. Lämpöpumput ovat kehittyneet teknisesti paljon viime vuosien aikana, joten on hyvin perusteltua olettaa löytyvän nykyistä tehokkaampi ja optimaalisempi lämmöntalteenottojärjestelmä. Nykyisillä lämpöpumpuilla lämpökerroin on käyntiolosuhteissa  $-5/55 \text{ °C}$  yleisesti 2,7 (scroll) sekä korkeammassa lauhtumislämpötiloissa  $0 - 3 \text{ °C}$  lämpökerroin on 3,5 - 4. /13, s. 225/ Uudet lämpöpumput ovat mitoitusarvoiltaan siis lähes 30 % tehokkaampia kuin nykyiset Kiteen jätevedenpuhdistamon lämpöpumput. Lisäksi, kun huomioidaan nykyisen pumpun kulumisesta arvioidut tehon heikennykset sekä alimitoitus, ei nykyistä lämpöpumppua kannata tarkastella tarkemmin, vaan voidaan todeta sen korjaamisen uudella nykyaikaisella lämpöpumpulla olevan joka tapauksessa kannattavampaa. Mikäli puhdistamolla halutaan hyödyntää tehokkaasti jätevedenlämpöä, tulisi lämpöpumppu uusia. Nykyisellä lämpöpumpulla voidaan tuottaa hieman hukkalämmöllä ilmaisenergiaa, mutta se ei ole kustannustehokasta ja lisäksi osa lämpökapasiteetista hukataan.

Pumpuille niiden käydessä ohjattu virtaama ( $18 \text{ m}^3/\text{h}$ ) on ollut 10 % suurempi kuin pumppujen mitoitusvirtaama ( $16 \text{ m}^3/\text{h}$ ), mutta tästä huolimatta laskennallinen pumppujen tehon tuotto on ollut vain 60 % mitoitusuotosta. Tällöin niiden laskennallinen teho olisi 42 kW. Lämpöpumppujen yhteinen antoteho ylittää mitoitusuotosta vain heinä-elo-kuussa, jolloin jäteveden lämpötila on yli  $15 \text{ °C}$ . Pumppujen tehontuoton voidaan arvioida laskeneen noin 40 % alkuperäisestä. Tehontuoton heikkeneminen johtunee laitteiston kulumisesta ja osin suunnitellusta poikkeavasta käytöstä. Jäteveden limoittumisen

aiheuttamasta tukkeutumisongelmasta johtuen pumput ovat olleet vajaalla käyntiajalla. Lämpöpumput toimivat parhaiten tasaisella virtaamakuormituksella ja säännöllisellä käynnillä ilman pysähdyksiä. Hetkellisesti täystehoisina virtaaman suhteen sekä toistuvilla pysähdyksillä hyötysuhde laskee alentaen tehontuottoa. Käyttöolosuhteiden ja lämmöntuottotarpeen perusteella voidaan todeta, että nykyinen lämpöpumppujärjestelmä toimii tehottomasti eikä sitä ole myöskään käyttöikänsä vuoksi tarpeen enää saneerata. Järjestelmän laitteiden kuntoa ei suunnitelmasta poiketen arvioitu, koska se todettiin mitoituksen ja alentuneen tehontuoton vuoksi saneerauskelvottomaksi.

### 8.3.2 Optimaalinen lämpöpumppujärjestelmä

Optimaalinen lämpöpumppujärjestelmä on teknisesti toimiva ja taloudellisesti kannattava. Teknisiä mitoistekijöitä ovat höyrystettävän jäteveden lämpötila- ja kiintoainevaatus, pumpun mitoitusvirtaama sekä haluttu tehontuotto. Lisäksi järjestelmän on oltava liitettävissä olemassa olevaan kiinteistöautomaatioon ohjauksien toteuttamiseksi sekä tehon tuoton seuraamiseksi.

Vertailuun hyväksyttiin vain suoraan jäteveettä höyrystäviä lämpöpumppuja, koska keruuputkistoa ei ole ennestään eikä sellaista haluta rakentaa. Keruuputkiston huolto ja ylläpito aiheuttaisi ylimääräistä työtä sekä kustannuksia. Myös lämmöntalteenottolaitteiston tehohäviöt kasvaisivat. Jätevesi on laatunsa vuoksi käyttökelpoista lämpöpumpputekniikalle.

Toimeksiantaja oli aiemmin selvittänyt maalämmön hyödyntämistä puhdistamon lämmitykseen lämpökaivojen ja maalämpöpumpun avulla. Maalämpöjärjestelmän tehoksi oli määritetty 100 kW. Järjestelmän hinnaksi arvioitiin noin 150 000 €, joka koostuu pääosin kaivojen rakentamisesta. Sama hyötyteho on saatavissa reilusti laitoksen jätevedestä, eikä silloin tarvita 100 000 €:n kaivoinvestointia.

Suoraan jäteveettä höyrystävän lämpöpumpun järjestelmähäviöt ovat lämmönvaihdin menetelmää pienemmät sekä varaajainvestointi on pienempi. Jätevesilämpöpumppu on ilman muuta teknisesti ja taloudellisesti maalämpöä kannattavampi vaihtoehto jäteveden puhdistamon lämmitysjärjestelmänä.

Toiminnallisesti varmin olisi lämmitystehontarpeen osateholle 50 - 70 % mitoitettu lämpöpumppu. Osatehomitoituksella voitaisiin tuottaa pääosa tuloilman lämmityksen ja lattialämmityksen energiantarpeesta, joissa saavutettava hyöty olisi suurin alhaisen

toisiopiirin lämpötilan ansiosta. Osateholla 70 % lämpöä olisi mahdollista käyttää myös lämpimänkäyttöveden valmistamiseen. Tehokkaammin hyötyä saavutetaan ohjattaessa tuottoa varaajille lämpötilaohjatusti. Lämmityskauden ulkopuolella energiaa jää myös lämpimän käyttöveden tuotantoon. Hyödyntämisen mitoitusperusteena käytettiin aina saavutettavissa olevaa kapasiteettia eli minimiarvoa. Optimaaliseksi lämpöpumpun tehontuotoksi osoittautui 100 ó 200 kW. Lämpöpumput toimivat korkealla hyötysuhteella vielä 0-3 •C höyrystymislämpötilassa. Pumppujen yhteistehontuottoa voidaan kasvattaa kytkemällä pumppuja rinnan. Tehontuoton nosto on mahdollinen jopa yli 5000 kW.

### **8.3.3 Jätevesikäyttöön soveltuvat lämpöpumput**

Mitoitusvaatimukset täyttäviä lämpöpumppuja näyttäisi löytyvän useilta valmistajilta ja useita malleja. Lämpöpumpuksi ei esitetä vain yhtä vaihtoehtoa, koska mitoitusta on tarkennettava vielä energiaselvityksen perusteella. Toisaalta lämpöpumpuksi voitaisiin esittää mitä tahansa 100 kW:n tehontuotolla olevista jätevesipumpuista, mutta hyöty ei välttämättä olisi optimaalinen. Lämpöpumpun tarkempi soveltuvuustarkastelu tulee tehdä lisäselvitysten perusteella. Lämpöpumppuprosessin lämpötiloilla on merkittävä vaikutus pumpun hyötysuhteeseen.

Lämpöpumpussa tulisi olla mahdollisuus käyttöveden priimaukseen tulistuslämmöllä, jolloin saadaan noin 10 % lisäenergiaa. Myös lauhduttimesta poistoon johdettavan veden käyttö tuloilmanjäähdytykseen parantaisi energiatasetta.

## **8.4 Arvio uudistamisen kannattavuudesta**

Mikäli puhdistamolla investoidaan jäteveden lämmöntalteenottoon, olisi jatkossa syytä varmistaa puhdistamon lämpökapasiteetti viemärointisopimukseen tehtävillä rajoitteilla, ettei LTO:n kannattavuus laske. Jos puhdistamolle johdettavan jäteveden lämpötilaa lasketaan ennen puhdistamoä kylmimpänä vuodenaikana esimerkiksi tasolta + 8°C tasolle + 6°C, voi lämpötilan lasku aiheuttaa puhdistamon kokonaistypenpoistoon vaikeuksia tai lämpötilan lasku lisää jäteveden puhdistuksen kustannuksia. Sopimusrajoitteet ovat perusteltuja myös prosessiteknisistä syistä.



Lämpöteho voitaisiin kokonaisuudessaan hyödyntää kiinteistöllä, mutta täydelle jätevesilämpö kapasiteetille rakennettuna lämpöä jäisi myös ylimääräiseksi. Ylijäämä-lämpö voitaisiin teknisesti johtaa läheisen taajaman kaukolämpöverkkoon. Alustavasti oli tarkasteltu kaukolämpöliittymän hintaa, joka oli kohtuuttoman suuri. Kaukolämmön tuottaminen ei ole kannattavaa, vaikka lämpöä jäisikin yli. Kaukolämmön tuottamisen kannattavuus murenee juuri korkeaan liitosverkoston hintaan.

Energiainvestointeihin voi saada avustusta myös lämpöpumppuhankkeisiin, mikäli sillä saavutetaan CO<sub>2</sub>-päästöjen alenemista sekä merkittävää energian säästöä (sähköenergian). Avustukset investointihankkeissa ovat olleet 10-15 %.

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin keskimäärin hyvin. Muutamissa yksityiskohdissa tavoitteita ei saavutettu, mutta työn edetessä tutkimussuuntaa täydennettiin tavoitteiden saavuttamiseksi. Rakennuksen lämmitysenergian tarve ja jätevedenlämpöenergian hyödyntäminen lämmitykseen jäi epäselväksi.

Työn tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että puhdistamolla on potentiaalista lämpöenergiaa laitoksen lämmitysenergian tarpeen verran sekä myös kesäaikaiseen jäähdätykseen. Jäteveden puhdistamon teoreettinen lämpökapasiteetin määritys onnistui hyvin. Toiminnan luonteesta (ilmanvaihdon lämmityksen tarve) ja käytetystä rakennustekniikasta johtuen rakennuksen energiantarve on suuri eikä lämpökapasiteettia riitä ulkopuoliseen käyttöön. Lisäksi kaukolämpöverkon rakentaminen kiinteistölle ei ole kustannustehokasta. Rakennuksen suurien sähkökulutuslukujen vuoksi jäteveden hukkalämmön ilmaisenergian hyödyntäminen oli kustannustehokasta.

Jätevedenpuhdistamon prosessin toiminnassa tulisi selvittää koko poistovirtaaman johtamisen mahdollisuus jätevesilämpöpumpuille. Nyt tehokalkelmat on tehty varmuuden vuoksi vain 70 %:n virtaamalla, jottei purkujärjestelmä häiriytyisi. Mikäli lämpöpumpulta olisi tasainen jatkuvavirtaama purkuun ja lämpöpumpun seisokkiaikoina pumpun ohitus mahdollisuus, ei purkujärjestelmälle olisi haittaa vaikka kaikki jätevesi johdettaisiin lämpöpumpun kautta. Myös purkuun lämpöpumpulta johdettavan menoveden lämpötilaa tulisi selvittää tarkemmin. Menoveden lämpötilaksi arvioitiin lähes aiemman

mitoituksen mukainen 4,5 °C. Lämpötila tulee olla sellainen, ettei purkuputki jäädy missään olosuhteissa. Mikäli pumpulle johdettaisiin osavirtaama, menoveden lämpötila voitaisiin turvallisesti laskea 2-3 °C:n. Täysvirtaama mitoituksella lämpötilatasoa 3-4 °C voidaan pitää turvallisena.

Nykyinen lämmöntalteenottojärjestelmä on alimitoitettu puhdistamon laajentamisen jälkeen, ja sen lisäksi se on jo teknisesti käyttöikänsä lopussa. Nykyiset lämpöpumput ovat teknisesti epävarmoja ja niiden tehon tuotto on laskenut 60 %:n mitoitusarvostakin. Lisäksi teknisen kehityksen ansiosta uusilla lämpöpumpuilla lämpökerroin-COP on 4, kun nykyisellä lämpöpumpulla COP on 2,5. Uudet pumput tuottavat siis 1,5 kertaisesti lämpötehoa jokaista ottoteho wattiakohden. Myös laitteiden toimintavarmuuden voidaan pitää parantuneen merkittävästi. Osateholle 70 % mitoitettu järjestelmä on edelleen kustannustehokkain. Investointikustannukset pienenisivät, mikäli hankkeeseen saataisiin energia-avustusta.

Tämänhetkisellä puhdistamon energiankulutuksella ja energianhinnalla lämmöntalteenottojärjestelmän tehostaminen uudistamalla olisi kannattavaa. Ennen teknistä tarke-suunnittelua olisi ehdottomasti tehtävä tarkempi energiantarveselvitys. Etenkin lämmitysenergian tarvetarkastelu sekä lämpötilojen mitoitus vaikuttavat merkittävästi lämpöpumpun tuottaman energian hyödyntämiseen. Samalla olisi syytä tarkastella myös muuta kiinteistöenergian kulutusta, kuten valaistusta ja laitesähkön energiankulutusta sekä prosessin energiankulutusta. Näissä mitä ilmeisemmin on energiansäästökapasiteettia. Polymeerin liuotusveden lämpötilasta ja lämpimän käyttöveden tarpeesta kannattaisi tehdä kriittinen tarkastelu, että löytyisikö kylmempään veteen liukenevaa polymeeria. Polymeerin liuotusvesi käyttää huomattavan osan lämmitysenergiasta. Mikäli olisi mahdollista käyttää kylmempään veteen liukenevaa puhdistamon prosessiin soveltuvaa polymeerikemikaalia, saavutettaisiin merkittävä energiansäästö. Vähentämällä muuta sähköenergiankulutusta ilmaisen energian osuus kokonaissähkönkulutuksesta kasvaa.

Lämpöpumpuista ei selvityksellä ja kyselyllä saatu ihan kaikkia haluttuja tietoja. Pumpujen tehot ja lämpökertoimet oli ilmoitettu vaihtelevasti, joten ne eivät olleet täysin vertailtavissa keskenään. Myöskään hintatietoja ei lämpöpumpuista saatu selvitettyä. Investointikustannuslaskelmien pohjana käytettiin kuitenkin yhden juuri toteutetun lai-

toksen toteutuskustannuksia. Kustannusarviota voidaan pitää ainakin kyseisen valmistajan osalta luotettavana. Tarkesuunnittelun jälkeen toteutettavan laitetarjouskilpailun oletetaan kuitenkin tuottavan huomattavasti kattavamman tuloksen.

Toimeksiantajalle saaduilla tuloksilla on käyttöä laitoksen talotekniikan kehittämisessä sekä saneeraussuunnittelussa. Tuloksia voidaan käyttää suunnitellusti suunnittelun pohjana. Uutta tietoa saatiin puhdistamon kokonaislämpökapasiteettiarviosta. Rakennuksen teknisten asiakirjojen yksityiskohtien puutteet rakentamisaikajohdon mukaisesti osoittivat suunnitelmien päivitystarpeen jatkossa. Lämpöpumppujärjestelmän lämmönhyödyntämisen tarkastelun lisäksi jouduttiin tekemään myös energiantarvelaskentaa, joka aiheutti lisätyötä sekä pientä viivästystä. Lämpöpumppujärjestelmän mitoituksen tarkastelu tulee tehdä uudelleen perusteellisen energiataseen selvittämisen jälkeen.

Lämpöpumppujärjestelmän tekninen suunnittelu tulee tehdä vasta energiaselvityksen jälkeen. Energiaselvitys olisi tarpeen tehdä energiantarvelaskentasovelluksella, joka huomio myös lämpökuormat ja järjestelmähäviöt sekä muut tasauslaskentaan liittyvät seikat. Tällöin voitaisiin selvästi osoittaa, mihin lämpöä voidaan hyödyntää ja optimoida lämmityksen ohjausta lämpötilojen ja tehontarpeen mukaan.

Jäteveden hukkalämmön hyödyntämisellä on taloudellisen edun lisäksi myös ekologisen lämmöntuotannon muut hyödyt, kuten CO<sub>2</sub>-päästöjen väheneminen, päästökauppa ja hiilijalanjälki. Lämpöpumppu tarvitsee sähköä käyttöenergiaksi, mutta nykyaikainen lämpöpumppu tuottaa ottoenergialla 1 kWh jopa 3- 4 kWh lämpöenergiaa. Lämpöpumpun käyttö vähentää oleellisesti ostosähkön tarvetta. Sähköntuotannossa syntyy CO<sub>2</sub>-päästöjä, joten sähkönkulutuksen vähentäminen pienentää hiilidioksidikuormitusta ja samalla hiilijalanjälkeä.

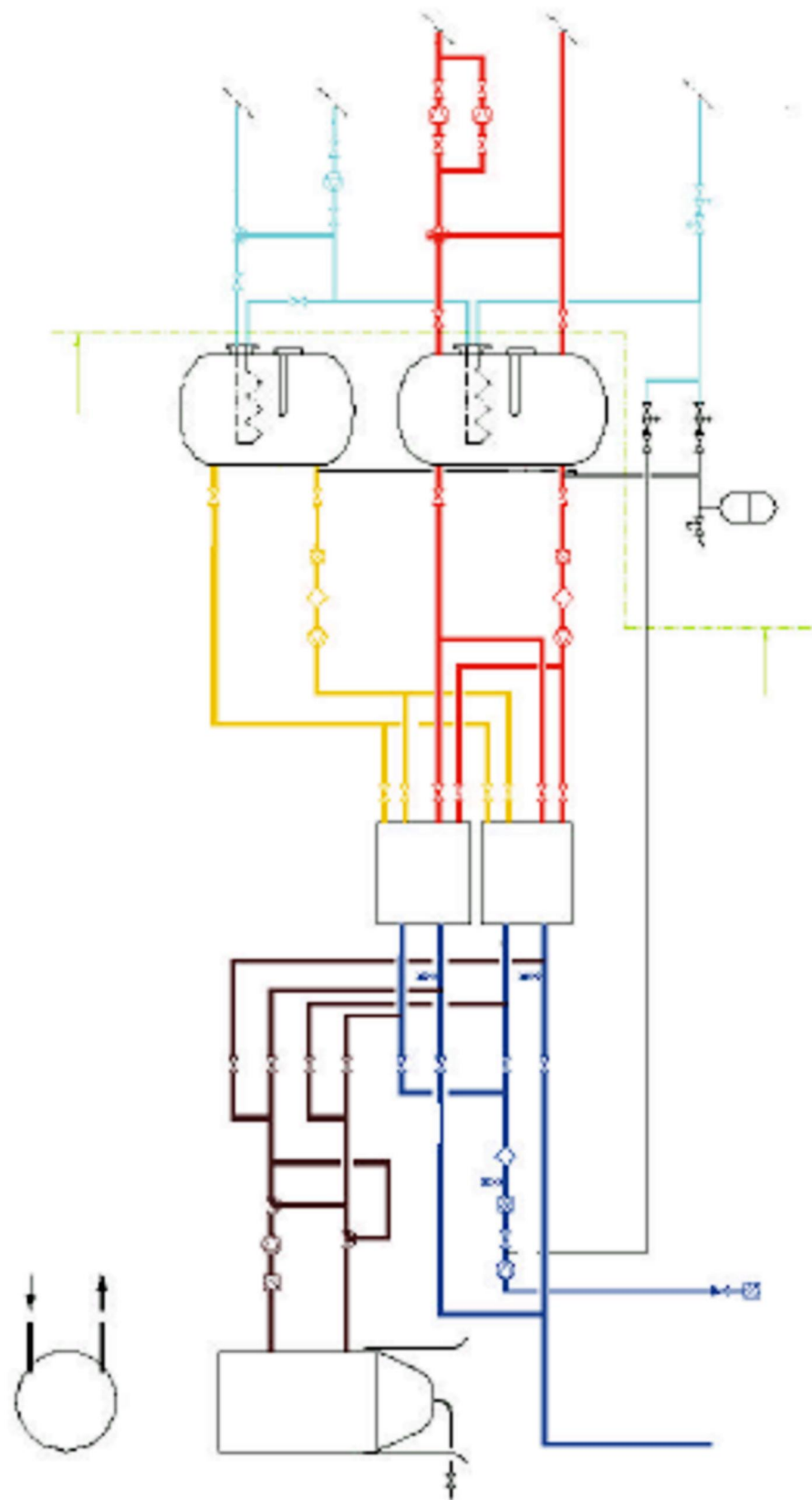
Lämpöpumppujen saneeraaminen lisäselvitysten jälkeen olisi ehdottomasti taloudellisesti ja ympäristöllisesti kannattavaa. Perusteknisin ratkaisuin nykytekniikalla lämmöntalteenoton ajotapamitoitusta ja lämpöpumpun lämpötilatasoja muuttamalla sekä näitä vastaavan lämpöpumpun asentamisella voitaisiin saavuttaa nykyisen 700 kW/a sijaan noin 5300 kW vuosituotto. Kustannustaloudellisten hyötyjen lisäksi laitoksen maine vastuullisena toimijana lisääntyisi.

## LÄHTEET

1. Salminen, Anne. Jäteveden lämmön hyötykäyttö- uusiutuvan energian käyttöä vai energiansäästöä., Vesitalous - 4- 2011, 18-23. 2011.
2. Suomen Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon-tarpeen laskenta. Ohjeet 2012.D5.Helsinki. 2012
3. Seppänen, Olli. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Jyväskylä. Suomen LVI-liitto ry. Solver palvelut Oy. Anjalankoski 2008.
4. Waste water as heat source of heat pump. REHVA Journal 6 October 2012. Ei päivitystietoa. Luettu 19.12.2013.
5. Virtanen, Maria. Lämpöpumppusovellukset kiinteistöjen lämmityksessä. HAMK. 2010. Ei päivitystietoa. Luettu 8.12.2013.
6. Mäkinen, Johanna. Jäteveden lämpöenergian hyödyntäminen Pättin puhdistamolla Vaasassa.8.2.2011 Oulu. Ei päivitystietoa. Luettu 8.12.2013.
7. Ekologista kaukolämpöä ja kaukokylmää turkulaisille. Kakolan lämpöpumppulaitos. Turku Energia. WWW-dokumentti. <http://www.turkuenergia.fi>
8. Peltoranta, Jari, Jätevedestä lämpöenergiaa Orimattilassa. Projektuutiset nro 1/2014, 24-26. 2014.
9. Energiatuki. [www.motiva.fi/Toimialueet/Energiakatselmustoiminta/ TEM:n tuemat energiakatselmuksset/ Katselmus- ja investointituet](http://www.motiva.fi/Toimialueet/Energiakatselmustoiminta/TEM:n_tuemat_energiakatselmuksset/Katselmus-_ja_investointituet). Päivitetty 27.2.2014. Luettu 28.04.2014.
10. Energiatuet. <http://www.tem.fi/energia/energiatuki>. Päivitetty: 17.1.2014 . Luettu 28.04.2014.
11. LVI 11-10332 ohjetiedosto. 2002. Lämpöpumput. Rakennussäädöstö RTS ja LVI-keskusliitto. Päivitetty maaliskuu 2002. Luettu 21.2.2014.
12. Aittomäki, Antero. Jätevesilaitoksen lämpöpumppujärjestelmän toiminta ja mitoitus, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Raportti 152. 2000
13. Hakala, Pertti. Kaappola, Esko. Kylmälaitoksen suunnittelu. Tampere. Opetushallitus, Juveness Print. 2011.
14. Kukkola M 2011. Jätelämmöstä hyötyenergiaa lämpöpumpulle. 08.02.2011 Oulu. Oilon Scancool Oy.
15. Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto ry. Gummerus kirjapaino Oy. 2001.
16. LTO-lämpöpumput teollisuudelle ja energiayhtiöille 2013. Pemco Oy.
17. Alpua Jussi 2014. Sähköpostiviesti 21.4.2014.Tuotepäällikkö.Oilon Scancool Oy
18. Gebwell maalämpöpumput. <http://www.gebwell.fi/fi/tuotteet/maal%C3%A4mp%C3%B6/maal%C3%A4mp%C3%B6pumput/g-maal%C3%A4mp%C3%B6pumput/>  
<http://www.gebwell.fi/fi/tuotteet/maal%C3%A4mp%C3%B6/maal%C3%A4mp%C3%B6pumput/>
19. Suomen lämpöpumpputekniikka Oy.  
<http://www.lampoassa.fi/fi/tuotteet/t-mallisto>. Ei päivitystietoa.Luettu 13.04.2014.
20. Halonen, Jarmo 2014. Sähköpostiviesti 26.4.2014. Myynti-insinööri. Hydropress Huber Ab.
21. Kiteen Vesikunta 2012. Toimintakertomus vuosi 2012.
22. Kiteen vesikunta. 2012 Kiteen jätevedenpuhdistamon ympäristölupahakemus.
23. Kiteen vesikunta, Kiteen jätevedenpuhdistamon käyttötarkkailudata, vuodet 2011-2013
24. Ikonen, Sami. Henkilökohtainen tiedonanto 02.05.2014. Toimitusjohtaja. Kiteen vesikunta
25. Kiteen vesikunta 1998. Lämpökeskuksen työselostus
26. Konsulttitoimisto Enersys Ky, Kiteen Vesikunnan jätevesilaitoksen lämpölaitoksen toimintaselitys. 1998.

27. Leminen, Tomi. Henkilökohtainen tiedonanto 02.05.2014. Puhdistamonhoitaja. Kiiteen vesikunta
28. Nibe maalämpöpumpput. Ei päivitystietoa. Luettu 13.04.2014.<http://www.nibe.fi/Tuotteet/Maalampopumput/Tuotevalikoima/>
29. Jäteveden lämpö talteen Espoossa. Päivitetty 03.12.2013. Luettu 8.12.2013.  
[http://www.motiva.fi/ajankohtaista/motivan\\_tiedotteet/2013/lampopumput\\_muuttavat\\_teollisuuden\\_hukkalammon\\_hyodyksi.6038.n](http://www.motiva.fi/ajankohtaista/motivan_tiedotteet/2013/lampopumput_muuttavat_teollisuuden_hukkalammon_hyodyksi.6038.n)
30. Ramboll Finland Oy / Kiuru & Rautiainen Oy 2011. Suomussalmen kunnan Pitäjän jätevedenpuhdistamo lvia-selostus.

Kiteen lämpöpumpun järjestelmäkaavio



## Lämpöpumppujen teknisiä tietoja

## Oilon CHillHeat Lämpöpumppujen teknisiä tietoja /17/

		P 150	P 220	P 300	P 380
Kompressorit, tyyppi ja lukumäärä		mäntä, 2	mäntä,3	mäntä, 4	mäntä, 5
Kylmäainepiirien lkm		1	1	2	1
Mitat, ilman laitesuojaa ja lisäjalkoja	Korkeus mm	2060	2060	2060	2060
	Leveys mm	1560	2720	2720	3880
	Syvyys mm	890	890	890	890
Kylmäaine		R134a	R134a	R134a	R134a
Lämmitysteho, kW (maalämpö)	EN 14511 0/35 °C	150	226	301	380
COP	EN 14511 0/35 °C	4.2	4.2	4.15	4.1
Lämmitysteho, kW (lämmitysverkosto) 1	18/8 °C, 40/55 °C	189	283	415	472
COP	18/8 °C, 40/55 °C	3.7	3.7	4.0	3.7
Lämmitysteho, kW (lämmitysverkosto, korkea lämpötila) 1	18/8 °C, 55/75 °C	152	229	341	381
COP	18/8 °C, 55/75 °C	2.7	2.7	2.9	2.7
Jäähdytysteho, kW (ilmastointi) 2	12/7 °C, 36/42 °C	146	220	293	365
COPc 2	12/7 °C, 36/42 °C	3.3	3.3	3.3	3.3
Sulakekoko	A, 3/N/PE 400 V 50 Hz	3x200A*	3x315A	3x400A	3x500A
Paino	kg	1600	1800	2600	3100

		P 150	P 220	P 300	P 380
Kompressorit, tyyppi ja lukumäärä		mäntä, 2	mäntä,3	mäntä, 4	mäntä, 5
Kylmäainepiirien lkm		1	1	2	1
Mitat, ilman laitesuojaa ja lisäjalkoja	Korkeus mm	2060	2060	2060	2060
	Leveys mm	1560	2720	2720	3880
	Syvyys mm	890	890	890	890
Kylmäaine		R134a	R134a	R134a	R134a
Lämmitysteho, kW (maalämpö)	EN 14511 0/35 °C	150	226	301	380
COP	EN 14511 0/35 °C	4.2	4.2	4.15	4.1
Lämmitysteho, kW (lämmitysverkosto) 1	18/8 °C, 40/55 °C	189	283	415	472
COP	18/8 °C, 40/55 °C	3.7	3.7	4.0	3.7
Lämmitysteho, kW (lämmitysverkosto, korkea lämpötila) 1	18/8 °C, 55/75 °C	152	229	341	381
COP	18/8 °C, 55/75 °C	2.7	2.7	2.9	2.7
Jäähdytysteho, kW (ilmastointi) 2	12/7 °C, 36/42 °C	146	220	293	365
COPc 2	12/7 °C, 36/42 °C	3.3	3.3	3.3	3.3
Sulakekoko	A, 3/N/PE 400 V 50 Hz	3x200A*	3x315A	3x400A	3x500A
Paino	kg	1600	1800	2600	3100

		S 180	S 280	S 380	S 490	S 540
Kompressorit, tyyppi ja lukumäärä		ruuvi, 1	ruuvi, 1	ruuvi, 1	ruuvi, 1	ruuvi, 1
Kylmäainepiirien lkm		1	1	1	1	1
Mitat, ilman laitesuojaa ja lisäjalkoja	Korkeus mm	2060	2060	2060	2060	2060
	Leveys mm	2720	2720	2720	3880	3880
	Syvyys mm	890	890	890	890	890
Kylmäaine		R134a	R134a	R134a	R134a	R134a
Lämmitysteho, kW (maalämpö)	EN 14511 0/35 °C	180	280	380	493	542
COP	EN 14511 0/35 °C	4.3	4.3	4.4	4.5	4.2
Lämmitysteho, kW (lämmitysverkosto) 1	18/8 °C, 40/55 °C	228	358	480	630	689
COP	18/8 °C, 40/55 °C	3.6	3.7	3.8	3.9	3.7
Lämmitysteho, kW (lämmitysverkosto, korkea lämpötila) 1	18/8 °C, 50/65 °C	213	342	447	590	645
COP	18/8 °C, 50/65 °C	2.8	2.8	2.9	3.0	2.8
Jäähdytysteho kW (ilmastointi) 2	12/7 °C, 36/42 °C	173	270	367	481	518
COPc 2	12/7 °C, 36/42 °C	3.5	4.6	4.6	4.8	4.5
Sulakekoko	A, 3/N/PE 400 V 50 Hz	3x250A	3x355A	3x400A	3x500A	3x630A
Paino	kg	2300	2900	3600	4000	4100

## Lämpöpumppujen teknisiä tietoja

GEBWELL OY:n lämpöpumppujen teknisiä tietoja /18/

Gebwell G moduulit	G50	G85
Lämmitysteho kW (0°/35°C)	50	85
Kompressori	Scroll	
Jännite	3~400 V	3~400 V
Sulakkeet, A	3x40	3x63
Kylmäaine	R410A	R410A
<b>Mitat</b>		
Korkeus, mm	1250*	1250*
Leveys, mm	1400	1400
Syvyys, mm	1000	1000

Gebwell T	T6	T8	T10	T12	T15	T20	T25	T30
LVI numero	5361924	5361925	5361926	5361927	5361928	5361929	5361930	5361942
Lämmitysteho, kW (0°/35°C ja 0°/50°C)	6,8 / 6,4	8,2 / 7,6	10,3 / 9,5	14,7 / 13,7	17,5 / 16,3	22,0 / 20,3	30,4 / 28,2	34,5 / 31,8
Ottoteho, kW (0°/35°C ja 0°/50°C)	1,4 / 1,9	1,7 / 2,3	2,1 / 2,7	2,9 / 3,9	3,5 / 4,6	4,8 / 6,0	6,1 / 8,0	7,3 / 9,7
Tehot ilmoitettu lämpötiloissa 0°/35°C ja 0°/50°C, SFS-EN 14511								
Lämmönkeruuneste	Denaturoitu etanoli 30 p-%							
Lämmönkeruunesteen nimellisvirtaus, l/s	0,3	0,41	0,5	0,6	0,74	0,98	1,23	1,48
Suurin sallittu painehäviö, lämmönkeruupiiriin nimellisvirtauksella, kPa	61	48	90	74	75	81	70	100
Lämmitysveden korkein menolämpötila, °C	60	60	60	60	60	60	60	60
Käyttölämpötila, keruupiiri, °C	-5 ... +10							
Kompressori	Scroll							
Pehmokäynnistin	kyllä							
Sisäänrakennettu lämmityspumppu	kyllä							
Sisäänrakennettu lämmönkeruupumppu	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	kyllä	ei	ei	ei
Sähköliitäntä	400 VAC, 50 Hz, 3-vaihe							
Jännite	3~400 V							
Sulakkeet, A	3x10	3x10	3x16	3x16	3x16	3x20	3x25	3x32
<b>Mitat</b>								
Korkeus, mm*	1200	1200	1200	1200	1200	1100	1100	1100
Leveys, mm	600	600	600	600	600	600	600	600
Syvyys, mm	680	680	680	680	680	840	840	840
Paino, kg	140	149	158	164	169	185	185	189



## TEKNISET TIEDOT



Tyyppi		24	30	40	60
<b>Tehotiedot nimellisvirtauksella EN 255 mukaan</b>					
<small>Nimelliset lämpöpumppujen suorituskykyjen 2-lin. kiertopumppuja</small>					
<b>0/35</b>					
Antoteho	kW	23,2	31,3	40,0	57,8
Jäähdytysteho	kW	18,4	24,6	31,8	45,1
Sähköteho	kW	4,84	6,67	8,17	12,7
COP	-	4,79	4,69	4,89	4,55
<b>0/50</b>					
Antoteho	kW	22,0	30,4	38,7	54,8
Jäähdytysteho	kW	15,6	21,6	28,0	38,4
Sähköteho	kW	6,41	8,80	10,6	16,4
COP	-	3,43	3,46	3,63	3,34
<b>Tehotiedot EN 14511 mukaan</b>					
<b>0/35</b>					
Antoteho (P <sub>11</sub> )	kW	22,5	30,7	40,0	57,7
Sähköteho (P <sub>2</sub> )	kW	5,05	7,00	8,88	14,1
COP <sub>EN14511</sub>	-	4,42	4,36	4,51	4,10
<b>0/45</b>					
Antoteho (P <sub>11</sub> )	kW	21,5	30,1	39,0	55,1
Sähköteho (P <sub>2</sub> )	kW	6,08	8,47	10,6	16,5
COP <sub>EN14511</sub>	-	3,50	3,53	3,68	3,35
<b>10/35</b>					
Antoteho (P <sub>11</sub> )	kW	30,1	40,3	51,8	78,2
Sähköteho (P <sub>2</sub> )	kW	5,39	7,80	9,70	16,1
COP <sub>EN14511</sub>	-	5,54	5,15	5,32	4,84
<b>10/45</b>					
Antoteho (P <sub>11</sub> )	kW	28,7	39,5	50,9	72,7
Sähköteho (P <sub>2</sub> )	kW	6,44	9,25	11,7	18,4
COP <sub>EN14511</sub>	-	4,43	4,24	4,34	3,95
<b>Sähkötiedot</b>					
Nimellisjännite		400V 3NAC 50 Hz			
Maks. käyttövirta, lämpöpumppu <sup>3)</sup>	A <sub>max</sub>	19,4	24,8	30,9	47,1
Maks. käyttövirta, kompressori	A <sub>max</sub>	7,8	10,5	13,9	19,9
Suosittelu varokekoko	A	25	30	35	50
Käynnistysvirta	A <sub>max</sub>	29	34	42	53
Suurin sallittu impedanssi liitäntäpisteessä <sup>1)</sup>	ohmia	-	-	-	0,4
Teho, LK-pumppu <sup>3)</sup>	W	10 - 370	10 - 370	735 - 890	1150 - 1290
Teho, kiertopumppu	W	5 - 174	5 - 174	5 - 174	5 - 174
IP-luokka		IP 21			
<b>Kylmäainepiiri</b>					
Kylmäaineen tyyppi		R407C			R410A
Täytösmäärä	kg	2 x 2,2	2 x 2,3	2 x 2,4	2 x 2,4
Katkaisuarvo, korkeapainepressostaatti	baaria	32			42
Ero, korkeapainepressostaatti	baaria	-7			
Katkaisuarvo, matalapainepressostaatti	baaria	0,8			2
Ero, matalapainepressostaatti	baaria	0,7			
Katkaisuarvo, matalapainepressostaatti (ilman AMB 30)	baaria	1,3			3,5
Katkaisuarvo, matalapainepressostaatti (AMB 30:n kanssa)	baaria	0,8			2
Ero, matalapainepressostaatti	baaria	0,1			

## Lämpöpumppujen teknisiä tietoja

Suomen Lämpöpumpputekniikka Oy, Lämpöässä /19/

	T 10	T 13	T 15	T 21	T 31
Lämminvesivaraaja*	500 - 1000 l	500 - 1000 l	500 - 1000 l	1000 - 1500 l	1500 - 2000 l
Mitat cm (l x s x k)	59 x 64 x 140 cm	59 x 64 x 140 cm	59 x 64 x 140 cm	78 x 78 x 130 cm	78 x 78 x 130 cm
Paino	180 kg	200 kg	220 kg	280 kg	318 kg
Sulake	3 x 16 A	3 x 16 A	3 x 16 A	3 x 25 A	3 x 25 A
Sähköliitäntä	400 V 3N~	400 V 3N~	400 V 3N~	400 V 3N~	400 V 3N~
Lämmitettävä pinta-ala	100-320 m <sup>2</sup>	100-320 m <sup>2</sup>	400-600 m <sup>2</sup>	400-600 m <sup>2</sup>	400-600 m <sup>2</sup>
Sijoitus	tekninen tila	tekninen tila	tekninen tila	tekninen tila	tekninen tila

	T 40	T 60	T 80	T 120
Lämminvesivaraaja*	2000 - 3000 l	2000 - 3000 l	2000-3000 l	3000-4000 l
Mitat cm (l x s x k)	130 x 90 x 180 cm	130 x 90 x 180 cm	130 x 90 x 180 cm	130 x 90 x 180 cm
Paino	543 kg	619 kg	735 kg	1020 kg
Sulake	3 x 50 A	3 x 50 A	3 x 63 A	3 x 125 A
Sähköliitäntä	400 V 3N~	400 V 3N~	400 V 3N~	400V 3N~
Lämmitettävä pinta-ala	400-600 m <sup>2</sup>	400-600 m <sup>2</sup>	400-600 m <sup>2</sup>	yli 1000 m <sup>2</sup>
Sijoitus	tekninen tila	tekninen tila	tekninen tila	tekninen tila

\* Mitoitus määräytyy kohdekohtaisesti

