

Jenna Salakari

# ENERGIAN TALTEENOTON POTENTIAALI JÄTEVEDEN PUHDISTUSPROSESSISSA

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Ympäristötekniikan koulutus

2023



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

|                |   |
|----------------|---|
| Tutkintonimike | Insinööri (AMK)   |
| Tekijä         | Jenna Salakari  |
| Työn nimi      | Energian talteenoton potentiaali jäteveden puhdistusprosessissa |
| Toimeksiantaja | Heinolan kaupunki   |
| Vuosi          | 2023  |
| Sivut          | 45 sivua, liitteitä 11 sivua                                    |
| Työn ohjaajat  | Marjatta Lehesvaara (Xamk), Keijo Houhala (Heinolan kaupunki)   |

## TIIVISTELMÄ

Ilmastonmuutoksen hidastamiseksi sekä paikallisten, kansallisten ja kansainvälisten hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamiseksi uusiutuvan ja hukkaenergian käytön lisääminen on tehokas keino. Yhdyskuntien jätevesissä on paljon energiapotentiaalia, jota pystytään hyödyntämään tuottamalla puhdistamolietteestä biokaasua ja keräämällä jäteveden sisältämä hukkalämpö talteen.

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia keskikokoisten suomalaisten jätevedenpuhdistamoiden energiapotentiaalin hyödyntämistä ja -tapoja, ja tulosten pohjalta tarkastella Heinolan vesihuoltolaitoksen jätevedenpuhdistamon energiapotentiaalia sekä keinoja sen hyödyntämiseen. Tavoitteena oli lisäksi pohdita, voisiko Heinolan kaupunki hyödyntää jäteveden puhdistusprosessin energiapotentiaalia omien energiatehokkuus- ja hiilineutraaliustavoitteidensa edistämiseksi.

Keskikokoisille suomalaisille jätevedenpuhdistamoille toteutettiin kysely käytössä olevista jäteveden puhdistusprosessin energiapotentiaalin hyödyntämiskeinoista. Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamon nykytilanne selvitettiin kirjallisista raporteista, jätevedenpuhdistamon järjestelmädatasta sekä haastatteleamalla vesilaitoksen henkilökuntaa. Biokaasun tuotantopotentiaalin arviointiin hyödynnettiin Luonnonvarakeskuksen ylläpitämää biokaasulaskuria. Hukkalämmön määrää arvioitiin kirjallisuuteen pohjautuvien fysiikan laskelmien avulla.

Yleisimmin keskikokoisilla jätevedenpuhdistamoilla hyödynnetään jäteveden energiapotentiaalia lämmön talteenottojärjestelmillä sekä tuottamalla puhdistamolietteestä biokaasua. Lämmön talteenottojärjestelmien avulla on mahdollista kattaa ainakin osa puhdistamon omasta lämpöenergiatarpeesta. Lopullinen hyöty riippuu laitospohtaisista teknisistä ratkaisuista. Lämmön talteenotto vähentää ulkoisen energian tarvetta, kasvattaa laitoksen energiatehokkuutta sekä pienentää hiilijalanjälkeä. Oma biokaasulaitos ei välttämättä ole keskikokoiselle puhdistamolle kannattava ratkaisu, mutta puhdistamolietteen energiapotentiaali kannattaa hyödyntää biokaasuntuotannossa lähimmällä biokaasulaitoksella. Heinolan jätevedenpuhdistamon energiapotentiaalin arviointi yhdistettynä näihin tuloksiin tuottivat kehittämissuhteita, joiden avulla jätevedenpuhdistamo voidaan kytkeä osaksi kaupungin hiilineutraalius-, energiatehokkuus- ja ilmastotiekartan tavoitteita.

**Asiasanat:** jätevesi, jätevedenpuhdistamo, lämmön talteenotto, biokaasu

|                 |   |
|-----------------|---|
| Degree title    | Bachelor of Engineering                                     |
| Author          | Jenna Salakari  |
| Thesis title    | Energy recovery potential in wastewater treatment process   |
| Commissioned by | City of Heinola   |
| Time            | 2023  |
| Pages           | 45 pages, 11 pages of appendices                            |
| Supervisors     | Marjatta Lehesvaara (Xamk), Keijo Houhala (City of Heinola) |

## ABSTRACT

To slow down climate change and achieve local, national, and international carbon neutrality targets, increasing the use of renewable and waste energy is an effective tool. There is a high energy potential in municipal wastewater which can be used by producing biogas from sewage sludge and by collecting waste heat from wastewater.

The purpose of this thesis was to explore the degree and methods of medium-sized Finnish wastewater treatment plants (WWTP) for using their wastewater energy potential and assess the energy potential of the Heinola WWTP. The aim was also to consider whether the City of Heinola could use the energy potential of the wastewater treatment process to promote its own energy efficiency and carbon neutrality objectives.

A survey was conducted for medium-sized Finnish WWTPs to find out the ways in which they used the energy potential of the wastewater treatment process. The current situation of the municipal WWTP in Heinola was examined from reports, the system data of the WWTP and by interviewing the water plant staff. The production potential of biogas was assessed using the biogas counter maintained by the Natural Resources Institute Finland. The amount of waste heat was estimated using physical calculations based on literature.

The most common ways used in medium-sized WWTPs to benefit from the energy potential of wastewater included heat recovery systems and the production of biogas from sewage sludge. Heat recovery systems often covered at least part of the WWTPs' own heat energy consumption. The definite benefit depends on the technical solutions at the site. Heat recovery reduces external energy demand, increases plant energy efficiency, and reduces carbon footprint. The biogas plant is not necessarily a viable solution for a medium sized WWTP, but the energy potential of sewage sludge should be utilized in biogas production at the nearest biogas plant. The assessment of the energy potential of the Heinola WWTP combined with these results produced development proposals for integrating the WWTP into the objectives of the city's carbon neutrality, energy efficiency and climate road map.

**Keywords:** wastewater, heat recovery, biogas, wastewater treatment plant

## SISÄLLYS

|  |    |
|--|----|
| KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY .....   | 5  |
| 1 JOHDANTO .....   | 6  |
| 2 TYÖN ILMASTOPOLIITTISET LÄHTÖKOHDAT .....                          | 7  |
| 3 JÄTEVEDEN PUHDISTUSPROSESSI .....                                  | 13 |
| 4 LÄMMÖN TALTEENOTTO JÄTEVEDESTÄ .....                               | 15 |
| 5 PUHDISTAMOLIETE JA BIOKAASU .....                                  | 19 |
| 6 AINEISTO JA MENETELMÄT .....                                       | 23 |
| 6.1 Verkkokysely .....   | 24 |
| 6.2 Heinolan kaupungin nykytilannetta kuvaava aineisto .....         | 26 |
| 6.2.1 Lämmön talteenoton potentiaalin selvittäminen .....            | 26 |
| 6.2.2 Biokaasun tuotantopotentiaalin selvittäminen .....             | 27 |
| 7 TULOKSET .....   | 28 |
| 7.1 Energian talteenotto suomalaisilla jätevedenpuhdistamoilla ..... | 28 |
| 7.2 Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamon nykytilanne .....        | 30 |
| 7.2.1 Lämmön talteenoton potentiaali .....                           | 32 |
| 7.2.2 Biokaasun tuotannon potentiaali .....                          | 33 |
| 8 TULOSTEN TARKASTELU .....  | 35 |
| 9 JOHTOPÄÄTÖKSET .....   | 39 |
| LÄHTEET .....  | 41 |
| LIITTEET   |    |
| Liite 1. Kyselylomake  |    |
| Liite 2. Biokaasulaskurin yhteenveto                                 |    |
| Liite 3. Kehittämisehdotukset  |    |

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Bioenergia                   | Biomassoista, kuten puusta, kasveista tai muista biologista alkuperää olevista lähteistä, esimerkiksi biojätteistä tai lanta- ja puhdistamolietteistä saatava energia (Motiva Oy 2023).  |
| Fossiilinen energia          | Fossiilisilla eli maaperään miljoonia vuosia sitten muodostuneilla energianlähteillä tuotettu energia. Fossiilisia polttoaineita ovat esimerkiksi raakaöljystä tuotetut polttoaineet, kivihiili ja maakaasu (Tilastokeskus s.a). |
| Hiilineutraalius             | Kasvihuonekaasupäästöjä tuotetaan korkeintaan sen verran, mitä maapallo pystyy sitomaan hiilidioksidia, jolloin kasvihuonekaasujen kokonaismäärä ilmakehässä ei kasva (Heinolan kaupunki 2022b).                                 |
| Hulevesi                     | Rakennetussa ympäristössä kaduilla, kiinteistöillä ja rakennusten katoilla virtaava sade- ja sulamisvesi (Laitinen ym. 2014, 29)   |
| Ilmastopositiivinen kaupunki | Kaupungin toimilla hiilidioksidia sidotaan ilmakehästä enemmän kuin sitä tuotetaan, eli kasvihuonekaasupäästöjen laskennallinen määrä on negatiivinen (Heinolan kaupunki 2022b).   |
| Talousjätevesi               | Asuntojen tai laitosten jätevesi, joka on peräisin pääasiassa ihmisten aineenvaihdunnasta ja kotitalouksien toimista (Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 888/2006, 2 §).   |
| Uusiutuva energia            | Energiaa, jonka tuottamiseen on käytetty uusiutuvia energianlähteitä. Näitä ovat esimerkiksi tuuli-, vesi- ja aurinkovoima, maaperään ja vesiin sitoutunut lämpö sekä biomassoista peräisin oleva energia (Motiva Oy 2023).      |
| Vuotovesi                    | Jätevesiverkoston ulkopuolelta viemäriin vuotava pinta- tai pohjavesi, ovat pääasiassa sade- ja hulevesiä sekä lumien sulamisvesiä (Laitinen ym. 2014, 29).  |
| Yhdyskuntajätevesi           | Talousjätevesi tai talous- ja teollisuusjäteveden ja/tai huleveden seos (Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 888/2006, 2 §)   |

## 1 JOHDANTO

Toimiva vesihuolto on yksi hyvinvointiyhteiskunnan perusedellytyksistä. Toisaalta kyse on myös yhdestä yhdyskuntatekniikan suurimmista energiankuluttajista. Taistelussa ilmastonmuutosta vastaan julkinen sektori joutuu tarkastelemaan toimintojaan entistä tarkemmalla suurennuslasilla etsiessään energiansäästökohteita, eivätkä vesihuollon prosessit ole tässä poikkeus. Vesihuollon laatu on sekä ihmisten terveyden, että ympäristönsuojelun kannalta ensiarvoisen tärkeää, eikä siinä ole tinkimisen varaa. Tämän vuoksi vesihuollon energiatehokkuutta tulee tarkastella toisenlaisesta näkökulmasta.

Yhdyskuntajätevesi sisältää paljon arvokkaita resursseja, kuten lämpöä, bioenergiaa ja ravinteita. Euroopan Unionin ns. RED II-direktiivissä (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2018/2001, 2. artikla) *uusiutuvaksi energiaksi* on määritelty mm. jätevedenpuhdistamoissa syntyvästä lietteestä tuotettu biokaasu ja *hukkalämmöksi* palvelualan sivutuotteena syntyvä lämpö, joka kaatoaisi käyttämättömänä vesistöön, ellei sitä hyödynnettäisi uudelleen. Näiden resurssien hyödyntäminen edistää kiertotalousajattelua, pienentää jäteveden käsittelyn hiilijalanjälkeä ja voi säästää huomattavan määrän energiakustannuksissa. EU-direktiivin virallisten määritelmien myötä toiminta voidaan sitoa poliittisiin energiansäästö- ja hiilineutraaliustavoitteisiin niin kunnallisella, valtakunnallisella kuin kansainvälisellä tasolla. Omista prosesseista lähtöisin olevien uusiutuvien energianlähteiden käytön lisääntyminen kasvattaa kaupungin energiaomavaraisuutta ja sen myötä myös kaupungin huoltovarmuutta.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Heinolan kaupunki, joka on noin 18 000 asukkaan seutukaupunki Päijät-Hämeessä. Sekä kaupungissa että koko maakunnassa on asetettu päästövähennystavoitteita ja ryhdytty erilaisiin toimiin ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Heinolan vuonna 2022 päivitettyyn strategiaan on kirjattu tavoitteeksi ”Ilmastoposiitivinen Heinola 2030”. Tämän opinnäytetyön tuloksilla on tarkoitus tukea näitä tavoitteita selvittämällä, millaisin keinoin ja millaisia määriä energiaa yhdyskuntajätevedenpuhdistusprosesista voitaisiin saada hyötykäyttöön Heinolan kokoisessa kaupungissa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Heinolan kokoluokkaa vastaavien kunnallisten yhdyskuntajätevedenpuhdistamoiden prosesseissa olevan energiapotentiaalin hyödyntämistä ja -tapoja. Kerätyn tiedon pohjalta tavoitteena oli löytää Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamon prosessissa piileviä uusiutuvan ja hukkaenergian lähteitä sekä selvittää energian määrä. Tavoitteena oli pohtia myös, miten Heinolassa voitaisiin hyödyntää jäteveden puhdistusprosessissa syntyvää energiaa, ja voisiko kaupunki kyseisillä toimilla edistää omia energiatehokkuus- ja hiilineutraaliustavoitteitaan.

## **2 TYÖN ILMASTOPOLIITTISET LÄHTÖKOHDAT**

Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan olosuhteiden muutosta maapallolla, joka aiheutuu ilmakehässä olevien kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin, metaanin, typen ja vesihöyryn määrän lisääntymisestä. Maailman luonnonsäätiön (World Wide Fund of Nature, WWF) mukaan valtaosa kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuu ihmisen toiminnasta, kuten fossiilisten polttoaineiden käytöstä energiantuotannon, teollisuuden ja liikenteen tarpeisiin, sekä hiilidioksidia ilmakehästä sitovien metsien hakkuisiin ruoantuotannon tieltä. Ilmastonmuutos aiheuttaa maapallon keskilämpötilan kiihtyvää kohoamista, joka johtaa jäätiköiden sulamiseen, merenpinnan nousuun ja tulviin, sään ääri-ilmiöihin, kuivuuteen ja lopulta lajien tuhoutumiseen ja luonnon monimuotoisuuden köyhtymiseen. Ongelma on globaali, joten sen ratkaisemiseksi tarvitaan maailmanlaajuisia yhteistyötä. (Maailman luonnonsäätiö s.a.)

### **Kansainväliset tavoitteet**

Yhdistyneet kansakunnat (YK) on vuonna 2015 julkaissut 15-vuotisen kestävän kehityksen toimintaohjelman, joka tunnetaan nimellä Agenda 2030. Agenda 2030 sisältää 17 globaalin kestävän kehityksen edistämiseen tähtävästä tavoitteesta (kuva 1) ja 169 näiden alle sijoittuvaa alatavoitetta, joiden saavuttamiseksi vuoteen 2030 mennessä ovat 193 YK:n jäsenmaata sitoutuneet ryhtymään toimenpiteisiin.



Kuva 1. YK:n Agenda 2030-toimintaohjelman tavoitteet (Yhdistyneet kansakunnat 2015)

Yksi toimenpideohjelman keskeinen päämäärä on maapallon suojeleminen hillitsemällä ilmastonmuutosta ja kuluttamalla luonnonvaroja kestävästi. Tähän päämäärään pyrkimiseksi toimenpideohjelman alatavoitteisiin on kirjattu mm. toimiva vesivarojen hallinta, puhtaan veden saannin sekä sanitaation turvaaminen (tavoite 6), uusiutuvan energian osuuden merkittävä lisääminen ja energiatehokkuuden parantaminen (tavoite 7), luonnonvarojen kestävä ja tehokkaan käytön varmistaminen (tavoite 12) sekä ilmastonmuutosta koskevien toimenpiteiden integrointi kansalliseen politiikkaan (tavoite 13). (Yhdistyneet kansakunnat 2015.)

Vuonna 2019 Euroopan komissio julkaisi Euroopan Unionia koskevan Euroopan vihreän kehityksen ohjelman, jonka tarkoituksena on panna täytäntöön YK:n Agenda 2030-ohjelman tavoitteet EU:n alueella. Tämän lisäksi ohjelma tähtää koko Euroopan hiilineutraaliuteen vuoteen 2050 mennessä. Ohjelmassa keskeisessä roolissa ovat uusiutuvan energian osuuden kasvattaminen, fossiilisesta energiasta luopuminen sekä energiatehokkuuden lisääminen. Ohjelma huomioi myös vihreään siirtymään vaadittavat investointikustannukset, ja on osoittanut erilaisia investointitukia ja rahoitusohjelmia ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja hiilineutraaliuteen tähtäävien toimien taloudelliseen tukemiseen alueellaan. Euroopan vihreän kehityksen ohjelman on tarkoitus toimia EU:n jäsenvaltioiden politiikkaa ja strategioita ohjaavana ohjelmalla. (Euroopan komissio 2019.)



EU:n vihreän kehityksen ohjelman taustalla vaikuttaa Agenda 2030:n lisäksi mm. kansainvälinen Pariisin ilmastopöytäkirja, joka on vuoden 2015 Pariisin ilmastokokouksessa solmittu oikeudellisesti sitova sopimus. Pariisin sopimuksen allekirjoittaneet maat, mukaan lukien kaikki EU:n jäsenmaat, ovat sitoutuneet ilmastotoimiin, joiden tavoitteena on rajata maapallon keskilämpötilan nousu selvästi alle 2 °C:een, tavoitellen 1,5 °C:ta verrattuna esiteolliseen aikaan. Keskeisenä tekijänä tavoitteeseen pääsemiseksi on kasvihuonekaasupäästöjen mahdollisimman voimakas vähentäminen. Pariisin ilmastopöytäkirja nojaa YK:n ilmastopöytäkirjaan, joka on solmittu liki 200 maan kesken vuonna 1992. (Ympäristöministeriö s.a.)

### **Kansalliset tavoitteet**

Suomen ilmastopolitiikka pohjautuu ilmastolakiin. Ilmastolain tarkoituksena on ohjata Suomen toimia kansallisella tasolla siten, että edellä mainitut Suomea sitovat kansainvälisten sopimusten sekä EU-lainsäädännön velvoitteet täyttyvät (Ilmastolaki 22.5.2015/609, 1 §). Ilmastolaissa on myös asetettu tavoitteeksi Suomen kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen vähintään 80 % vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoteen 1990 (Ilmastolaki 6 §). Ilmastolakiin pohjautuvat tärkeimmät kansalliset poliittiset suunnitelmat ovat kymmenen vuoden välein päivitettävä Pitkän aikavälin ilmastosuunnitelma, vaalikausittain päivitettävä Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelma sekä hallituskohtainen Ilmasto- ja energiastrategia.

Suomen Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma KAISU on päivitetty viimeksi vuonna 2022. Siinä Suomen taakanjakosektorin kasvihuonekaasujen päästövähennystavoitteeksi on asetettu 50 % vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoteen 2005. KAISU:n rinnalla pääministeri Sanna Marinin hallituksen vuonna 2022 julkaiseman ilmasto- ja energiastrategian tavoitteena on hiilineutraali Suomi vuonna 2035. KAISU sisältää toimenpideohjelman, jonka keinoin päästövähennystavoitteet on tarkoitus saavuttaa. Toimenpideohjelmassa on mainittu jätevesilietteestä valmistettavan uusiutuvan energian eli biokaasun tuotannon lisääminen sekä jäteveden sisältämän lämpöenergian hyödyntäminen. (Ympäristöministeriö 2022.)

## Heinolan kaupunki

Heinolan kaupunki on asettanut strategiseksi tavoitteekseen olla ilmastopositiivinen vuonna 2030. Tavoitteen tueksi kaupunki on suunnitellut oman ilmastotiekartan (Heinolan kaupunki 2022b), joka pohjautuu kaupungin vuonna 2021 päivitettyyn strategiaan (Heinolan kaupunki 2022a). Ilmastotiekarttaan on koottu keskeiset teemat (kuva 2), joiden alle suunnitelluilla käytännönläheisillä toimenpiteillä edistetään ilmastotavoitteiden toteutumista. Tähän työhön keskeisesti linkittyviä ilmastotiekarttaan kirjattuja toimenpiteitä ovat esimerkiksi hukkalämmön hyödyntäminen, uusiutuvan energian käytön edistäminen, energiatehokkuuden parantaminen sekä pienten biovoimaloiden mahdollisuuksien kartoittaminen.

### Tiekartan viitekehys ja keskeiset teemat



Kuva 2. Heinolan ilmastotiekartan viitekehys (Heinolan kaupunki 2022b)

Heinolan kaupunki on lähtenyt aktiivisesti mukaan erilaisiin hankkeisiin ja ohjelmiin, jotka tukevat kaupungin ilmastotavoitteiden saavuttamista. Vuonna 2019 Heinola liittyi Hiilineutraalit kunnat (HINKU) -verkostoon, jonka jäsenkunnat ovat sitoutuneet huomioimaan kasvihuonepäästönäkökulman päätöksenteossa. HINKU-verkostoon kuuluvien kuntien tavoitteena on 80 % päästövähennys vuoden 2007 tasosta vuoteen 2030 mennessä. HINKU-verkosto on syntynyt Suomen ympäristökeskuksen Kohti hiilineutraalia kuntaa-hankkeessa, ja vuonna 2022 siihen kuului jo 92 kuntaa. Vuosina 2007–2020 HINKU-verkostoon kuuluvien kuntien ilmastopäästöt vähenivät keskimäärin 36 %, mikä on 2 % enemmän kuin koko Suomen keskiarvo. (Suomen Ympäristökeskus 2019.)

Kunta-alan energiatehokkuussopimus (KETS) on Työ- ja elinkeinoministeriön, Kuntaliiton ja Energiaviraston yhteinen sopimus energiatehokkuuden lisäämiseksi kuntien toiminnassa. Liittyessään liittyjä voi itse määritellä omat energiansäästötavoitteensa sopimuskaudelle. Nykyinen sopimuskausi on vuodet 2017–2025, ja Heinolan kaupunki on liittynyt sopimukseen joulukuussa 2018. Heinolan asettama tavoite on 7,5 % vähennys energiankulutukseen sopimuskauden aikana, mikä vuoden 2017 energiankulutuksen perusteella laskettuna tarkoittaa 1973 MWh:n säästöä. KETS sisältää veloitteen laatia kunnalle toimintasuunnitelma energiansäästötoimien toteuttamiseksi. Heinolan toimintasuunnitelmaan on yhtenä toimenpidekokonaisuutena kirjattu uusiutuvan energian käytön ja tuotannon lisääminen. (Heinolan kaupunki 2019.)

Kunnan oman ilmastotiekartan ja kuntakohtaisten sopimusten lisäksi Heinola on osa Päijät-Hämeen liiton vuonna 2021 julkaisemaa koko Päijät-Hämeen maakunnan kattavaa ilmastotiekarttaa. Päijät-Häme on asettanut tavoitteeseen olla hiilineutraali maakunta vuonna 2030. Se on myös saavuttanut HINKU-maakunnan statuksen, johon vaaditaan, että maakunnan asukasmäärästä vähintään 80 % asuu HINKU-verkoston kuuluvassa kunnassa. Myös maakunnan ilmastotiekarttaan on listattu yhdeksi toimenpiteeksi selvitykset biokaasun sekä hukkalämmön hyödyntämisestä ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. (Päijät-Hämeen liitto 2021.)

Taulukko 1. Ilmastotavoitteiden luokittelu

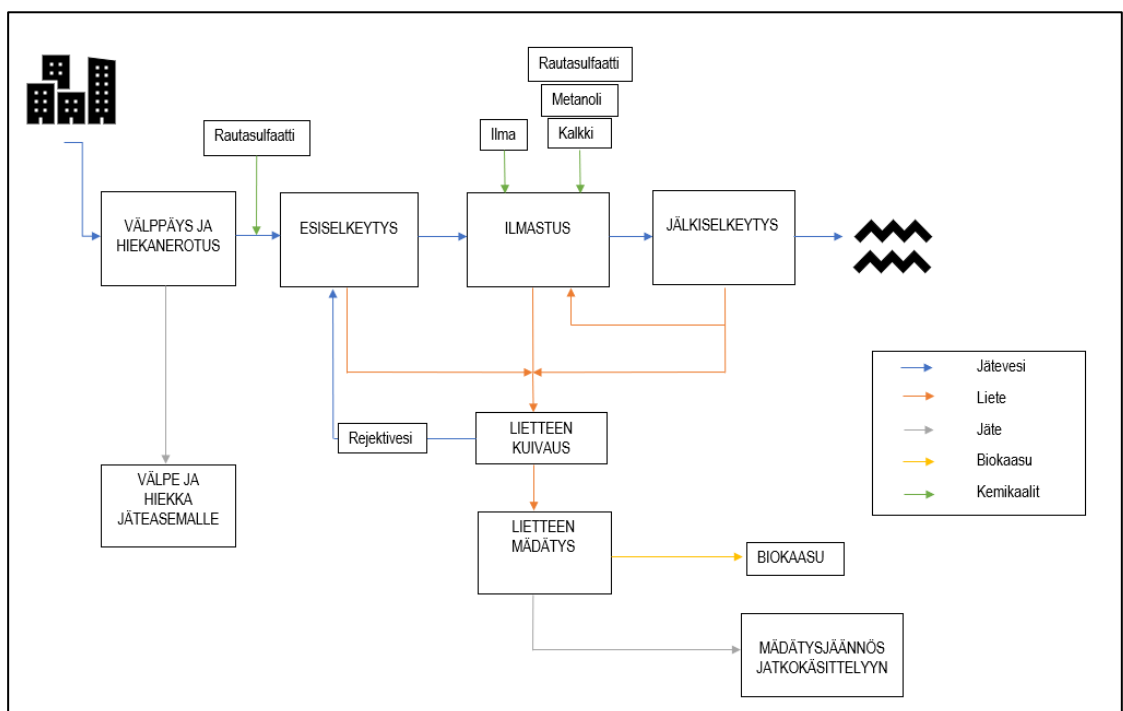
| Ohjelma   | Päätavoite   | Tavoitevuosi |
|---|--|--------------|
| <b>Kansainväliset tavoitteet</b>                        |  |              |
| YK:n Agenda 2030  | 17 kestävä kehityksen päätavoitetta  | 2030         |
| Pariisin ilmasto-sopimus                                | Maapallon lämpenemisen pysäyttäminen 1,5 asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna | jatkuva      |
| EU:n vihreän kehityksen ohjelma                         | Hiilineutraali Euroopan Unioni   | 2050         |
| <b>Kansalliset tavoitteet</b>                           |  |              |
| Ilmastolaki (609/2015)                                  | Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöjen vähentyminen 80 % vuoteen 1990 verrattuna     | 2050         |
| Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelma KAISU          | Suomen taakanjakosektorin päästövähennys 50 % verrattuna vuoteen 2005              | 2030         |
| Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ilmastostrategia | Hiilineutraali Suomi   | 2035         |
| <b>Alueelliset ja paikalliset tavoitteet</b>            |  |              |
| Päijät-Hämeen ilmastotiekartta                          | Hiilineutraali maakunta  | 2030         |
| Heinolan kaupungin strategia                            | Ilmastoposiitivinen Heinola  | 2030         |
| Hiilineutraalit kunnat HINKU-verkosto                   | 80 % päästövähennys vuoden 2007 tasosta  | 2030         |
| Kuntien energiatehokkuussopimus KETS                    | 7,5 % (1973 MWh) vähennys vuotuisen energiankulutukseen sopimuskaudella 2017–2025  | 2025         |

Taulukossa 1 on koottuna tärkeimmät Heinolan kaupungin toiminnan suunnittelun taustalla vaikuttavat ilmastotavoitteet. Tästä yhteenvedosta voidaan nähdä, kuinka maailmanlaajuiset tavoitteet jalkautuvat kansallisiksi, alueelliseksi ja lopulta kunnallisiksi toimenpiteiksi, ja toisaalta kuinka yksittäiset toimet kunnassa ovat osa globaalia yhteistyötä ilmaston lämpenemistä vastaan. Pienistä puroista syntyvät suuret virrat, ja näin myös tämän opinnäytetyön tavoitteet ovat keskeisesti sidoksissa niin paikallisiin, valtakunnallisiin kuin kansainvälisiinkin ilmastotavoitteisiin.

### 3 JÄTEVEDEN PUHDISTUSPROSESSI

Taajamissa ja asutuskeskuksissa yhdyskuntien jätevesien poisjohtaminen ja käsittely ympäristölle vaarattomaksi on vesihuoltolain nojalla kunnan tehtävä (Vesihuoltolaki 9.2.2011/119, 6 §). Jäteveden puhdistus on ympäristöluvanvaraista toimintaa, ja käsittelyn laadusta ja tarkkailusta säädetään Valtioneuvoston asetuksessa. Jätevedestä tulee ennen sen vesistöön johtamista poistaa orgaaninen kiintoainne, mikrobit, fosfori ja typpi vähintään em. asetuksen vähimmäisvaatimusten mukaisesti. Asetus kieltää myös jätevesilietteen päästämisen vesistöihin. Kuntien jätevedenpuhdistamoilla käsitellään yhdyskuntajätevesiä, jotka em. asetuksen määritelmän mukaisesti tarkoittavat talousjättevettä tai talous- ja teollisuusjäteveden sekä huleveden seosta. (Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesissä 888/2006.)

Jäteveden puhdistusprosesseissa on jonkin verran laitospkohtaisia eroja, mutta pääprosessi etenee tyypillisesti saman kaavan mukaisesti. Ympäristöministeriön julkaisemassa parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) raportissa (Laitinen ym. 2014) on kuvattu suomalaisten yhdyskuntajätevedenpuhdistamoiden puhdistusprosessin vaiheita. Kuvassa 3 on esitetty yksinkertaistettu jätevedenpuhdistamon puhdistusprosessi, jonka pohjana on käytetty Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamon prosessia.



Kuva 3. Jäteveden puhdistusprosessi

Puhdistamolle saapuvan jäteveden esikäsittely koostuu välppäyksestä ja hiekanerotuksesta. Esikäsittelyn tarkoituksena on poistaa jätevedestä sellaiset partikkelit, jotka voivat aiheuttaa haittaa prosessin myöhemmissä vaiheissa. Välppäyksessä jätevedestä poistetaan mekaanisesti karkea kiintoaines, kuten ruoantähteet, muovi sekä muut viemäriin kuulumattomat kappaleet, ja hiekanerotusaltaassa jäteveden sisältämä hiekka laskeutetaan altaan pohjalle.

Esiselkeytysaltaassa osa jätevedessä olevasta biologisesta kiintoaineksesta vajoaa altaan pohjalle lietekerrokseksi, mistä se kerätään pois. Esiselkeytyksessä, tai jo ennen sitä, jäteveteen lisätään rautasulfaattia, joka saostaa jätevedessä olevan fosforin. Myös saostunut fosfori vajoaa esiselkeytysaltaan pohjalle ja poistetaan jätevedestä lietteen joukossa.

Ilmastusaltaassa toimii biologinen puhdistusprosessi, jota kutsutaan myös aktiivilieteprosessiksi. Siinä mikrobit hajottavat orgaanista ainesta ja poistavat aineenvaihduntansa avulla jätevedestä typpeä. Ilmastusaltaan mikrobit ovat aerobisia eli tarvitsevat happea, minkä vuoksi ilmastusaltaan pohjalta veteen syötetään ilmaa. Aktiivilieteprosessi tarvitsee toimiakseen myös riittävät lämpötilaolosuhteet. Kun veden lämpötila laskee alle +12 °C, typen poistuminen heikkenee merkittävästi. Mikrobitoiminnan luonnollisena osana ilmastusaltaassa syntyy biomassaa, jota poistetaan lietteenä prosessista. Toisaalta mikrobitoiminnan ylläpitämiseksi ilmastusaltaaseen palautetaan jälkiselkeytyksessä kerättyä lietettä. Ilmastusaltaaseen voidaan myös lisätä kemikaaleja, kuten rautasulfaattia ja kalkkia tehostamaan fosforin saostumista, sekä jotakin hiililähdettä, esimerkiksi metanolia, tehostamaan mikrobiston toimintaa.

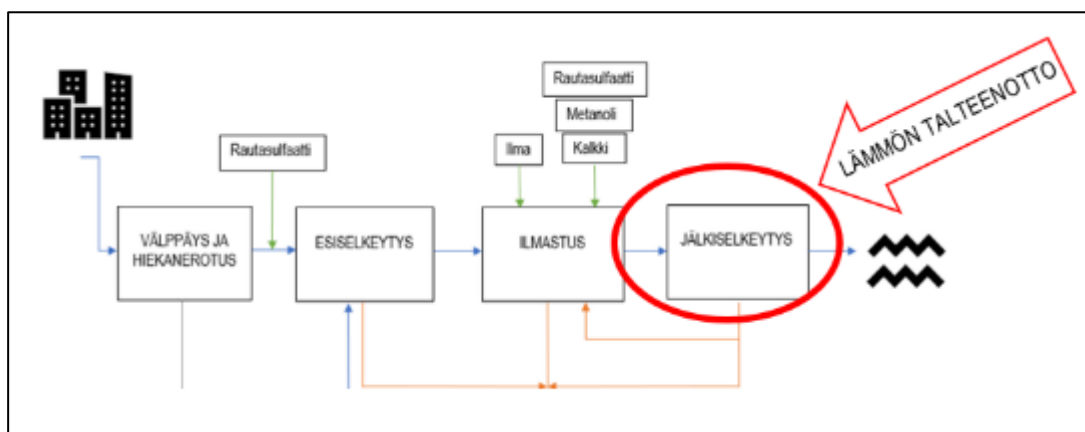
Jälkiselkeytyks tapahtuu vastaavantyyppisessä laskeutusaltaassa kuin esiselkeytyksin. Jälkiselkeytyksessä vedessä jäljellä olevat hiukkaset, kuten loppu kiintoaines, ilmastusaltaasta eteenpäin kulkeutunut mikrobimassa sekä saostunut fosfori laskeutuvat altaan pohjalle, mistä ne johdetaan paluulietteenä takaisin ilmastusaltaaseen tai sekalietteenä lietteenkeräysjärjestelmään. Jälkiselkeytyksen jälkeen vesi on yleensä riittävän puhdasta johdettavaksi takaisin vesistöön. Veden jälkikäsittelyyn on olemassa erilaisia menetelmiä, joiden käyttö ei ole välttämätöntä, mutta niillä pyritään parantamaan puhdistustulosta. Esimerkiksi biologisilla tai hiekkasuodattimilla voidaan tehostaa typen- ja

fosforinpoistoa, ja patogeenien eli taudinaiheuttajien määrää vedessä voidaan vähentää esimerkiksi UV-valaisulla ennen vesistöön johtamista.

#### 4 LÄMMÖN TALTEENOTTO JÄTEVEDESTÄ

Jätevesi sisältää lämpöenergiaa, joka on peräisin viemäriin johdettujen talous- ja teollisuusvesien lämmittämisestä. Jätevedenpuhdistamolle saapuvan jäteveden lämpötilaan vaikuttaa voimakkaimmin viemäreitä ympäröivän maaperän lämpötila sekä veden koostumus, eli teollisuus- ja hulevesien osuus kokonaisvesimäärässä. Suomessa jätevedet ovat tyypillisesti melko viileitä, puhdistusprosessin jälkeen noin 8–20 °C vuodenajasta riippuen. Jäteveden puhdistuksen aktiivilieteprosessissa tarvitaan lämpöä tehokkaaseen typenpoistoon, ja pientenkin lämpötilan muutosten merkitys prosessin toiminnalle korostuu erityisesti talvella, sekä keväällä lumien sulaessa ja vuotovesien määrän lisääntyessä. (Gaia Consulting 2022, Nagpal ym. 2021.)

Aktiivilieteprosessin toiminnan ja erityisesti typenpoiston tehokkuuden turvaamisen vuoksi on järkevää kerätä lämpöenergia talteen vasta ilmastusaltaan jälkeen (kuva 4). Myös veden korkea kiintoainepitoisuus voi aiheuttaa haittaa lämmön talteenottolaitteistolle, joten laitteisto on järkevää asentaa mahdollisimman puhtaaseen veteen puhdistusprosessin loppupäähän.



Kuva 4. Lämmön talteenoton sijoittuminen jäteveden puhdistusprosessiin

Jätevedenpuhdistamolla talteen otetun lämmön hyödyntämiseen on useita vaihtoehtoja. Motivan selvityksen mukaan tyypillisiä lämpöenergian käyttökoh- teita vesihuoltolaitoksilla ovat kiinteistöjen lämmitys, käyttöveden lämmitys

henkilökunnan käyttöön sekä prosessin eri vaiheet, esimerkiksi lietteen kuivaus tai mädätys. Talteen otettua lämpöenergiaa on mahdollista myydä myös kaukolämpöverkkoon. Tämä on yleistä etenkin suuremmilla puhdistamoilla, joilla jätevesivirtaama ja sen myötä lämpöenergian tuotanto on suurta. Pienemmällä puhdistamoilla talteen otetulla lämmöllä voidaan kattaa osa laitoksen omasta lämpöenergiatarpeesta ja näin pienentää ostoenergian tarvetta. Tämä pienentää samalla myös laitoksen hiilijalanjälkeä. (Motiva Oy 2018.)

Joidenkin Suomen suurimpien joukossa olevien, yli 5 miljoonaa kuutiota jätevettä vuodessa käsittelevien puhdistamoiden ilmoittamia lämmön talteenotto-ratkaisuja on koottu taulukkoon 2 (Lahti Aqua 2022, Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2021, Turun seudun puhdistamo Oy s.a., Vaasan sähkö Oy 2022, Joensuun Vesi Oy s.a., Oulun Vesi s.a.).

Taulukko 2. Suurten puhdistamoiden lämmön talteenottojärjestelmiä

| Puhdistamo                            | Jätevesivirtaama (milj. m <sup>3</sup> /a) | Ilmoitettu lämmön talteenottomäärä (GWh/a) | Lämmön käyttötarkoitus       | Lämpötilan muutos |
|---------------------------------------|--|--|------------------------------|-------------------|
| Viikinmäen puhdistamo, Helsinki       | 110  | 7,1 GWh                                    | Laitoksen omiin prosesseihin |                   |
| Suomenojan puhdistamo, Espoo          | 42   | 1,51 GWh                                   | Laitoksen omiin prosesseihin | noin 5 astetta    |
| Kakolanmäen puhdistamo, Turku         | 30,5                                       | Pumppujen teho 42 MW lämpöä, 29 MW kylmää  | Kaukolämpö                   | 5–10 astetta      |
| Taskilan puhdistamo, Oulu             | 17,1                                       | 787 MWh                                    | Laitoksen omiin prosesseihin |                   |
| Ali-Juhakkalan puhdistamo, Lahti Aqua | 5,4  | 16,9 GWh (arvio)                           | Kaukolämpö                   | noin 7 astetta    |
| Mussalon puhdistamo, Kotka            | 11   | 1,1 GWh                                    | Laitoksen omiin prosesseihin |                   |
| Kuhasalon puhdistamo, Joensuu         | 7,4  | Pumppujen teho 800kW                       | Laitoksen omiin prosesseihin | noin 4 astetta    |
| Pättin puhdistamo, Vaasa              | 7  | 50–60 GWh (arvio)                          | Kaukolämpö                   |                   |

Taulukosta voidaan nähdä, että lämmön talteenottoon jätevedestä ei ole olemassa lineaarista laitoksen kokoon kytkettyä kaavaa, vaan talteen kerätyn



lämpöenergian määrä riippuu laitoskohtaisista teknisistä ratkaisuista. Hukkalämmön käyttötavat vaihtelevat myös laitoskohtaisesti, mutta pääasiassa pienemmät energiamäärät hyödynnetään laitoksen oman lämmöntarpeen kattamiseen, ja suuremmat määrät johdetaan kaukolämpöverkostoihin.

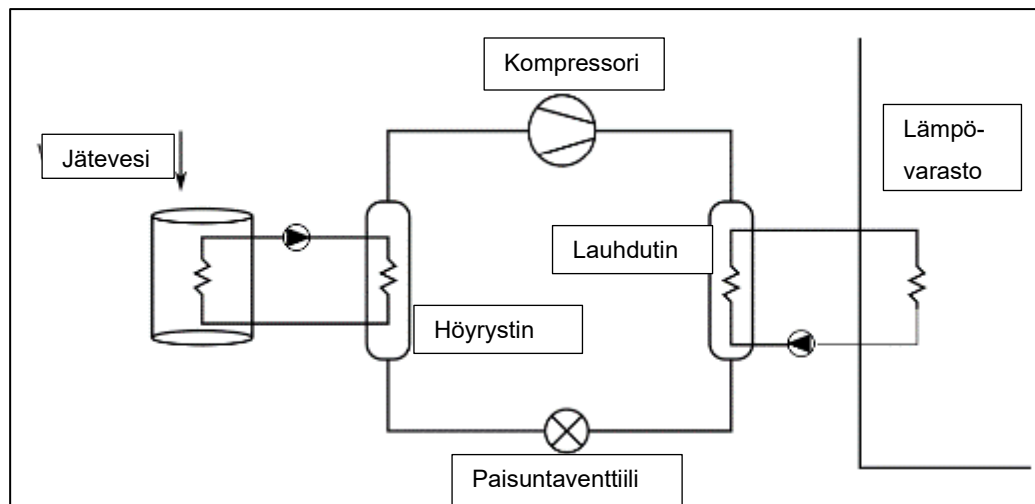
Myös muualla Euroopassa on jäteveden lämmön talteenottomahdollisuuksia tutkittu jo pitkään, ja lämmön talteenottojärjestelmät jätevedenpuhdistamoilla lisääntyvät vuosi vuodelta. Jo vuonna 2014 tehdyn selvityksen mukaan Euroopassa on ollut useita satoja hukkalämpöpumppuja jätevedenpuhdistamoilla. Hukkalämmön talteenoton kehityksen kärjessä ovat olleet Sveitsi, Saksa sekä Skandinavian maat. Lämpöpumppujen lämpötehot selvityksessä vaihtelivat 10 kW:n ja 20 000 kW:n välillä, ja COP-arvot välillä 2–10. COP-arvolla tarkoitetaan lämpöpumpun lämpökerrointa. COP-arvoa käsitellään tarkemmin jäljempänä tässä luvussa. (Hepbasli ym. 2014.)

Joka vuosi ilmestyy lukuisia uusia tieteellisiä julkaisuja lämmön talteenottomahdollisuuksien selvityksistä erilaisilla jätevedenpuhdistamoilla ympäri maailmaa. Hyödynnettävän hukkalämmön määrään vaikuttavat jätevesivirtaaman lisäksi hyvin paljon ilmasto-olosuhteet ja jäteveden lämpötila sekä hukkalämmön hyödyntämistapa, jonka vuoksi jokaiselta jätevedenpuhdistamolta saadaan yksilölliset arviot hyödynnettävän lämmön määrästä. Esimerkiksi pieneltä puhdistamolta Proszkow'n kaupungissa Puolassa olisi mahdollista saada hukkalämpötehoksi 165—380 kW ja COP-arvoksi noin 5,5, kun jäteveden lämpötilaa voidaan laskea 4 °C (Pochwala ym. 2018). Verrokkina on julkaisu Rijekan kaupungista Kroatiaista, jossa ilmasto on lämpimämpi ja jätevedenpuhdistamon virtaama suurempi, hukkalämpöteho on noin 75 MW ja COP-arvo noin 2,9—4,7, kun jätevesi on lämpimämpää ja sen lämpötilaa voidaan lämmön talteenotolla laskea 6 °C (Durdevic ym. 2018).

Koska jäteveden lämpötila on suhteellisen matala, on talteen otetun lämpöenergian lämpötilaa nostettava ennen sen hyödyntämistä. Tämä voidaan tehdä lämpöpumpun avulla. Lämpöpumpun toiminta perustuu lämmönsiirtoaineeseen, jonka lämpötilaa muutetaan nostamalla aineen painetta mekaanisella työllä (ulkopuolisella energialla). Lämmönsiirtoaineen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat alhainen jäätymispiste, hyvä lämmönjohtokyky ja ympäristöystävällisyys. Lämpöpumpputeknologialla pystytään keräämään lämpöenergiaa

hyvin matalistakin lämpötiloista, esimerkkeinä maalämpöpumpun keräämä lämpö jäisestä maaperästä ja ilmalämpöpumpun keräämä lämpö pakkasilmastasta.

Kuvassa 5 on esitetty lämpöpumpun toimintaperiaate. Lämmönlähteestä, tässä tapauksessa jätevedestä, lämpö siirtyy lämmönkeräysputkia pitkin höyrystimelle, ja sieltä kaasuna olevaan lämmönsiirtoaineeseen. Ulkoisella energialla, usein ostosähköllä, toimiva kompressori puristaa lämmönsiirtoainetta nostaan sen painetta, jolloin aineen lämpötila nousee. Lämmennyt lämmönsiirtoaine kulkee lauhduttimelle, jossa se luovuttaa lämpöenergian vastaanotettavaan lämpövarastoon. Lämmönsiirtoaineen viiletessä lauhduttimessa se myös lauhtuu eli muuttuu kaasusta nesteeksi, jolloin myös faasimuutoksesta vapautuva lämpöenergia luovutetaan lämpövarastoon. Nestemäinen lämmönsiirtoaine kulkee paisuntaventtiiliin, jossa sen paine lasketaan takaisin höyrystinpuolella vallitsevaan matalampaan paineeseen. Paineolosuhteiden muutoksen vaikutuksesta lämmönsiirtoneste kiehuu ja muuttuu takaisin höyryksi. (Härkönen 2022.)



Kuva 5. Lämpöpumpun toimintaperiaate (muokattu Nagpal ym. 2018, 7)

Lämmönsiirtoaineen fysikaalisiin ominaisuuksiin perustuva lämpöpumpputeknikka kykenee tuottamaan lämpöä enemmän kuin mitä se tarvitsee ulkoista energiaa. Puhutaan lämpöpumpun lämpökertoimesta (COP, Coefficient of Performance). Lämpökerroin on lauhduttimessa vapautuvan lämpöenergian ja kompressorin tarvitseman ulkopuolisen energian välinen suhde, joka voidaan laskea kaavalla 1. Jos lämpöpumpun COP on 3, pumppu pystyy tuottamaan

3 kWh lämpöenergiaa käyttämällä 1 kWh ostoenergiaa. Mitä suurempi on lämmönlähteen ja halutun lauhtumislämpötilan välinen lämpötilaero, sitä pienempi on COP. (Härkönen 2022.)

$$COP = \frac{\Phi_{lauh}}{P_{komp}} \quad (1)$$

|       |               |                           |       |
|-------|---------------|---------------------------|-------|
| jossa | COP           | lämpökerroin              |       |
|       | $\Phi_{lauh}$ | lauhduttimen lämmitysteho | [kW]  |
|       | $P_{komp}$    | kompressorin vaatima teho | [kW]. |

Höyrystimen teho on sama kuin se lämpöenergian määrä, joka lämmönlähteestä kerätään talteen ja siirretään höyrystimessä lämmönsiirtoaineeseen. Lauhduttimen teho, eli lämpöpumpun kokonaislämmitysteho muodostuu höyrystimen tehon sekä kompressorin tehon summasta kaavan 2 mukaisesti. (Härkönen 2022.)

$$\Phi_{lauh} = \Phi_{höyr} + P_{komp}, \quad (2)$$

|       |               |                           |       |
|-------|---------------|---------------------------|-------|
| jossa | $\Phi_{lauh}$ | lauhduttimen lämmitysteho | [kW]  |
|       | $\Phi_{höyr}$ | höyrystimen teho          | [kW]  |
|       | $P_{komp}$    | kompressorin vaatima teho | [kW]. |

Lämmön talteenottopotentiaalin arvioinnissa jätevedestä kerättävissä oleva lämpöteho on siis sama kuin höyrystimen maksimiteho. Kuten aiemmin on jo todettu, lopulliseen lämpöhyötyyn vaikuttavat laitoskohtaiset tekniset ratkaisut, kuten lämmön talteenottolaitteiston tyyppi, mitoitus ja lämpöenergian hyödyntämistapa. Jäteveden lämmön talteenottoon soveltuvien lämpöpumppujen COP-arvo on tyypillisesti noin 3–5 (Oilon Oy s.a).

## 5 PUHDISTAMOLIETE JA BIOKAASU

Biokaasu on lopputuotetta mikrobiologisesta prosessista, jossa erilaiset mikroorganismit hajottavat orgaanista ainesta hapettomissa eli anaerobisissa ja lämpötilaltaan suotuisissa olosuhteissa. Prosessista käytetään myös nimitystä mätäneminen. Biokaasun lisäksi mätänemisprosessin lopputuotteena syntyy

mädätysjäännöstä, joka sisältää orgaanista massaa ja ravinteita. Mädätysjäännös voidaan hyödyntää monin eri tavoin, muun muassa metsä- ja pelto-lannoitteena tai maanparannusaineena sekä viherrakentamisessa. Mädätysjäännöksen tarkkaan koostumukseen ja sen myötä hyödyntämismahdollisuuksiin vaikuttaa mädätysprosessin syötteenä olleen biomassan alkuperä.

Biokaasua voidaan tuottaa mädättämällä mitä tahansa orgaanista biomassaa. Yleisimmät biokaasun tuotannon raaka-aineet ovat maatalouden jätteet kuten lanta, teurasjäte ja peltobiomassat, elintarviketeollisuuden ja kotitalouksien biojätteet sekä jäteveden puhdistusprosessissa syntyvä puhdistamoliete. Biokaasu sisältää runsaasti energianlähteeksi soveltuvaa metaania, ja sitä voidaan hyödyntää energianlähteenä korvaamaan fossiilista maakaasua. Tarkemmin biokaasun koostumus on esitetty taulukossa 3. Myös kaatopaikoilla tapahtuu orgaanisen aineksen anaerobista hajoamista. Useille kaatopaikoille on asennettu keräysputkistoja, joiden kautta syntyvä biokaasu kerätään talteen. Kaatopaikkakaasun koostumus poikkeaa reaktorilla tuotetusta biokaasusta hiukan, mutta koostumusero ei ole niin suuri, että se vaikuttaisi kaasun hyödyntämiseen. (Al Seadi ym. 2008; Bachmann 2015, 4–5; Lampinen 2015, 128.)

Taulukko 3. Raa'an reaktoribiokaasun tyypillinen koostumus (mukaihen Lampinen 2015, 128)

| Komponentti                      | Pitoisuus                                 |
|----------------------------------|---|
| Metaani (CH <sub>4</sub> )       | 45—75 til-%                               |
| Hiilidioksidi (CO <sub>2</sub> ) | 20—55 til-%                               |
| Typpi (N <sub>2</sub> )          | 0—2 til-%                                 |
| Hiilimonoksidi (CO)              | 0—0,2 til-%                               |
| Happi (O <sub>2</sub> )          | 0—1 til-%                                 |
| Vety (H <sub>2</sub> )           | 0—0,5 til-%                               |
| Rikkivety (H <sub>2</sub> S)     | <0,8 til-%                                |
| Rikki yhteensä                   | <8000 mg (Nm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> |
| Ammoniakki (NH <sub>3</sub> )    | 0—3 mg (Nm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>   |
| Siloksaanit                      | 0—5 mg (Nm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>   |
| Suhteellinen kosteus             | 100 %                                     |

Biokaasuntuotantoa tapahtuu kolmella eri lämpötila-alueella, ja jokaisella lämpötilalla on oma mikrobikantansa. Mitä korkeampi lämpötila, sitä nopeammin

biologinen mätänemisprosessi ja biokaasuntuotto tapahtuu, mutta sitä herkeempi prosessi on myös erilaisille häiriöille, kuten pH:n vaihteluille. Koska mätänemisprosessi ei vapauta kompostoitumisen tapaan lämpöenergiaa, Suomen ilmasto-olosuhteissa syötteen lämmittäminen ja korkean lämpötilan ylläpitäminen reaktorissa ympäri vuoden vaatii myös enemmän ulkopuolista energiaa. *Mesofiilinen* mätänemisprosessi tapahtuu noin 35–40 °C lämpötilassa, ja on yleisin Suomessa käytetty biokaasuntuotannon prosessilämpötila. *Termofiilinen* prosessi tapahtuu noin 50–60 °C lämpötilassa, ja saattaa olla jopa kolmanneksen nopeampaa kuin mesofiilinen kaasunmuodostus. *Psykrofiilinen* biokaasuntuotanto taas tapahtuu alle 25 °C lämpötilassa, käytännössä esimerkiksi luonnossa soilla. (Kymäläinen 2015, 63–64, Latvala 2009, 34.)

Biokaasuntuotannon eri raaka-aineilla eli syötteillä toisistaan poikkeava metaanintuottopotentiaali (taulukko 4). Joidenkin syötteiden, esimerkiksi lannan tai puhdistamolietteen kuiva-ainepitoisuus on pieni ja saattaa vaihdella suuresti, jolloin metaanintuottopotentiaalın arviointi on hyvin vaikeaa. Tämän vuoksi eri syötteiden metaanintuottopotentiaalia on helpompi arvioida ja vertailla orgaanisen aineen potentiaalın perusteella. (Lehtomäki ym. 2007, 19–20.) Syötteen kuiva-ainepitoisuus määrittää myös biokaasuntuotannon prosessityypin. Erilaisia prosessityyppejä ovat märkä-, kiinto- ja kuivamädätys.

Taulukko 4. Eri syötteiden metaanintuottopotentiaaleja (Lehtomäki ym. 2007, 19)

| Materiaali   | m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / tonni<br>orgaanista ainetta | m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / tonni<br>jätejätettä (märkäpaino) |
|--|--|--|
| Teurasjäte   | 570  | 150  |
| Biojäte  | 500–600  | 100–150  |
| Kasvibiomassa  | 300–450  | 30–150   |
| Jätevedenpuhdistamon liete                           | 200–400  | 5–15   |
| Lehmänlanta  | 100–250  | 7–14   |
| Sianlanta  | 300–400  | 17–22  |
| <b>1 m<sup>3</sup> metaania ~ 1 l öljyä ~ 10 kWh</b> |  |  |

Energiaa sisältäviä biokaasun komponentteja ovat metaani ja vety. Hiilidioksidi ja typpi ovat inerttejä kaasuja, eli ne eivät sisällä energiaa, mutta eivät myöskään haittaa biokaasun energiakäyttöä. Loput biokaasun sisältämät komponentit, kuten vesihöyry, rikkivedyt, siloksaanit ja häkä ovat puhdistusprosessissa poistettavia epäpuhtauksia. Biokaasureaktorista saatava raakakaasu on puhdistettava, eli siitä on poistettava edellä mainittuja epäpuhtauksia ennen

hyödyntämistä. Epäpuhtaudet biokaasussa saattavat aiheuttaa haittaa biokaasua hyödyntäville energiantuotantojärjestelmille ja niiden materiaaleille, tai kasvattaa energiantuotannosta aiheutuvia päästöjä. Biokaasun jalostamisella tarkoitetaan inerttien kaasujen pitoisuuden vähentämistä biokaasun energiatiheyden nostamiseksi ja näin kuljetuksen ja varastoinnin helpottamiseksi. Biokaasun jalostaminen ei yleensä ole tarpeen, mikäli kaasu käytetään sähkö- ja/tai lämmöntuotantoon syntypaikalla. Liikennepolttoaineeksi myytävä biokaasu sen sijaan vaatii jalostuksen. (Lampinen 2015, 125–127.)

Yleisimmät biokaasun hyödyntämistavat ovat lämmön- ja sähköntuotanto tai näiden yhteistuotantolaitokset (combined heat and power, CHP) sekä liikennepolttoainekäyttö. Biokaasun kokonaishyötysuhde on lämmöntuotannossa noin 70—95 % ja sähköntuotannossa noin 20—40 %, kun huomioidaan tuotantolaitoksen ja siirron kulutus sekä siirrossa tapahtuvat häviöt. Liikennepolttoaineena käytettäessä hyötysuhde on jopa 80—95 %, mutta kuten edellä todettiin, vaatii liikennekäyttö biokaasun käsittelyä enemmän, kuin muu hyödyntäminen. (Lampinen 2015, 127.)

Metaani tunnetaan voimakkaana kasvihuonekaasuna, jonka ilmakehää lämmittävä vaikutus on monikymmenkertainen hiilidioksidiin verrattuna. Metaanin kerääminen talteen ja hyödyntäminen energianlähteenä vähentää näin ollen lietteen käsittelystä syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen määrää. Biokaasulla voidaan korvata fossiilisen maakaasun käyttöä energianlähteenä, joka vähentää energiantuotannon nettohiilidioksidipäästöjä. Vaikka biokaasun polttamisesta muodostuu hiilidioksidipäästöjä, ne eivät lisää ilmakehän hiilidioksidimäärää kuten fossiilisesta maakaasusta vapautuva hiilidioksidi, koska biokaasun raaka-aineena käytettävän biomassan sisältämä hiilidioksidi on alun perin peräisin ilmakehästä. Hiilidioksidipäästöjen vähentämisen lisäksi toinen keskeinen biokaasun tuotannon lähtökohta on sen raaka-aineena toimivien jätteiden käsittely ympäristölle ystävälliseen muotoon. Tällöin prosessista saadaan kaksinkertainen hyöty, kun jäte käsitellään usein ympäristöluvankin velvoittamalla tavalla, ja sivutuotteena syntyy uusiutuvaa energiaa. (Al Seadi ym. 2008, 11.)

## **Biokaasuntuotanto Suomessa**

Suomen Vesilaitosyhdistys ry:n vuonna 2021 tekemän selvityksen mukaan lähes 80 % Suomen jätevedenpuhdistamoilla syntyvästä lietteestä mädätetään osana lietteen jatkokäsittelyprosessia. Lietettä käsitellään pääasiassa suurissa ja keskisuurissa laitoksissa, sillä vuosina 2020—2021 Suomen 15 suurinta laitosta käsitteli yli 70 % kaikista jätevesilietteistä. Pieniltä lietettä tuottavilta laitoksilta liete siirretään isompiin laitoksiin mädätettäväksi. (Vesilaitosyhdistys ry. 2021, 7, 10.) Biokaasulaitosten koko voidaan määritellä sen vuosittain käsittelemän syötemäärän mukaisesti siten, että pieniä biokaasulaitoksia ovat alle 20 000 t/v, keskikokoisia 20 000—35 000 t/v ja suuria yli 35 000 t/v syötettä käsittelevät laitokset. Jako perustuu laitosten ympäristölupavaatimuksiin.

Suomen biokaasuntuotannon kokonaismäärä vuonna 2020 oli noin 1 TWh, josta yhdyskuntajätevesilietteiden mädätyksen osuus oli noin neljännes (239 GWh). Suomen Biokierto ja Biokaasu (SBB) ry:n ylläpitämän biokaasulaitosrekisterin mukaan Suomessa oli vuonna 2021 yhteensä 80 biokaasulaitosta, joista useampaa kuin yhtä syötetyyppeä käsitteleviä yhteiskäsittelylaitoksia oli 30 kpl, jätevedenpuhdistamojen yhteydessä toimivia liettemädättäjä 16 kpl, maatilalaitoksia 27 kpl ja teollisuuden biokaasulaitoksia 7 kpl. Lisäksi kaatopaikkakaasun keräyspisteitä oli 33 kpl. SBB ry:n vuonna 2020 julkaiseman arvion mukaan biokaasuntuotanto olisi mahdollista nelinkertaistaa vuoteen 2030 mennessä. Koska jo tällä hetkellä syntyvistä puhdistamolietteistä mädätetään suurin osa, on uusia syötteitä etsittävä muualta. Merkittävin biokaasusyötteiden potentiaali löytyy SBB ry:n mukaan maatalouden kasvibiomassoista ja lantalietteistä sekä elintarviketeollisuuden jätteistä ja sivuvirroista. (Suomen Biokaasu ja Biokierto ry. 2021, Virolainen-Hynnä 2020, 8–9).

## **6 AINEISTO JA MENETELMÄT**

Silloin, kun tutkimuksessa käytetään useita eri tutkimusmenetelmiä tukemassa toisiaan, voidaan puhua triangulaatiosta. Metodien triangulaation avulla on mahdollista tarkastella tutkittavaa ilmiötä useammasta eri näkökulmasta ja koota aineistoa monipuolisesti ilman, että tutkimusmenetelmä asettaa rajoituksia aineistonkeruuseen. (Tuomi ym. 2018, luku 6.5.) Mahdollisimman laajan kokonaiskuvan muodostamiseksi tutkimuksessa kerättiin tietoa eri lähteistä

useammalla eri tavalla. Muiden suomalaisten jätevedenpuhdistamoiden toiminnasta tietoa kerättiin verkkokyselyllä, joka sisälsi sekä strukturoituja että avoimia kysymyksiä. Vertailua varten kerättiin tietoa toimeksiantajan jätevedenpuhdistamon nykytilanteesta hyödyntämällä lakisääteistä ja vapaaehtoista raportointia sekä vesilaitoksen henkilöstön ammattitaitoa. Menetelmällisesti tutkimuksessa yhdistettiin kvalitatiivista ja kvantitatiivista aineistonkeruu- sekä analyysimenetelmää, ja näiden lisäksi Heinolan jätevedenpuhdistamon nykytilaa selvitettiin dokumenttianalyysin keinoin.

Aineistonkeruun ja analyysitapojen valinnan perustana oli benchmarking-ajattelu. Benchmarkingilla tarkoitetaan kiinnostusta siihen, miten toiset toimivat ja mihin heidän menestyksensä perustuu. Benchmarkingissa lyhyesti sanottuna määritellään omassa toiminnassa tunnistettu kehittämiskohde, etsitään organisaatio, jossa kyseinen asia toimii paremmin, tutustutaan vertailtavan organisaation toimintamalliin ja sovelletaan se osaksi oman organisaation toimintaa. (Ojasalo ym. 2015, 186.) Tutkimuksen yhtenä päämääränä oli tarkastella toimeksiantajan jätevedenpuhdistamoa vastaavia laitoksia, selvittää niiden toimintatapoja ja ottaa mallia muualla toimivaksi havaituista keinoista.

## **6.1 Verkkokysely**

Kirjallinen kysely on toimiva tapa kerätä tietoa suurilta vastaajamääriltä, jonka vuoksi se valikoitui aineistonkeruumenetelmäksi. Sähköinen kysely on myös helppo ja nopea, eikä siitä koidu kustannuksia. Sähköisten kyselyiden luomiseen käytettävät työkalut auttavat aineiston analysoinnissa, mikä nopeuttaa aineiston käsittelyä. (Ojasalo ym. 2015, 121—122.) Verkkolomakkeella toteutetun puolistrukturoidun kyselyn avulla haluttiin selvittää Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamon kokoluokkaa vastaavien sekä hieman suurempien ja pienempien puhdistamoiden energian talteenoton yleisyyttä sekä käytössä olevia energian talteenottomenetelmiä. Kyselyn tavoitteena oli saada käsitys, kuinka yleistä energian talteenotto Suomessa on, sekä benchmarking-tyyppisesti kerätä ideoita, joita voitaisi mahdollisesti soveltaa Heinolassa. Kysely toteutettiin Webropol-verkkolomakkeella (liite 1), joka lähetettiin sähköpostitse yhteystietojen saatavuudesta riippuen vesilaitoksille tai suoraan puhdistam-



moille. Kysely lähetettiin koskien yhteensä 60 yksittäistä jätevedenpuhdistamo. Kyselyyn vastausaikaa oli yhteensä kaksi viikkoa, jona aikana lähetettiin yksi muistutusviesti. Kyselyn vastausprosentti oli 31,7 %.

Kyselyyn vastaajiksi valittiin niiden vesihuoltolaitosten jätevedenpuhdistamot, joiden palvelualueelta laskutettu vesimäärä vuonna 2019 oli 500 000–2 000 000 m<sup>3</sup>. Vesilaitosyhdistyksen luokittelun mukaan keskisuuria vesilaitoksia ovat 250 000–1 000 000 m<sup>3</sup>/a ja suuria yli 1 000 000 m<sup>3</sup>/a laitokset (Vesilaitosyhdistys ry. 2020). Koska Heinolan kaupungin Vesihuoltolaitos sijoittuu näiden kahden luokan rajalle, otettiin kyselyyn mukaan sekä keskisuuria että suuria laitoksia. Tarkoituksenmukaisempaa olisi ollut valita kyselyn kohderyhmään puhdistamot suoraan puhdistamon jätevesivirtaaman perusteella, mutta tätä tietoa ei ollut julkisesti saatavilla, eikä tunnuslukujärjestelmä Venlaan saatu käyttöoikeutta tietojen keräämiseksi. Vastaajajoukosta jätettiin tarkoituksella pois Suomen suurimmat puhdistamot, vaikka näillä tiedetysti on paljon energian talteenottoon liittyvää kokemusta ja osaamista, koska suurissa kaupungeissa ja kuntayhtymissä myös taloudelliset resurssit sekä syötteiden määrä ovat varsin erilaiset kuin toimeksiantajan tapauksessa.

Verkkokyselyn aineistosta strukturoitujen kysymysten vastaukset analysoitiin tilastollisin perusmenetelmin Microsoft Excel-taulukko-ohjelman avulla. Työn keskeinen tavoite ei liittynyt määrällisen aineiston analyysiin vaan määrällinen aineisto tukee muiden tulosten tulkintaa. Tästä johtuen määrällisestä aineistosta on poimittu perussuureita, kuten keskiarvoja, mediaaneja ja prosentteja.

Avointen kysymysten vastaukset analysoitiin teemoittelemalla. Teemoittelu on yksi laadullisen tutkimuksen sisällönanalyysin perusmenetelmä, jonka avulla laadullisesta tutkimusaineistosta etsitään erilaisia teemoja ja niihin liittyviä asioita. Teemoittelemalla voidaan selvittää, millaisiin teemoihin liittyviä asioita aineistossa ilmenee. Teemoja ei mietitä etukäteen, vaan ne nousevat aineistosta. (Juhila s.a., Tuomi ym. 2018, luku 4.) Avoimilla kysymyksillä annettiin vastaajalle mahdollisuus tarkentaa strukturoitujen kysymysten vastauksia tai kertoa vapaasti lisää strukturoidun kysymyksen aiheesta. Avoimilla kysymyksillä pyrittiin myös selvittämään syitä sille, miksi puhdistamoilla ei ole ryhdytty energian talteenottoon. Nämä olivat asioita, joihin ei ollut ennalta muodostunutta käsitystä, eikä vastaajia haluttu ohjailta valmiilla vastausvaihtoehdoilla.

Avoimilla kysymyksillä ja vastausten teemoittelulla pyrittiin saamaan mahdollisimman todenmukainen ja rehellinen tilannekuva tutkittavasta aiheesta.

Kyselyn vastausprosentti 31,7 % on varsin alhainen. Sähköpostikyselyiden vastausprosentit jäävät nykyisin hyvin alhaisiksi mahdollisesti kyselyjen runsaudesta ja osittain roskapostisuodattimien tehokkuudestakin johtuen (Ojasalo ym. 2015, 128). Vastausprosenttiin on saattanut vaikuttaa myös se, että kaikkia tutkimuspyyntöjä ei yhteystietojen saatavuushaasteiden vuoksi voitu toimittaa suoraan puhdistamojen henkilökunnalle, vaan ne lähetettiin vesilaitosten asiakaspalveluosoitteisiin. Jokin toinen aineistonkeruumenetelmä olisi voinut tuottaa paremman vastausprosentin, mutta olisi vaatinut tutkimusasetelman muokkaamista. Tämän tutkimuksen mielenkiinnon kohteena oli yleiskuva ilmiöstä, ja sen saaminen toisenlaisilla aineistonkeruumenetelmillä olisi ollut haastavaa. Alhainen vastausprosentti heikentää tulosten luotettavuutta ja yleistettävyyttä.

## 6.2 Heinolan kaupungin nykytilannetta kuvaava aineisto

Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamon tilanteen tarkasteluvuodeksi valittiin vuosi 2021. Tiedot kerättiin Kymijoen Vesi ja Ympäristö ry:n (Åkerberg 2022) koostamasta jätevedenpuhdistamon toiminnan vuosiraportista, puhdistamon ympäristölupapäätöksestä (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2014), organisaation sisäisessä käytössä olevasta energiankulutuksen seurantaohjelmasta sekä haastatteleamalla Heinolan kaupungin Vesihuoltolaitoksen henkilökuntaa.

### 6.2.1 Lämmön talteenoton potentiaalin selvittäminen

Jäteveden sisältämä lämpöenergia voidaan laskea kaavan 3 mukaisesti (Black 2017).

$$\Phi = q_v \times \rho \times C_p \times \Delta T \quad (3)$$

jossa

$\Phi$     lämpöteho    [kJ/s]

|            |                                |                          |
|------------|--------------------------------|--------------------------|
| $q_v$      | veden virtaama                 | $[\text{m}^3/\text{s}]$  |
| $\rho$     | veden tiheys                   | $[\text{kg}/\text{m}^3]$ |
| $c_p$      | veden ominaislämpökapasiteetti | $[\text{kJ}/\text{kgK}]$ |
| $\Delta T$ | veden lämpötilaero             | $[\text{K}]$ .           |

Lämpötilaero  $\Delta T$  muodostuu jäteveden lämpötilan erotuksesta ennen ja jälkeä lämmön talteenoton.

Edellä esitetyllä kaavalla pystytään laskemaan ideaaliprosessin maksimaalinen energiantuottopotentiali tilanteessa, jossa kaikki lämpöenergia pystytään keräämään talteen. Todellinen hyötysuhde on pienempi, usein noin 70–80 % maksimista riippuen laitoksen teknisistä ratkaisuista. Lämmön talteenoton jälkeinen purkuveden lämpötila tulee olla noin +3–4 °C purkuputken jäätyksen estämiseksi, mikä rajoittaa lämpöenergian hyödyntämistä etenkin talvella.

## 6.2.2 Biokaasun tuotantopotentiaalin selvittäminen

Luonnonvarakeskuksen internet-sivuilta löytyvä biokaasulaskuri on internet-pohjainen työkalu, joka on kehitetty pienten (syöte alle 15 000 t vuodessa) biokaasulaitosten investoinnin kannattavuusarviointiin. Laskuri on alun perin toteutettu vuonna 2013 Luonnonvarakeskuksen koordinoimassa valtakunnallisessa kehityshankkeessa yhteistyössä Ukipolis Oy:n, Satafoodin, Turun ammattikorkeakoulun sekä Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT:n kanssa. Laskuri on päivitetty vuonna 2021. (Luonnonvarakeskus s.a., Riikimäki ym. 2014, 2–3.)

Biokaasulaskuri huomioi mm. eri syötteiden syötekohtaisen metaanintuottopotentiaalin ja syötteestä syntyvän biokaasun metaanipitoisuuden, erilaisten biokaasulaitosten laitostyyppikohtaiset investointikustannukset ja energiankulutuksen sekä muut biokaasulaitoksen toiminnasta syntyvät tulot ja menot, ja tekee näiden perusteella suuntaa antavan kannattavuuslaskelman. Laskuri antaa keskimääräiset oletusarvot eri muuttujille, mutta niitä voi muokata tarkemmiksi olemassa olevien tietojen perusteella.

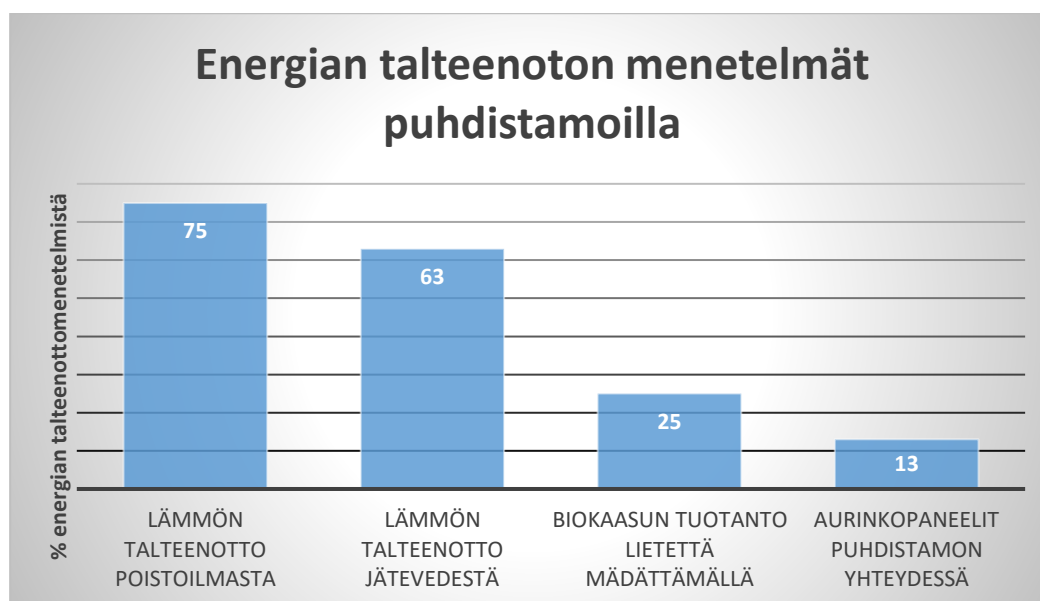
Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamon omaa biokaasun tuotantopotentiaalia arvioitiin syöttämällä kaikki saatavilla olevat tiedot vuodelta 2021 biokaasulaskuriin. Niiden tietojen osalta, joita ei ollut saatavissa, arvioinnissa käytettiin biokaasulaskurin oletusarvoja.

## 7 TULOKSET

### 7.1 Energian talteenotto suomalaisilla jätevedenpuhdistamoilla

Kyselyyn vastanneista jätevedenpuhdistamoista 42 %:lla oli käytössä jokin uusiutuvan tai hukkaenergian talteenottomenetelmä. Niistä puhdistamoista, joilla vielä ei ole energian talteenottojärjestelmää käytössään, 55 % oli harkinnut sellaisen käyttöönottoa tai sen suunnittelu oli käynnissä joko olemassa olevaan, suunnitteluvaiheessa tai rakenteilla olevaan puhdistamoon. Suurimmalla osalla vastanneista harkinnassa tai rakenteilla oli lämmön talteenottojärjestelmä jätevedestä.

Yleisin energian talteenottojärjestelmä oli lämmön talteenotto tilojen poistoilmasta (75 %). Lämmön talteenottoa jätevedestä tehtiin 63 %:lla energiaa talteen ottavista puhdistamoista. Puhdistamolietteet päätyivät biokaasuntuotantoon 25 %:lta energiaa talteen ottavista puhdistamoista. Näistä puolet ilmoitti, ettei lietettä mädätetä itse, vaan se kuljetetaan yhteiskäsittelylaitokseen mädättäväksi. Pieni osuus vastaajista hyödynsi uusiutuvaa energiaa myös aurinkopaneelien avulla (kuva 6).

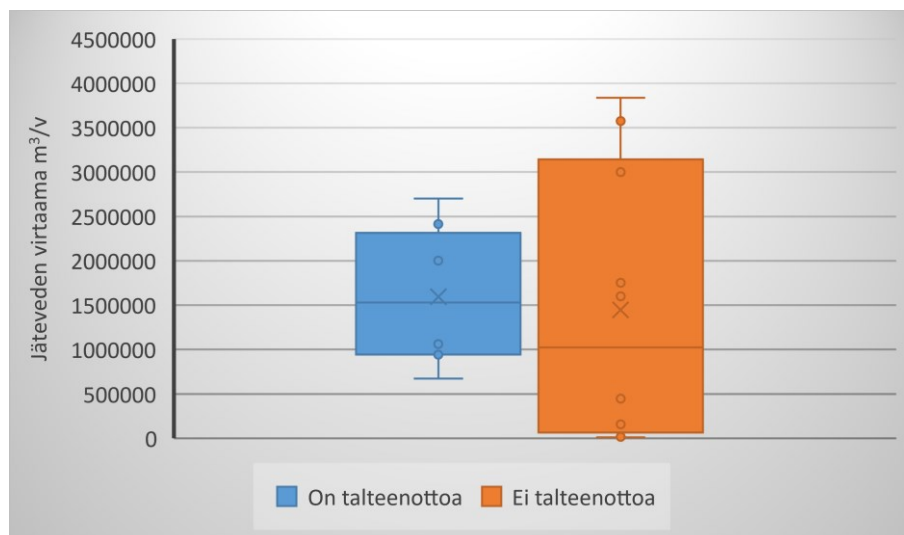


Kuva 6. Käytössä olevien energian talteenottomenetelmien jakauma.

Kyselyssä ei saatu vertailukelpoisia lukemia talteen otetun energian määristä. Kaikki vastanneet puhdistamot ilmoittivat hyödyntävänsä talteen otetun energian laitoksen omien tilojen lämmittämiseen, omaan sähköntuotantoon tai omien prosessien lämmitykseen. Yhdelläkään vastanneista laitoksista ei myyty sähköä tai lämpöenergiaa ulkopuoliseen sähkö- tai kaukolämpöverkkoon.

26 % kyselyyn vastanneista puhdistamoista ei ollut harkinnutkaan energian talteenottomenetelmien käyttöönottoa. Syitä tähän olivat laitoksen pieni koko, laitoksen tekniikan tai tilojen soveltumattomuus talteenottomenetelmiin, laitoksen käyttöiän täytyminen ja lähitulevaisuudessa laitoksen lakkauttaminen, epäluottamus energian talteenoton tekniikoiden toimivuutta kohtaan, pelko järjestelmän ylläpidon haasteista sekä taloudelliset syyt.

Puhdistamon koko ei ollut suoraan yhteydessä energian talteenottoon (kuva 7). Energiaa talteen ottavien puhdistamoiden vuosivirtaama vaihteli 670 000 ja 2,7 miljoonan kuution välillä, kun taas puhdistamoiden, jotka eivät keränneet energiaa talteen, vuosivirtaama vaihteli 12 000 ja 3,8 miljoonan kuution välillä. Selvästi kaikkein pienimmät puhdistamot olivat jättäytyneet energian talteenoton ulkopuolelle, ja tämä perusteltiin usein investointien kannattamattomuudella. Toisaalta kyselyyn vastanneista puhdistamoista myös vuosivirtaamaltaan kolme suurinta puhdistamo vastasivat kieltävästi energian talteenottoa koskevaan kysymykseen.



Kuva 7. Puhdistamon koon vaikutus energian talteenottoon

Lämmön talteenottoa jätevedestä tehtiin puhdistamoilla, joiden vuosivirtaama vaihteli 670 000—2 700 000 kuution välillä (keskiarvo 1,67 milj. m<sup>3</sup>/v). Suurin osa vastaajista ei ilmoittanut arviota energiamäärästä, joka lämmön talteenoton avulla hyödynnetään, joten sen osalta ei voitu tehdä tarkempia päätelmiä.

Biokaasun tuotannossa hyödynnettävät vuosittaiset lietemäärät vaihtelivat 1 650—4 500 tonnin välillä vuodessa. Keskimäärin alle 3 000 tonnin vuosittaiset lietemäärät kuljetettiin toiseen laitokseen mädätettäväksi. Biokaasuntuotantoa ja tuotantomääriä koskeviin kysymyksiin saadut vastaukset olivat niin usein puutteellisia, ettei niiden osalta voitu tehdä tarkempia päätelmiä.

## 7.2 Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamon nykytilanne

Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamo on Heinolan vesihuoltoalueen ainoa kunnan ylläpitämä yhdyskuntajätevedenpuhdistamo. Vuonna 2021 puhdistamon kokonaisvesivirtaama oli hieman yli 2 miljoonaa kuutiota (taulukko 5). Heinolan jätevedenpuhdistamolla käsitellään noin 18 000 viemäriverkkoon liittyneen asukkaan talousjätevesiä Heinolasta ja Pertunmaalta. Lisäksi puhdistamolle johdetaan jonkin verran alueella olevan teollisuuden jätevesiä sekä Heinolassa sijaitsevien, suljettujen kaatopaikka-alueiden suotovesiä. Viemäriverkostossa on vanhoja alueita, joilla tapahtuu sekaviemärointiä, eli jätevesiviemäriin johdetaan myös hulevesiä. Tämä nostaa vuotovesien osuuden yli 45 prosenttiin kokonaisvirtaamasta ja saattaa viilentää jäteveden lämpötilaa hiukan etenkin kylmään vuodenaikaan.

Taulukko 5. Vesimäärät vuonna 2021

| <b>Vesimäärät</b>                         |           |
|---|-----------|
| Puhdistettu vesimäärä (m <sup>3</sup> /a) | 2 064 219 |
| Laskutettu vesimäärä (m <sup>3</sup> /a)  | 1 128 000 |
| Vuotovesien osuus (m <sup>3</sup> /a)     | 936 219   |
| Vuotovesien osuus (%)                     | 45,4      |

Puhdistamolietettä syntyi vuonna 2021 yhteensä 2 687 tonnia (taulukko 6). Liette kuivattiin lingossa ja kuljetettiin kuivauksen jälkeen Gasum Oy:n Riihimäen biokaasujalostamolle, jonne on Heinolan jätevedenpuhdistamolta matkaa lyhyintä reittiä 94 km. Täysiä, keskimäärin 40—50 tonnin rekkakuormia

ajettiin käytännössä viikoittain. Lietteen kuljetus- ja porttimaksuista syntyi kustannuksia vuonna 2021 yhteensä 190 804 euroa.

Taulukko 6. Puhdistamolietteen käsittely vuonna 2021

| <b>Puhdistamoliete</b>                      |         |
|---|---------|
| Lietteen määrä (t/a)                        | 2 687   |
| Lietteen kuiva-ainepitoisuus (%)            | 25,5    |
| Lietteen jätemaksut sis. kuljetus (€/t)     | 71,01   |
| Lietteen jäte- ja kuljetusmaksut yht. (€/a) | 190 804 |

Jätevedenpuhdistamon sähköenergian kulutus vuonna 2021 oli 773 MWh. Puhdistamon sähkökulutuksesta suurin osa aiheutuu itse puhdistusprosessista, joten kuukausitasolla sähkökulutuksessa ei ole suurta vaihtelua (kuva 8). Kuukausittainen sähkökulutus vaihteli 60 000—70 000 kWh välillä.



Kuva 8. Puhdistamon sähkökulutuksen kuukausivaihtelu

Lämpöenergian kokonaiskulutus vuonna 2021 oli 406 MWh. Lämpöenergian kulutuksesta ei ollut saatavilla kuukausikohtaisia kulutustietoja. Puhdistamon lämmöntarve muodostuu käytännössä tilojen lämmittämisestä, joten oletettavasti lämpöenergian kulutuksessa on sähkökulutusta enemmän vuodenaikavaihtelua. Jätevedenpuhdistamo on yhdistetty kaukolämpöverkkoon.

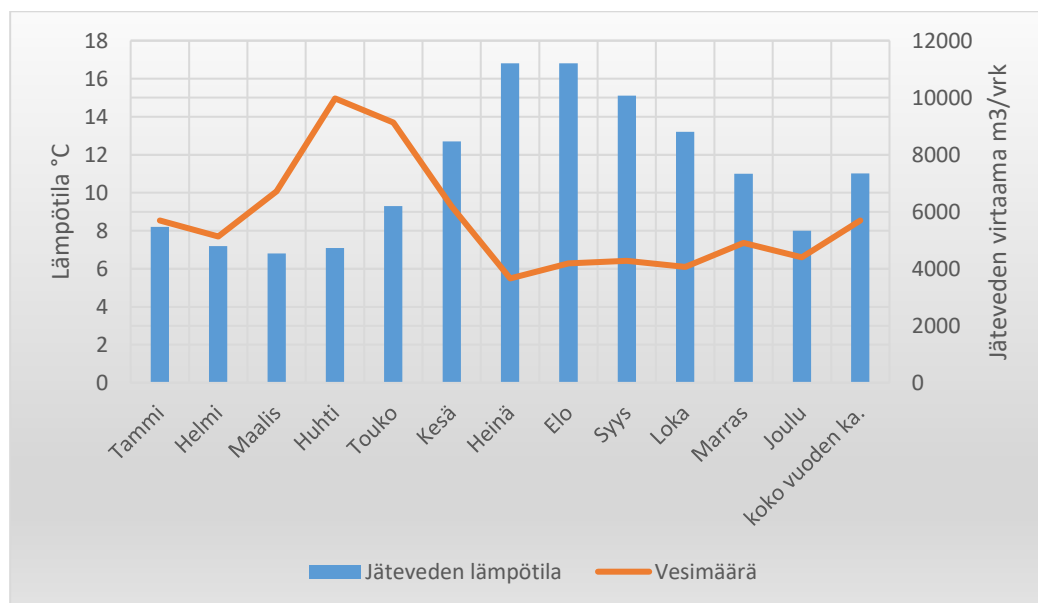
Taulukko 7. Puhdistamon energiankulutus ja -kustannukset vuonna 2021 (alv 0 %)

|               | <b>Kaukolämpö</b> | <b>Sähköenergia</b> | <b>Sähkönsiirto</b> |
|---------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| Kulutus kWh   | 406000            | 773000              | 773000              |
| Perusmaksu/kk | 933,27546         | 0                   | 66,2                |
| €/kWh         | 0,065             | 0,05664             | 0,03809             |
| Yhteensä €/v  | 37589,31          | 43782,72            | 30237,97            |

Energiakustannuksia syntyi vuoden 2021 kulutuksella vuoden 2022 hintatietoihin verraten kaukolämmön osalta 37 590 euroa ja sähkön osalta 74 020 euroa (taulukko 7). Kustannuslaskelmat ovat arvonlisäverottomia. Sähkönsiirtokustannuksissa ei ole myöskään huomioitu tehomaksua, joka määräytyy tietyn aikavälin suurimman tuntikulutuksen mukaan.

### 7.2.1 Lämmön talteenoton potentiaali

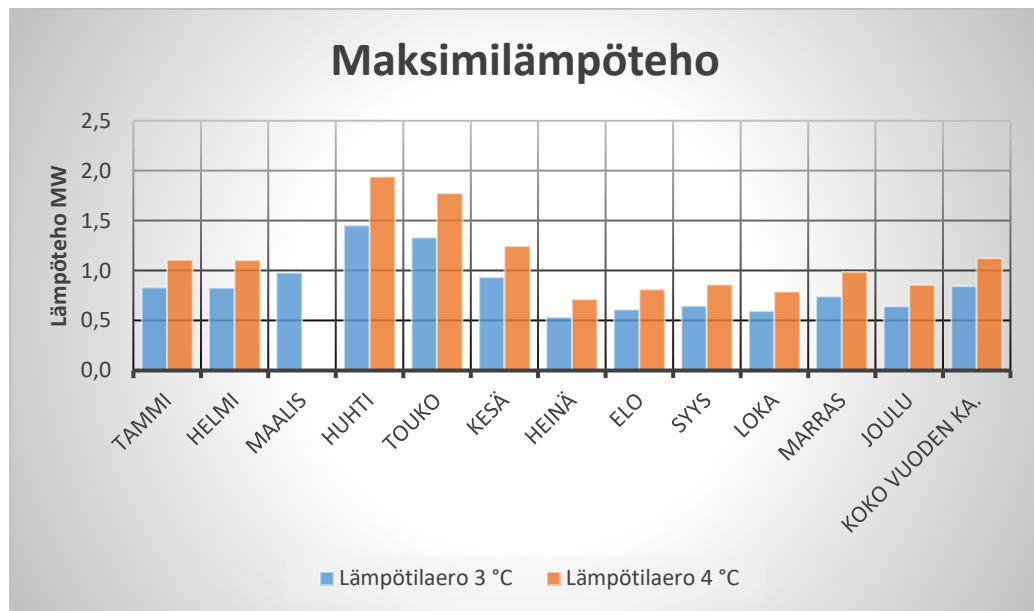
Jäteveden lämpötilaa mitataan jatkuvasti prosessin eri vaiheissa. Tätä tutkimusta varten kerättiin jäteveden lämpötilan kuukausittaiset keskiarvot ilmastusaltaan lopussa (kuva 9), koska kuten aiemmin todettiin, tämä on prosessin järkevin kohta mahdollisen lämmön talteenottolaitteiston sijoittamiselle. Kuukausittainen keskilämpötila vaihteli 6,8 °C—16,8 °C välillä vuodenajan mukaan, koko vuoden keskilämpötilan ollessa 11 °C. Kuvassa 9 näkyy myös päivittäisen jätevesivirtaaman keskiarvo kuukausittain. Vuorokauden keskivirtaama vaihteli 3 662–9 973 m<sup>3</sup>:n välillä. Kuukausittaiseen virtaaman vaihteluun vaikuttivat suurimmaksi osaksi sade- ja sulamisvedet, jotka päätyvät hule- ja vuotovesinä viemäriverkoston. Sulamisvesien runsas määrä kevätkuukausina aiheuttaa myös jäteveden lämpötilan laskun. Koko vuoden keskimääräinen vuorokausivirtaama oli 5 694 m<sup>3</sup>.



Kuva 9. Jäteveden lämpötila ilmastusaltaan jälkeen sekä kuukausivirtaamat



Puhdistetussa jätevedessä on teoreettisesti keskimäärin 0,8—1,1 MW:n hyödynnettävissä oleva maksimilämpöteho. Hyödynnettävissä oleva maksimilämpöteho vaihtelee jätevesivirtaaman mukaan. Jäteveden lämpötilaa on mahdollista ympäri vuoden laskea lämmön talteenotolla 3—4 °C, jotta purkuputkeen ohjattavan veden lämpötila kylmimpänäkin aikana on yli +3 °C. Kuvasta 10 ilmenevät kuukausittaiset laskennalliset lämpötehot sekä 3 että 4 asteen lämpötilaerolla. 3 asteen lämpötilaerolla lämpöteho vaihteli välillä 0,5—1,5 MW, ja 4 asteen lämpötilaerolla vaihteluväli oli 0,7—1,9 MW. Maaliskuussa jäteveden keskilämpötila oli alle +7 °C, jolloin 4 asteen lämpötilaero laskisi purkuputkeen johdettavan veden lämmön alle +3 °C:een. Tällöin lämmön talteenotto ei olisi mahdollista näillä turvarajoilla.



Kuva 10. Lämmön talteenoton laskennallinen maksimiteho kuukausittain

Kun edellä kuvattujen teoreettisten maksimilämpötehojen hyötysuhteeksi lasketaan 70 %, olisi 3 asteen lämpötilaerolla lämmön talteenoton lämpöteho 0,37—1 MW, ja 4 asteen lämpötilaerolla 0,5—1,3 MW. Näistä pienin, 0,37 MW:n teho, riittäisi kattamaan puhdistamon vuotuisen lämmöntarpeen noin 1100 tunnin eli keskimäärin 3 h/vrk käyttöajalla.

## 7.2.2 Biokaasun tuotannon potentiaali

Jätevedenpuhdistamolla syntyi vuonna 2021 noin 2 687 tonnia puhdistamolietettä, josta 25,5 % kuiva-ainepitoisuudella noin 685 tonnia on orgaanista ainetta. Teoreettisesti puhdistamolietteen metaanintuottopotentiaalin (200—400

m<sup>3</sup> metaania per tonni orgaanista ainetta) perusteella laskettuna lietemäärästä olisi mahdollista tuottaa 137 000—274 000 m<sup>3</sup> metaania, mikä vastaa teoreettisesti 1,37—2,74 GWh energiamäärää.

Biokaasulaskurin avulla tarkasteltuna puhdistamon vuoden 2021 lietemäärästä olisi mahdollista tuottaa noin 130 000 m<sup>3</sup> metaania, jonka energiasisältö on noin 865 MWh. Laskurin käyttämä metaanintuottopotentialin toteumaluku on noin 0,8, eli laskurin tuottamassa tuloksessa on huomioitu energiahäviöt sekä reaktorissa tapahtuvan oikovirtauksen aiheuttama teoreettisen metaanintuotannon lasku. Laskurin tuloksessa on huomioitu myös syötteen lämpötilassa tapahtuva vuodenaikojen aiheuttama vaihtelu ja sen vaikutus mädätysprosessin lämmöntarpeeseen. Biokaasulaskurilla suoritettujen laskennan tarkat tulokset on esitetty liitteessä 2.

Biokaasulaskuriin valittiin laitostyypiksi kiintomädätyslaitos hygienisointiyyksiköllä syötteen tyyppin ja korkean kuiva-ainepitoisuuden perusteella. Reaktorin koko tällä syötemäärällä on noin 560 m<sup>3</sup>. Laskurin mukaan biokaasulaitoksen lämmön kulutus on noin 105 MWh ja sähkönkulutus 74 MWh vuodessa. Puhdistamon kokonaislämmönkulutus nousisi 509 MWh:iin ja sähkönkulutus 847 MWh:iin vuodessa. CHP-laitoksella lämmöntuotannon hyötysuhde on parempi kuin sähköntuotannon, joten tuotetulla biokaasulla kannattaa ensisijaisesti kattaa laitoksen lämmöntarve. Lämmöntarpeen kattamisen jälkeen jäävällä biokaasulla olisi mahdollista tuottaa sähköenergiaa noin 25 % (227 MWh) puhdistamon sähköntarpeesta.

Biokaasulaskurin arvion mukaan esimerkin mukaisen laitoksen investointikustannukset olisivat noin 564 000 euroa ja ylläpitokustannukset noin 20 000 euroa vuodessa. Kuluja aiheutuisi myös mädätysjäännöksen kuljetuksesta jatkokäsittelyyn. Jatkokäsittelyn kustannukset riippuvat käsittelyn tyypistä sekä kuljetuskustannuksista, joten summaa on mahdoton tässä yhteydessä arvioida. Säästöjä syntyisi kaukolämpömaksuista 37 600 euroa, sähkömaksuista noin 21 500 euroa ja lietteen käsittely- ja kuljetusmaksuista 190 800 euroa vuodessa. Nettosäästöä olisi mahdollista saada mädätysjäännöksen jatkokäsittelykustannukset pois lukien jopa 230 000 euroa vuodessa (taulukko 8).

Taulukko 8. Biokaasulaitoksen vuosikustannukset ja -säästöt

| Kulu                             | Kustannus  | Säästö             |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| Ylläpitokustannukset             | 20 000     |                    |
| Mädätysjäännöksen jatkokäsittely | X          |                    |
| Lämmityskulut                    |            | 37 600             |
| Sähkönkulutus                    |            | 21 500             |
| Lietteen käsittely ja kuljetus   |            | 190 800            |
| Yhteensä                         | 20 000 + X | 249 900            |
| <b>Nettosäästö</b>               |            | <b>229 900 - X</b> |

Liitteessä 2 biokaasulaskurin kustannusarviossa ei ole huomioitu lietemaksuista, sähkön siirtomaksuista sekä kaukolämmön kuukausimaksuista syntyvää säästöä, minkä vuoksi yhteenvedon kustannusarvio ei ole todenmukainen. Investointikustannuksiin on mahdollista hakea investointitukea esimerkiksi valtiolta.

## 8 TULOSTEN TARKASTELU

Heinolan kaupungin vesihuoltolaitoksen jätevedenpuhdistamo voidaan luokitella Suomen mittakaavassa keskikokoiseksi puhdistamoksi noin 2 miljoonan kuution vuosittaisella jätevesivirtaamalla. Suomessa muilla keskikokoisilla jätevedenpuhdistamoilla puhdistusprosessista otetaan talteen energiaa useimmin lämmön talteenottojärjestelmillä. Vain pienimmillä sekä käyttöikänsä päätä lähestyvillä puhdistamoilla lämpöenergian talteenottoa ei ole edes harkittu. Myös puhdistamolietteen energiapotentiaali hyödynnetään Suomessa tehokkaasti mädättämällä lietettä biokaasuntuotannossa. Omat biokaasulaitokset ovat keskikokoisilla jätevedenpuhdistamoilla harvinaisia, ja puhdistamolietteen kuljetetaan suuremmille biokaasulaitoksille mädätettäväksi.

Tutkimukseen liittynyt kysely pyrittiin osoittamaan koko tutkittavalle perusjoukolle eli ennalta määritellyn kokohaarukkaan kuuluville jätevedenpuhdistamoille. Perusjoukon määrittely kuitenkin epäonnistui, koska puhdistamoiden

kokotietoja ei saatu käyttöön salasanan takana olevasta rekisteristä. Yhä lisääntyvässä määrin jätevedet ohjataan puhdistettavaksi kuntien, kuntayhtymien tai vesilaitosten yhteisille keskuspuhdistamoille, ja vesilaitos itse vastaa vain puhtaan veden tuotannosta. Joillain vesilaitoksilla taas saattaa olla toiminta-alueellaan useampi jätevedenpuhdistamo. Tämän vuoksi vesilaitoksen laskutettu vesimäärä ei välttämättä kerro vesilaitoksen toiminta-alueen jätevedenpuhdistamon koosta mitään. Kyselyyn vastanneiden puhdistamoiden joukossa on siis määritellyn perusjoukon ulkopuolelle kokonsa puolesta kuuluneita puhdistamoja, ja toisaalta kysely ei välttämättä ole tavoittanut kaikki kokonsa puolesta perusjoukkoon kuuluneita puhdistamoita. Tulokset eivät tämän vuoksi ole yleistettävissä koskemaan koko määriteltyä perusjoukkoa. Kyselyyn vastanneet puhdistamot ilmoittivat vastauksen yhteydessä vuosivirtaamansa, jonka ansiosta vastauksia pystytään hyödyntämään vertailtaessa toimintaa Heinolan jätevedenpuhdistamoon.

Työn tulosten perusteella Heinolan puhdistamolle ohjautuvassa jätevedessä on hukkalämpöpotentiaalia, joka kannattaisi ehdottomasti hyödyntää. Jätevedenpuhdistamon oman hukkalämmön hyödyntäminen lisäisi alueen hukkalämmön hyödyntämisastetta, vähentäisi polttoaineiden käytön tarvetta kaukolämpötuotannossa ja vapauttaisi kaukolämpöverkon hukkalämpöä muiden kohteiden käyttöön. Lisäksi lämmön talteenotolla omasta prosessista pystyttäisiin vähentämään ulkoisen lämpöenergian ostosta syntyviä kustannuksia. Toisaalta lämpöpumpputeknologia vaatii toimiakseen ulkoista energiaa, joten se nostaisi puhdistamon sähkönkulutusta jonkin verran.

Lämmön talteenoton todellinen hyöty riippuu niin paljon laitospohjaisista ratkaisuista, ettei yksiselitteistä kannattavuusarviota pysty tämän työn tarkkuustasolla antamaan, vaan arviointiin vaaditaan tarkemmat laskelmat. Lämmön talteenottojärjestelmiä on kuitenkin kyselyn perusteella asennettu keskimäärin Heinolan puhdistamon kokoisille, mutta toisaalta myös virtaamaltaan huomattavasti pienemmille puhdistamoille. Heinolan puhdistamon jätevedestä pystyttäisiin kylmimpänäkin vuodenaikana ottamaan lämpöä talteen noin 3–4 asteen verran ilman purkuputken jäätymisriskiä. Heinolan jätevedenpuhdistamon lämmön talteenottojärjestelmän mitoitus kannattaa arvioida tarkemmin, jotta todelliset hyöty- ja kustannuslaskelmat saadaan selville. Yhteenveto lämmön talteenoton eduista ja haitoista on koottu taulukkoon 9.

Taulukko 9. Yhteenveto lämmön talteenoton eduista ja haitoista

| <b>LÄMMÖN TALTEENOTTO</b>  |   |
|--|---|
| <b>EDUT</b>  | <b>HAITAT</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• kattaa valtaosan puhdistamon lämpöenergian tarpeesta</li> <li>• lisää kaupungin hukkaenergian hyödyntämistä</li> <li>• pienentää puhdistamon lämmityskustannuksia ja vähentää riippuvuutta ulkoisesta lämpöenergiasta</li> <li>• edistää kaupungin energiatehokkuustavoitteita</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• lämpöpumppu lisää sähköenergian kokonaiskulutusta</li> <li>• suunnittelu- ja investointikustannukset saattavat olla korkeat</li> </ul>                               |
| <b>MAHDOLLISUUDET</b>  | <b>UHAT</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• ylijäämälämpö mahdollista myydä kaukolämpöverkkoon</li> <li>• saattaa lisätä alueen hukkalämmön ja uusiutuvan energian käyttöä sekä pienentää puhdistamon hiilijalanjälkeä, jolloin edistäisi myös kaupungin ilmastopositiivisuustavoitetta</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• laitteiston asentaminen olemassa olevaan ympäristöön saattaa aiheuttaa haasteita</li> <li>• lämmönkeruuputkiston puhtaanapito saattaa aiheuttaa haasteita</li> </ul> |

Heinolan jätevedenpuhdistamon nykyisillä lietemäärillä pelkästä lietteestä tuotetulla biokaasulla pystyttäisiin laskennallisesti kattamaan biokaasulaitoksen ja itse puhdistamon lämmöntarve sekä karkeasti arvioiden neljännes sähköntarpeesta. Toisaalta biokaasulaitos myös kasvattaisi puhdistamon lämmön sekä sähkön kokonaiskulutusta jonkin verran.

Suomalaisessa mittakaavassa Heinolan jätevesilietteen tuotto on hyvin vähäistä, eikä biokaasulaitoksen rakentaminen tälle syötemäärälle välttämättä ole kovin kannattavaa. Kyselyyn lietteen mädättämisen osalta saadut vastaukset tukevat tätä oletusta: alle 3 000 tonnin vuosimääriä ei mädätetty itse, vaan ne kuljetettiin toiselle toimijalle mädätettäväksi. Samaa viestittää Vesilaitosyhdistyksen tekemä selvitys puhdistamolietteiden hyödyntämisestä Suomessa, jonka mukaan 85 % lietteistä käsitellään 25 suurimmassa laitoksessa (Vesilaitosyhdistys ry. 2021). Pelkälle lietteelle rakennettavan pienen biokaasulaitoksen sijaan olisi järkevää kartoittaa lähiseutujen syötepotentiaali esimerkiksi maatalouden tai elintarviketeollisuuden osalta, ja tutkia erilaisten biokaasusyötteiden yhteiskäsittelylaitoksen kannattavuus.

Biokaasulaitoksen rakentaminen Heinolan jätevesilietteilille ei sinänsä lisäisi biokaasuntuotantoa Suomessa, sillä Heinolan lietteestä valmistetaan biokaasua nykyisinkin Gasum Oy:n biokaasulaitoksella Riihimäellä. Lietteen jatkokäsittelyn siirtäminen lähemmäksi sen syntypaikkaa vähentäisi kuitenkin huomattavasti Heinolan kaupungille lietteen kuljettamisesta ja käsittelystä koituvia kustannuksia. Lisäksi se vähentäisi tuntuvasti kasvihuonekaasupäästöjä, joita tällä hetkellä syntyy, kun lietettä kuljetetaan viikoittain dieselkäyttöisellä raskaalla kalustolla 100 km:n etäisyydelle jatkokäsittelyyn. Kaupungin olisi myös mahdollista saada taloudellista hyötyä biokaasuntuotannosta joko hyödyntämällä kaasu itse ja vähentämällä näin ostoenergian tarvetta, tai myymällä kaasu eteenpäin. Yhteenveto biokaasulaitoksen perustamisen eduista ja haitoista on koottu taulukkoon 10.

Taulukko 10. Yhteenveto biokaasulaitoksen eduista ja haitoista

| <b>BIOKAASULAITOS</b>  |   |
|--|---|
| <b>EDUT</b>  | <b>HAITAT</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>vähentää ostoenergian tarvetta ja siitä koituvia kustannuksia</li> <li>pienentää puhdistamon hiilijalanjälkeä</li> <li>vähentää lietteen käsittelystä koituvia kustannuksia ja kuljettamisesta aiheutuvia CO<sub>2</sub>-päästöjä</li> <li>edistää kaupungin uusiutuvan energian käyttöä sekä ilmastotietokartan biokaasutavoitteita</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>mittavat investointikustannukset sekä pitkä rakennusprosessi</li> <li>biokaasulaitos lisää puhdistamon sähkön ja lämmön kokonaiskulutusta</li> </ul> |
| <b>MAHDOLLISUUDET</b>  | <b>UHAT</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>mahdollinen yhteiskäsittelylaitos kaupungin läheisyyteen voisi lisätä uusien biokaasusyötteiden tarjontaa ja biokaasuntuotantoa sekä alueella, että valtakunnallisesti</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>puhdistamoliete yksinään liian pieni syötemäärä biokaasulaitokselle</li> </ul>   |

Mikäli puhdistamon yhteyteen rakennettaisiin sekä biokaasulaitos että lämmön talteenottojärjestelmä, järjestelmät saattaisivat saada synergiahyötyä toisis-

taan. Lämmön talteenottojärjestelmästä saataisiin tarvittava lämpöenergia mädätysprosessin lämmittämiseen, jolloin biokaasulaitoksen koko kapasiteetti pystyttäisiin hyödyntämään sähköntuotantoon tai liikennepolttoaineena. Biokaasulla tuotettavalla sähköllä taas voitaisiin korvata lämpöpumppujen aiheuttamaa lisääntyntä sähköntarvetta. Toisaalta jätevedenpuhdistamon nykyinen sijainti ei välttämättä ole optimaalinen biokaasulaitokselle, joka lisäisi alueen logistista liikennettä mm. ulkopuolisten syötteiden kuljetuksen vuoksi.

Työn ja sen tulosten pohjalta nousee useita kehittämissuhteita, joiden avulla Heinolan kaupunki voi edistää energiatehokkuuttaan sekä hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamista jätevedenpuhdistamon toiminnan osalta. Kehittämissuhteet soveltuvat hyvin esimerkiksi opinnäytetyöaiheiksi tai yksittäisiksi hankkeiksi kaupungin energiatehokkuus- ja hiilineutraaliustyössä. Kehittämissuhteet perusteluineen on koottu taulukkoon, joka löytyy liitteestä 3.

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Heinolan jätevedenpuhdistamon prosessista tarkasteltiin lähemmin biokaasun tuotantopotentiaalia puhdistamolietteestä sekä lämmön talteenottopotentiaalia jätevedestä. Puhdistamon prosessissa on vuosittain noin 130 000 m<sup>3</sup>:n metaanintuottopotentiaali, joka vastaa noin 865 MWh energiamäärää, sekä 0,4—1,3 MW:n lämpöpumpuilla hyödynnettävissä oleva hukkalämpöpotentiaali.

Tällä hetkellä puhdistamolietteen energiapotentiaali hyödynnetään biokaasuntuotannossa, mutta biokaasulaitos sijaitsee melko kaukana lietteen synty paikalta, ja lietteen kuljetuksesta syntyvät CO<sub>2</sub>-päästöt vähentävät uusiutuvan energian tuotannosta saatavaa hyötyä. Syntyvää biokaasua ei myöskään hyödynnetä Heinolassa, jolloin biokaasuntuotannon ei voida katsoa edistävän kaupungin omia hiilineutraaliustavoitteita. Jäteveden hukkalämpöpotentiaalia ei tällä hetkellä hyödynnetä ollenkaan.

Jäteveden energiapotentiaali on tunnistettu maailmanlaajuisesti, eikä jätevesien määrä tule lähitulevaisuudessa olennaisesti vähenemään. Lämmön talteenottojärjestelmien käyttö lisääntyy vuosittain sekä Suomessa että muualla maailmassa, ja tekniikan edelleen kehittyessä myös pienet jätevedenpuhdistamot

mot saavat optimaalisilla ratkaisuilla huomattavaa hyötyä jäteveden hukkalämmön talteenotosta. Myös Heinolassa jäteveden hukkalämmön talteenotto kannattaa käynnistää etsimällä puhdistamoa parhaiten palveleva ratkaisu.

Biokaasuntuotannossa puhdistamoliete on vain yksi syöte muiden joukossa, ja melko suuri osuus Suomen puhdistamolietteistä hyödynnetään jo nykyisellään biokaasusyötteenä. Biokaasuntuotannon kasvattamiseksi uusia syötteitä tulisi etsiä muualta, erityisesti maataloudesta ja elintarviketeollisuuden sivuvirroista. Tarpeet biokaasuntuotannon lisäämiseen, puhdistamolietteen käsittelypaikan siirtämiseen lähemmäksi syntypaikkaa sekä paikallisen uusiutuvan energian käytön lisäämiseen voivat kokonaisuutena edesauttaa uusien syötteiden löytämistä ja johtaa uusien biokaasulaitosten rakentamiseen.

Työn aihealue oli erittäin laaja, eikä sen puitteissa ollut mahdollisuutta luoda tarkempia suunnitelmia Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamon energiapotentiaalin hyödyntämiskeinoista. Työssä kuitenkin onnistuttiin vastaamaan sen tavoitteisiin selvittämällä jätevedessä piilevä energiapotentiaali sekä herättämällä keskustelua sen hyödyntämisestä tehokkaammin ja kaupungin hiilineutraalius- ja energiatehokkuustavoitteita mahdollisimman hyvin edistävällä tavalla.



## LÄHTEET

Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S. & Janssen, R. 2008. Biogas handbook. University of Southern Denmark. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf> [viitattu 21.10.2022].

Bachmann, N. 2015. Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants. IEA Bioenergy. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea\\_pdf/reports/iea\\_bio-energy\\_task37\\_wastewater\\_biogas\\_grey.pdf](https://www.nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/reports/iea_bio-energy_task37_wastewater_biogas_grey.pdf) [viitattu 23.10.2022].

Black, P. 2017. How to calculate waste heat recovery. *Process Industry Informer* 28.9.2017. Verkkolehti. Saatavissa: <https://www.processindustryinformer.com/calculate-waste-heat-recovery/#Calculating-waste-heat-flow> [viitattu 18.12.2022].

Durdevic, D., Balic, D. & Frankovic, B. 2019. Wastewater heat utilization through heat pumps: the case study of City of Rijeka. *Journal of Cleaner Production* 231, 207–213. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.235> [viitattu 8.1.2023].

Etelä-Suomen aluehallintovirasto. 2014. Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamon ympäristöluvan lupamääräysten tarkistaminen. Pätös nro 202/2014/2. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://ylupa.avi.fi/fi-FI/asia/851056> [viitattu 18.11.2022].

Euroopan komissio. 2019. Komission tiedonanto. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0003.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF) [Viitattu 27.7.2022].

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001.

Gaia Consulting. 2022. Lämmöntalteenoton energiatase kaupungissa ja vaikutus jätevesien käsittelyyn – yhteenveto. Hankkeen loppuraportti. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.hsy.fi/globalassets/ymparistotieto/projektisivustot-ja-hanke-esittelyt/tiedostot/jatevesilampo/tp6\\_loppuraportti.pdf](https://www.hsy.fi/globalassets/ymparistotieto/projektisivustot-ja-hanke-esittelyt/tiedostot/jatevesilampo/tp6_loppuraportti.pdf) [viitattu 7.12.2022].

Heinolan kaupunki. 2019. Toimintasuunnitelma energiankäytön tehostamiseksi vuosille 2017–2025. Päivitetty 14.3.2022. Organisaation sisäinen lähde.

Heinolan kaupunki. 2022a. Hyvä kasvaa Heinolassa – Strategia 2030. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.heinola.fi/wp-content/uploads/2022/05/Strategian-paivitys\\_valtuusto16052022.pdf](https://www.heinola.fi/wp-content/uploads/2022/05/Strategian-paivitys_valtuusto16052022.pdf) [viitattu 12.8.2022].

Heinolan kaupunki. 2022b. Ilmastopositiivinen Heinola 2030 – Heinolan ilmastotiekartta HIT. Powerpoint-diasarja. Organisaation sisäinen lähde.

Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY 2021. Jätevedenpuhdistus pääkaupunkiseudulla 2020. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://julkaisu.hsy.fi/jatevedenpuhdistus-paakaupunkiseudulla-2020.html> [viitattu 9.12.2022].

Hepbasli, A., Biyik, E., Ekren, O., Gunerhan, H. & Araz, M. 2014. A key review of wastewater source heat pump (WWSHP) systems. *Energy Conversion and Management* 88, 700–722. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org.ezproxy.xamk.fi/10.1016/j.enconman.2014.08.065> [viitattu 8.1.2023].

Härkönen, M. 2022. Lämpöpumput. Luentomuistiinpanot. Centria-ammattikorkeakoulu.

Ilmastolaki 22.5.2015/609.

Joensuun vesi Oy. s.a. Energiaa jätevedestä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.joensuunvesi.fi/energiaa-jatevedesta#ots1> [viitattu 9.12.2022].

Juhila, K. s.a. Teemoittelu. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Saatavissa: <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/> [viitattu 2.1.2023].

Kymäläinen, M. 2015. Anaerobinen hajoaminen ja sen hallinta biokaasureaktiorissa. Teoksessa Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (toim.) 2015. Biokaasuteknologia - Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-771-1> [viitattu 21.10.2022].

Lahti Aqua 2022. Lahti Energian ja Lahti Aquan kiertotaloushanke: Uudet lämpöpumput saapuivat heinäkuussa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://lahtiaqua.fi/uutiset/lahti-energian-ja-lahti-aquan-kiertotaloushanke-uudet-lampopumput-saapuivat-heinakuussa/> [viitattu 9.12.2022].

Laitinen, J., Nieminen, J., Saarinen, R. & Toivikko, S. 2014. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT). Ympäristöministeriö. Suomen Ympäristö-julkaisu 2014:3. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/43199/SY\\_3\\_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/43199/SY_3_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 18.11.2022].

Lampinen, A. 2015. Biokaasun käsittely ja hyödyntäminen. Teoksessa Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (toim.) 2015. Biokaasuteknologia – Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeen ammattikorkeakoulun e-julkaisu 2015:36. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-771-1> [viitattu 21.10.2022].

Latvala, M. 2009. Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT). Suomen ympäristökeskuksen julkaisu 2009:24. PDF-dokumentti. Saatavissa [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37998/SY\\_24\\_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37998/SY_24_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 21.10.2022].

- Lehtomäki, A., Paavola, T., Luostarinen, S. & Rintala, J. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopiston Bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/47694/978-951-39-3075-2.pdf?sequence> [viitattu 5.12.2022].
- Luonnonvarakeskus s.a. Biokaasulaskuri. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://maatalousinfo.luke.fi/fi/laskurit/biogas> [viitattu 30.11.2022].
- Maailman luonnonsäätiö s.a. Ilmastonmuutos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/> [viitattu 29.11.2022].
- Motiva Oy. 2018. Lämmön talteenoton ratkaisut vesihuoltolaitoksilla. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.slideshare.net/MotivaOy/energiatehokas-vesihuoltolaitos-Immntalteenoton-ratkaisut-vesihuoltolaitoksilla> [viitattu 27.11.2022].
- Motiva Oy. 2023. Uusiutuva energia. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia) [viitattu 15.1.2023].
- Nagpal, H., Spriet, J., Murali M. K. & McNabola A. 2018. Heat recovery from wastewater – a review of available resource. *Water* 1274. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/w13091274> [viitattu 18.12.2022].
- Oilon Oy. s.a. ChillHeat teollisuuslämpöpumput ja vedenjäähdyttimet. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://oilon.com/wp-content/uploads/2020/03/Oilon\\_ChillHeat\\_FI.pdf](https://oilon.com/wp-content/uploads/2020/03/Oilon_ChillHeat_FI.pdf) [viitattu 18.12.2022].
- Ojasalo, K., Moilanen, T. & Ritalahti, J. 2015. Kehittämistyön menetelmät. 3.—4. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy. E-kirja. Saatavissa: <https://kaakuri.finna.fi/> [viitattu 2.1.2023].
- Oulun Vesi. s.a. Jätevedenpuhdistus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/oulu/oulu-vesi/jatevedenpuhdistus> [viitattu 9.12.2022].
- Pochwala, S. & Kotas, P. 2018. Possibility of obtaining wastewater heat from a sewage treatment plant by the means of a heat pump – a case study. *E3S Web of Conferences* 44. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400144> [viitattu 8.1.2023].
- Päijät-Hämeen liitto. 2021. Päijät-Hämeen ilmastotiekartta. WWW-dokumentti. Päivitetty 16.2.2022. Saatavissa: <https://paijat-hame.fi/ilmastotiekartta/> [viitattu 3.12.2022].
- Riihimäki, M., Mahal, K., Suoniemi, J., Nurmio, J., Marttinen, S., Pyykönen, V. & Winquist, E. 2014. Biokaasulaskurin käyttöohje. Käytännön ohjeita biokaasulaitosinvestointia harkitsevalle. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://docplayer.fi/712940-Biokaasulaskurin-kayttoohje-kaytannon-ohjeita-biokaasulaitosinvestointia-harkitsevalle.html> [viitattu 5.12.2022].
- Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. 2021. Biokaasun tuotanto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://biokierto.fi/biokaasu/tuotanto/> [viitattu 28.12.2022].

Suomen ympäristökeskus. 2019. Hinku-verkosto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hiilineutraalisuomi.fi> [viitattu 3.12.2022].

Tilastokeskus. s.a. Fossiiliset polttoaineet. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.stat.fi/meta/kas/fossiiliset\\_pol.html](https://www.stat.fi/meta/kas/fossiiliset_pol.html) [viitattu 15.1.2023].

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2018. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi Oy. E-kirja. Saatavissa: <https://kaakuri.finna.fi/> [viitattu 2.1.2023].

Turun seudun puhdistamo Oy. s.a. Lämpöpumppulaitos. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.turunseudunpuhdistamo.fi/lampopumppulaitos> [viitattu 9.12.2022].

Vaasan sähkö Oy. 2022. Yhdellä investoinnilla hukkalämpöä lähes 2000 omakotitalon tarpeisiin. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sttinfo.fi/tiedote/yhdella-investoinnilla-hukkalampoa-lahes-2-000-omakotitalon-tarpeisiin?publisherId=58661976&releaseld=69945271> [viitattu 9.12.2022].

Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 888/2006.

Vesihuoltolaki 9.2.2001/119.

Vesilaitosyhdistys ry. 2020. Vesihuoltolaitosten tunnuslukujärjestelmän raportti 2019. Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 73. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.vvy.fi/ohjeet-ja-julkaisut/hallinto-ja-talous/tunnuslukuraportti-2019/> [viitattu 1.10.2022].

Vesilaitosyhdistys ry. 2021. Yhdyskuntalietteen käsittelyn ja hyödyntämisen nykytilannekatsaus vuosilta 2019—2020. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 71. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.vvy.fi/site/assets/files/4691/yhdyskuntalietteen\\_kasittelyn\\_ja\\_hyodyntamisen\\_nykytilannekatsaus\\_2021.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/4691/yhdyskuntalietteen_kasittelyn_ja_hyodyntamisen_nykytilannekatsaus_2021.pdf) [viitattu 28.12.2022].

Virolainen-Hynnä, A. 2020. Biokaasun tuotanto ja käyttö Suomessa 2030. Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:n julkaisuja. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/06/Biokaasu2030\\_raportti\\_17062020.pdf](https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2020/06/Biokaasu2030_raportti_17062020.pdf) [viitattu 28.12.2022].

Yhdistyneet kansakunnat. 2015. Transforming our world: The Agenda 2030 for sustainable development. Yleiskokouksen päätöslauselma 25.9.2015. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://kestavakehitys.fi/agenda-2030> [viitattu 28.7.2022].

Ympäristöministeriö s.a. Pariisin ilmastopöytäkirja. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/pariisin-ilmastopöytäkirja> [viitattu 28.7.2022].

Ympäristöministeriö. 2022. Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma. Ympäristöministeriön julkaisuja 2022:12. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-262-4> [viitattu 29.11.2022].

Åkerberg, A. 2022. Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamon vuosiyhteenveto 2021. Kymijoen Vesi ja Ympäristö ry. PDF-dokumentti. Organisaation sisäinen lähde.

**Liite 1. Kyselylomake****Energian talteenotto jäteveden puhdistusprosessista** Pakolliset kysymykset merkitty tähdellä (\*)

Mikäli toiminta-alueellanne on useampia jätevedenpuhdistamoja, täytättehän jokaisesta laitoksesta oman kyselylomakkeen.

Huomioitthän, että joillakin vastauksilla saattaa olla vaikutusta kyselyn etenemiseen. Tämän vuoksi kysymykset tai sivut eivät välttämättä ole numerojärjestyksessä.

**1. Edustamanne jätevedenpuhdistamon nimi ja sijaintikunta \***

---

---

---

---

---

**2. Edustamanne jätevedenpuhdistamon jäteveden virtaamat vuonna 2021 (m<sup>3</sup>/vuosi)**Laskutettu vesimäärä m<sup>3</sup>/vuosi

---

Puhdistettu vesimäärä yhteensä m<sup>3</sup>/vuosi

---

**3. Onko edustamallanne jätevedenpuhdistamolla käytössä jonkinlainen energian talteenottomenetelmä/-menetelmiä? \*** Kyllä Ei

Mikäli vastasitte ei, siirrytte automaattisesti kysymykseen 12.

**4. Mitä energian talteenottomenetelmiä edustamallanne jätevedenpuhdistamolla on käytössä? Valitkaa kaikki sopivat vaihtoehdot.**

- Lämmön talteenotto jätevedestä
- Lämmön talteenotto poistoilmasta
- Biokaasun tuotanto puhdistamolietettä mädättämällä  
(tarkentakaa lietteen määrä tonnia/vuosi) \_\_\_\_\_
- Aurinkoenergian hyödyntäminen aurinkopaneeleilla
- Muu, mikä? \_\_\_\_\_

**5. Voitte halutessanne tarkentaa edustamanne jätevedenpuhdistamon energian talteenottomenetelmiä tähän.**

---



---



---



---



---

**6. Milloin energian talteenotto on edustamallanne jätevedenpuhdistamolla alkanut?**

- Vuonna 2020 tai aiemmin
- Vuonna 2021, ajankohta: \_\_\_\_\_
- Vuonna 2022, ajankohta: \_\_\_\_\_
- Käynnistymässä vuonna 2023

**7. Kuinka paljon edustamallanne jätevedenpuhdistamolla tuotettiin energiaa vuonna 2021 (MWh/a) käytössä olevilla talteenottomenetelmillä?**

Lämmön talteenotto jätevedestä \_\_\_\_\_

Lämmön talteenotto poistoilmasta \_\_\_\_\_

Biokaasun tuotanto puhdistamolietettä mädättämällä \_\_\_\_\_

Aurinkoenergian hyödyntäminen aurinkopaneeleilla \_\_\_\_\_

Muut menetelmät \_\_\_\_\_

**8. Kuinka paljon arvioitte edustamallanne jätevedenpuhdistamolla tuotettavan energiaa vuonna 2022 (MWh/a) käytössä olevilla talteenottomenetelmillä?**

Lämmön talteenotto jätevedestä \_\_\_\_\_

Lämmön talteenotto poistoilmasta \_\_\_\_\_

Biokaasun tuotanto puhdistamolietettä mädättämällä \_\_\_\_\_

Aurinkoenergian hyödyntäminen aurinkopaneeleilla \_\_\_\_\_

Muut menetelmät \_\_\_\_\_

**9. Miten edustamallanne jätevedenpuhdistamolla hyödynnetään talteen otettu energia? Valitkaa kaikki sopivat vaihtoehdot.**

- tuottamalla sähköä oman laitoksen prosesseihin
- suorana lämpönä oman laitoksen prosesseissa
- oman laitoksen tilojen lämmittämiseen
- myymällä sähköä ulkopuoliseen verkkoon
- myymällä lämpöä ulkopuoliseen verkkoon
- muulla tavalla, miten? \_\_\_\_\_

**10. Voitte halutessanne tarkentaa edustamanne jätevedenpuhdistamon energian hyödyntämiskeinoja tähän.**

\_\_\_\_\_



**11. Millä tavoin energian talteenottojärjestelmien hankinta on edustamallanne jätevedenpuhdistamolla rahoitettu? Valitkaa kaikki sopivat vaihtoehdot.**

- kunnan/kuntayhtymän varoilla
  - valtion hankerahoituksella
  - yksityisen yhteistyökumppanin varoilla
  - julkisen yhteistyökumppanin varoilla
  - muulla rahoituksella, millä?
- 

**12. Onko edustamallanne jätevedenpuhdistamolla harkittu energian talteenottomenetelmien käyttöönottoa?**

- Kyllä
- Ei

**13. Mikäli on harkittu, mutta ei ole toteutettu, miksi ei?**

---

---

---

---

---

**14. Haluaisitteko kertoa aiheeseen liittyen jotakin muuta, tai lähettää terveisiä tutkimuksen tekijälle?**

---

---

## Liite 2. Biokaasulaskurin yhteenveto

### Yhteenveto biokaasulaitossuunnitelmasta

|   |          |                            |
|---|----------|----------------------------|
| Syötteen                                |          |                            |
| Syötelista                              |          |                            |
| Yhdyskuntien jätevesiliete              | 2 687    | t/a                        |
| Syötteen yhteensä                       |          |                            |
| Yhteismäärä                             | 3 426    | t/a                        |
| Kuiva-aineen määrä                      | 685      | t/a                        |
| Kuiva-ainepitoisuus                     | 20,00    | %                          |
| Laimennusveden määrä                    | 739      | m <sup>3</sup> /a          |
| Tekniikka                               |          |                            |
| Reaktori                                |          |                            |
| Orgaaninen kuormitus                    | 2,05     | kg VS / (m <sup>3</sup> d) |
| Reaktorin viipymä                       | 35       | d                          |
| Reaktorin nestetilavuus                 | 557      | m <sup>3</sup>             |
| Varastointitilan tarve                  |          |                            |
| Separoitu nestejäte                     | 2 447    | m <sup>3</sup>             |
| Separoitu kuivajäte                     | 680      | m <sup>3</sup>             |
| Energia                                 |          |                            |
| Yleistiedot                             |          |                            |
| Biokaasun energiasisältö                | 864 664  | kWh                        |
| Kaasuteho                               | 99       | kW                         |
| Tuotetun biokaasun/raakakaasun tilavuus | 129 913  | m <sup>3</sup>             |
| Sähköteho (CHP)                         | 26       | kW (sähkö)                 |
| Lämpöteho (CHP)                         | 52       | kW (lämpö)                 |
| Lämpöteho (lämpökattila)                | 13       | kW (lämpö)                 |
| Lämmön tuotanto                         |          |                            |
| Tuotettu määrä                          | 565 922  | kWh                        |
| Laitoksen kulutus                       | 105 338  | kWh                        |
| Oman yrityksen kulutus                  | 406 000  | kWh                        |
| Myyntipotentiaali                       | 54 584   | kWh                        |
| Sähkön tuotanto                         |          |                            |
| Tuotettu määrä                          | 227 839  | kWh                        |
| Laitoksen kulutus                       | 74 202   | kWh                        |
| Oman yrityksen kulutus                  | 773 000  | kWh                        |
| Myyntipotentiaali                       | -619 363 | kWh                        |
| Biokaasun käyttö/myynti raakakaasuna    |          |                            |

|   |        |                     |
|---|--------|---------------------|
| Raakakaasun energiasisältö                                      | 0      | kWh                 |
| <b>Biometaani</b>   |        |                     |
| Puhdistetun kaasun energiasisältö                               | 0      | kWh                 |
| Tuotettu määrä kiloina  | 0      | kg                  |
| <b>Ravinteet</b>  |        |                     |
| Nestejae  | 2 949  | t                   |
| Kuiva-aine  | 9,99   | %                   |
| Kokonaistyyppi (N)  | 8,12   | kg / t (tuorepaino) |
| Liukoinen tyyppi  | 3,45   | kg / t (tuorepaino) |
| Fosfori (P)   | 3,62   | kg / t (tuorepaino) |
| Kalium (K)  | 1,62   | kg / t (tuorepaino) |
| Kuivajae  | 328    | t                   |
| Kuiva-aine  | 73,55  | %                   |
| Kokonaistyyppi (N)  | 17,14  | kg / t (tuorepaino) |
| Liukoinen tyyppi  | 4,65   | kg / t (tuorepaino) |
| Fosfori (P)   | 13,32  | kg / t (tuorepaino) |
| Kalium (K)  | 1,80   | kg / t (tuorepaino) |
| Liukoisen tyypin lisääntyminen biokaasuprosessissa              | 4 991  | kg                  |
| <b>Tuotot</b>   |        |                     |
| <b>Energia</b>  |        |                     |
| Korvaushyöty sähkön omasta käytöstä                             | 8 604  | €/a                 |
| Korvaushyöty lämmön omasta käytöstä                             | 26 390 | €/a                 |
| Sähköenergian myynti  | 0      | €/a                 |
| Lämpöenergian myynti  | 0      | €/a                 |
| Liikennepolttoaineen myynti jakelijan kautta                    | 0      | €/a                 |
| Siirto ja myynti kaasuna  | 0      | €/a                 |
| <b>Porttimaksulliset syötteet</b>                               |        |                     |
| Porttimaksullinen syöte   | 0      | €/a                 |
| <b>Käsittelyjäännöksen lannoitusarvo</b>                        |        |                     |
| Liukoisen tyypin lisääntyminen                                  | 0      | €/a                 |
| Tuotot yhteensä   | 34 994 | €/a                 |
| <b>Kustannukset</b>   |        |                     |
| <b>Syötteet ja käsittelyjäännös</b>                             |        |                     |
| Kuivajakeen separointi syötteenä ja käsittely                   | 0      | €/a                 |
| Kiinteän raaka-aineen jatkokäsittely, esim. murskaus ja lastaus | 0      | €/a                 |

|  |         |     |
|--|---------|-----|
| Lietemäisen raaka-aineen jatkokäsittely                | 0       | €/a |
| Raaka-aineen kuljetus                                  | 0       | €/a |
| Käsittelyjäännöksen rahti ja levitys                   | 0       | €/a |
| Ostohyödykkeet   |         |     |
| Ostosähkö  | 0       | €/a |
| Kemikaali- ja käyttövesikustannukset                   | 0       | €/a |
| Ylläpito-, huolto- ja korjauskustannukset              |         |     |
| CHP  | 2 962   | €/a |
| Liikennekaasun jalostus                                | 0       | €/a |
| Tankkausasema  | 0       | €/a |
| Laitoksen muu tekniikka ja rakenteet m.L. kaasukattila | 4 806   | €/a |
| Hygienisointiyksikkö                                   | 1 014   | €/a |
| Konetyö  | 0       | €/a |
| Päivittäinen työ (tarkastus + pienet korjaukset)       | 5 840   | €/a |
| Hallinnollinen työ                                     | 2 000   | €/a |
| Vakuutukset ja muut kulut                              |         |     |
| Vakuutus   | 2 818   | €/a |
| Muu kustannus  | 0       | €/a |
| Kustannukset yhteensä                                  | 19 439  | €/a |
| Investoinnit   |         |     |
| Investointihinta ilman tukea (alv 0 %)                 |         |     |
| Biokaasulaitos (sis. lämpökattilan)                    | 456 400 | €   |
| CHP-yksikkö  | 57 800  | €   |
| Kaasun puhdistus ja paineistus                         | 0       | €   |
| Tankkausasema  | 0       | €   |
| Käsittelyjäännöksen separointi ruuvipuristimella       | 49 300  | €   |
| Separoidun kuivajakeen varastointi                     | 0       | €   |
| Investointi ilman tukea yhteensä                       | 563 500 | €   |
| Investointikustannus tuen jälkeen (alv 0 %)            |         |     |
| Tuki   | 40      | %   |
| Tuen määrä   | 225 400 | €   |
| Investointikustannus tuen jälkeen                      | 338 100 | €   |
| Kannattavuus   |         |     |
| Annuiteettimenetelmä                                   |         |     |
| Laskentakorkokanta                                     | 4       | %   |

|  |         |   |
|--|---------|---|
| Investoinnin annuiteetti tuki huomioiden | -32 254 | € |
| Kate                                     | 15 554  | € |
| Tulos                                    | -16 699 | € |
| Takaisinmaksuajan menetelmä              |         |   |
| Takaisinmaksuaika tuki huomioiden        | 21,74   | a |

### Liite 3. Kehittämisehdotukset

| <b>Energiakatselmus ja lämmön talteenoton suunnittelu</b>                    |  |
|--|--|
| <b>Perustelut</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Jätevedenpuhdistamon energiakatselmuksen toteuttaminen sekä katselmuksen perusteella annettujen energiansäästösuositusten toteuttaminen on erinomainen lähtökohta puhdistamokokonaisuuden energiataseen arvioinnille.</li> <li>Energiakatselmuksen tulosten perusteella on helpompi arvioida esimerkiksi lämmön talteenottolaitteiston mitoitus, todellinen hyöty sekä kustannukset.</li> <li>Sekä energiakatselmuksen toteuttamiseen että lämmön talteenottojärjestelmän investointikustannuksiin on mahdollista hakea Työ- ja elinkeinoministeriöltä valtion energiatukea.</li> </ul>   |
| <b>Yhteys Heinolan ilmasto- ja energia-<br/>tehokkuus-<br/>tavoitteisiin</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Heinolan kaupungin KETS-sopimukseen liittyvään toimintasuunnitelmaan on kirjattu toimenpiteeksi jätevedenpuhdistamon energiakatselmus, ja tätä työtä kirjoitettaessa katselmus on suunnitteilla.</li> <li>Toimella vastataan Heinolan ilmastotiekartan tavoitteeseen ”kaukolämmön kehittäminen ja hukkalämmön hyödyntäminen” energiaratkaisut-teeman alla.</li> </ul>   |
| <b>Aurinkoenergian hyödyntäminen</b>   |  |
| <b>Perustelut</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Jätevedenpuhdistamon sähköenergian tarve on ympäri vuoden melko tasainen. puhdistusprosessin hukkalämmön määrä lisääntyy kesäaikaan, mutta sähköntarpeeseen sillä ei pystytä vastaamaan. Sähköä kuluu paljon myös kesällä, ja siksi puhdistamo on erinomainen kohde aurinkoenergian hyödyntämiselle.</li> <li>Aurinkoenergian avulla pystytään edistämään hiilineutraaliustavoitteita lisäämällä uusiutuvan energian käytön osuutta ja vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjä.</li> <li>Itse tuotetulla sähköenergialla vähennetään ostoenergian tarvetta ja säästetään sekä energia- että sähkönsiirtomaksuissa.</li> <li>Valtiolla on useampia erilaisia rahoituskanavia, joiden kautta on mahdollista hakea tukea uusiutuvan energian käytön lisäämiseksi kunnassa.</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
| <b>Yhteys Heinolan ilmasto- ja energia-<br/>tehokkuus-<br/>tavoitteisiin</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toimella vastataan Heinolan ilmastotiekartan tavoitteeseen ”tuuli- ja aurinkoenergian edistäminen” energiaratkaisuteeman alla.</li> <li>• Toimella vastataan KETS-toimintasuunnitelman toimenpidetavoitteeseen ”Kaupunki ottaa mahdollisuuksien mukaan käyttöön uusiutuvia energianlähteitä rakennuksissa ja muissa energiaa kuluttavissa kohteissa”.</li> </ul>   |
| <b>Biokaasulaitoksen jatkoselvitys</b>                                       |   |
| <b>Perustelut</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jätevesilietteilteille olisi sekä talouden että päästöjen kannalta ehdottoman järkevää löytää jatkokäsittelypaikka nykyistä ratkaisua lähempää.</li> <li>• Lietteitä pystyttäisiin hyödyntämään Heinolan Ilmastotiekarttaan kirjattujen tavoitteiden edistämiseen osana suurempaa biokaasun tuotantokokonaisuutta.</li> <li>• Uusien biokaasusyötteiden löytäminen edistäisi biokaasuntuotantoa myös kansallisten tavoitteiden mukaisesti.</li> </ul>                  |
| <b>Yhteys Heinolan ilmasto- ja energia-<br/>tehokkuus-<br/>tavoitteisiin</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toimella vastataan Heinolan ilmastotiekartan tavoitteeseen ”Vihreän kasvun biokylä” bio- ja kiertotalous-teeman alla. Tavoitteen toimenpide-ehdotuksiin on kirjattu biojalostamoinvestoinnit sekä biomassojen käytön lisääminen.</li> <li>• Heinolan ilmastotiekartassa on myös ”Kestävän liikku-<br/>misen ja logistiikan hubi”-tavoite liikenne ja logistiikka-<br/>teeman alla, jonka toimenpide-ehdotuksena on saada Heinolaan biokaasun tankkauspiste.</li> </ul> |
| <b>Jätevedenpuhdistamon hiilijalanjäljen laskeminen</b>                      |   |
| <b>Perustelut</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamon hiilijalanjäljen laskeminen on ensimmäinen askel sille, miten puhdistamoon kohdistettavien toimenpiteiden vaikutusta pystytään mittaamaan myös ilmastonäkökulmasta.</li> </ul>   |
| <b>Yhteys Heinolan ilmasto- ja energia-<br/>tehokkuus-<br/>tavoitteisiin</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heinolan ilmastotiekartassa määritellään toimenpiteiden vaikuttavuuden yhdeksi keskeiseksi mittariksi hiilijalanjäljen laskeminen. Ilmastotiekarttaan liittyvien toimenpiteiden vaikuttavuutta arvioidaan laskemalla, kuinka paljon ne pienentävät hiilijalanjälkeä.</li> </ul>  |

| <b>Vesihuollon muiden vaiheiden energiatarjonta</b>                |  |
|--|--|
| <b>Perustelut</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Jäteveden käsittely on vain yksi osa vesihuollon kokonaisuutta. Vesihuollon energiatehokkuutta olisi hyvä tarkastella myös raakaveden pumppauksen, talousveden valmistuksen sekä pumppauksen osalta niin talousvesi- kuin jätevesiverkostossakin.</li> </ul>  |
| <b>Yhteys Heinolan ilmasto- ja energia-tehokkuus-tavoitteisiin</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vastataan KETS-toimintasuunnitelman toimenpiteeseen ”selvitetään energian säästämismahdollisuudet toimissa, joiden energiankäyttö tai energiansäästö-potentiaali on huomattava”</li> </ul>  |
| <b>Hulevesien käsittelyn tehostaminen</b>                          |  |
| <b>Perustelut</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hulevesien jäädyttämistä jätevedestä saadaan myös vähemmän hukkalämpöä talteen.</li> <li>Hulevesien käsittelyn tehostamisella saavutettaisiin erilaisia energia- ja ympäristöhyötyjä jäteveden puhdistuksen näkökulmasta.</li> <li>Heinolan kaupungin jätevedenpuhdistamolle tulevasta jätevedestä lähes puolet on hulevettä. Hulevedet kasvattavat puhdistamon kuormitusta ja energiankulutusta sekä laskevat jäteveden lämpötilaa.</li> <li>Jäteveden viilenemisestä aiheutuu typpipölyn tehokkuuden heikkenemistä aktiivilieteprosessissa erityisesti kylmään vuodenaikaan ja lumien sulassa.</li> </ul> |
| <b>Yhteys Heinolan ilmasto- ja energia-tehokkuus-tavoitteisiin</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Puhdistettavan jätevesimäärän väheneminen vähentää suoraan jätevedenpuhdistamon energiankulutusta. Toimella on siis suora vaikutus KETS-sopimuksen päätavoitteeseen, energiankulutuksen vähentämiseen.</li> <li>Toimella vastataan KETS-toimintasuunnitelman toimenpiteeseen ”selvitetään energiansäästämismahdollisuudet toimissa, joiden energiankäyttö tai energiansäästö-potentiaali on merkittävä”.</li> </ul>   |