

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto

Ari Heiskanen

MATKALLA ENERGIA-OMAVARAISEEN JÄTEVEDENPUHDIS-
TUKSEEN, CASE KUHASALO JOENSUU

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2015

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenneluettelo

1	Johdanto	7
2	Lähtökohtia energiaomavaraisuuden parantamiselle	9
2.1	Kansallinen lainsäädäntö, sopimukset, strategiat ja EU-säädökset	10
2.1.1	Kuntien energiatehokkuussopimus	10
2.1.2	Kansallinen energia- ja ilmastostrategia	11
2.1.3	Ympäristönsuojelulaki	11
2.1.4	Valtioneuvoston periaatepäätös (Cleantech)	12
2.1.5	EU:n energiansäästötavoitteet	12
2.1.6	Suomen biotalousstrategia	13
2.2	Alueelliset ja maakunnalliset ohjelmat ja strategiat	14
2.2.1	INKA –ohjelma	14
2.2.2	Joensuun kaupungin ilmasto-ohjelma	15
2.2.3	Joensuun kestävä energian toimintasuunnitelma	15
2.2.4	Pohjois-Karjalan ilmasto- ja energia-ohjelma	16
2.2.5	Pohjois-Karjalan maakuntasuunnitelma ja –ohjelma	16
3	Energian kulutus jätevedenpuhdistuksessa	17
3.1	Energiankulutus käsiteltyä jätevesimäärää kohden	18
3.2	Energiankulutus poistettua BOD –kuormitusta kohden	20
3.3	Energiankulutus OCP –indeksiä kohden	21
3.4	Jäteveden ilmastuksen energiankulutus	23
3.4.1	Ilmastimien toimintaperiaatteet	25
3.4.2	Esisaostus	26
3.5	Lietteen termisen käsittelyn energiankulutus	27
3.6	Muu energiankulutus	28
4	Energian tuotanto jätevedenpuhdistuksessa	30
4.1	Biokaasun tuotanto	31
4.2	Biokaasun laatu ja ominaisuudet	33
4.3	Mädätyksen rejektivedet	36
4.4	Biokaasun tuotannon tehostaminen	37
4.5	Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto biokaasusta (CHP)	39
4.5.1	Kaasumoottori	41
4.5.2	Mikroturbiini	42
4.5.3	ORC	42
4.6	Liikennepolttoaineen valmistus biokaasusta	43
4.7	Lietteen poltto	46
4.8	Lämpöpumppu	47
5	Opinnäytetyön tarkoitus ja tehtävä	48
5.1	Kehittämisteeman rajausta	50
5.2	Kehittämisteeman tunnistetut ongelmat	50
6	Työn toteutus	51
6.1	Tapaustutkimus (Case study)	51
6.2	Työssä käytetyt tutkimusmenetelmät	52

7	Kuhasalon jätevedenpuhdistamon energiatalous	53
7.1	Energian kulutus	54
7.1.1	Energiankulutus käsiteltyä jätevesimäärää kohden.....	54
7.1.2	Energiankulutus poistettua BOD -kuormitusta ja OCP -indeksiä kohden	55
7.1.3	Jäteveden ilmastuksen energiankulutus	56
7.1.4	Lietteen termisen kuivauksen energiankulutus.....	58
7.1.5	Muu energiankulutus	59
7.2	Energian tuotanto.....	59
7.2.1	Biokaasun tuotanto	60
7.2.2	Kaasumoottori, yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto (CHP)	62
7.2.3	Lämpölaitos	65
7.2.4	Lämpöpumppulaitos	66
8	Mahdollisuudet Kuhasalon jätevedenpuhdistamon energiaomavaraisuuden kehittämiseen.....	68
8.1	Ilmastuksen energiatehokkuuden parantaminen.....	69
8.2	Biokaasun kokonaisvaltainen hyödyntäminen.....	70
8.2.1	Tuotantotuki	71
8.2.2	Yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon kehittäminen	73
8.2.3	Mädättämön toiminnan tehostaminen	75
8.2.4	Liikennepolttoaineen jalostus	77
8.2.5	Sisäisen kuormituksen hallinta (rejektivedet)	80
8.2.6	Valtion tuki energiahankkeisiin	82
9	Energiataseet ja kustannuslaskelmat.....	83
9.1	Energiatase lähtötilanteessa	83
9.2	Energiatase nykytilanteessa.....	84
9.3	Energiatase kehittämisvaihtoehdossa VE 1	85
9.3.1	Kustannuslaskelma VE 1a	87
9.3.2	Kustannuslaskelma VE 1b	87
9.4	Energiatase kehittämisvaihtoehdossa VE 2	89
9.4.1	Kustannuslaskelma VE 2	89
10	Pohdinta.....	90
10.1	Laadullisen tutkimuksen luotettavuus.....	90
10.2	Opinnäytetyön eettisyys	92
10.3	Kehittämistoimet osana alueellista viitekehystä	92
10.4	Vaikuttavuus.....	94
10.5	Työhön liittyviä näkökulmia ja pohdintaa	94
	Lähteet	96

Liitteet

- Liite 1 Energiatase lähtötilanteessa
- Liite 2 Energiatase nykytilanteessa
- Liite 3 Energiatase kehittämisvaihtoehdossa VE1
- Liite 4 Energiatase kehittämisvaihtoehdossa VE2
- Liite 5 Puhdistamolla mitatut energiatiedot, 5 sivua

**OPINNÄYTETYÖ****Kesäkuu 2015****Ympäristöteknologia**Ylempi ammattikorkeakoulutut-
kinto

Sirkkalantie 12 A

80100 JOENSUU

013-260 6900

Tekijä

Ari Heiskanen

Nimeke

Matkalla energia-omavaraiseen jätevedenpuhdistukseen, case Kuhasalo Joensuu

Toimeksiantaja: Joensuun Vesi, kunnallinen liikelaitos

Tiivistelmä

Jätevedenpuhdistuksen energiatehokkuudesta on tullut vesihuoltosektorin yksi keskeinen kehittämisen aihe, koska sen energiankulutus on yleensä suurinta. Parhaimmat mahdollisuudet mahdollisimman korkeaan energiaomavaraisuuteen on niillä keskuspuhdistamoilla, joilla on käytössä ylijäämälietteen mädätys ja siten mahdollisuus kokonaisvaltaiseen biokaasun hyödyntämiseen.

Tässä tapaustutkimuksessa on tarkasteltu Joensuun Kuhasalon jäteveden puhdistamon energian kulutusta ja niitä kehittämistoimenpiteitä, joilla puhdistamon energiaomavaraisuutta pystyttäisiin parantamaan. Kuhasalon puhdistamo on suurin Pohjois-Karjalan alueella toimivista yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoista. Vuosittainen käsiteltävä jätevesimäärä on noin 6 miljoonaa m³, ja siitä tuotetaan noin miljoona kuutiota biokaasua. Puhdistamon piiriin liitettyssä viemäriverkostossa on noin 80 000 asukasta.

Kuhasalon puhdistamolla vuonna 2014 käyttöönotettu lämpöpumppulaitos on parantanut merkittävästi puhdistamon lämpöenergian omavaraisuutta. Uusia selkeitä ja taloudellisesti kannattavia kehittämisen kohteita ovat aktiivilietteiden ilmastusjärjestelmän uusiminen, sekä -CHP -laitteiston uusiminen. Biokaasun kokonaisvaltainen hyödyntäminen on tärkeä laitoksen energiataseessa. Tulevaisuuden vaihtoehtona on myös liikennebiokaasun jalostaminen, jonka tuotannolle olisi varma raaka-ainepohja jo olemassa. Kaikilla esitetyillä kehittämistoimilla voidaan alentaa kasvihuonekaasujen määrää merkittävästi, mikä tukee hyvin uusiutuvan energian käyttöön liittyviä alueellisia ohjelmia ja strategioita.

Kieli

suomi

Sivuja 103

Liitteet 5

Asiasanat

jätevesiliete, mädätys, biokaasu, lämpöpumppu

Author

Ari Heiskanen

Title

On the road to self-sufficient energy production in wastewater treatment, case Kuhasalo Joensuu

Commissioned by Joensuun Vesi, municipal public utility

Abstract

Energy efficiency in municipal wastewater treatment has lately risen to be one of the most important developing areas at the water supply and sewerage sector. The energy consumption of wastewater treatment is biggest in the whole water supply and sewerage sector. The best chance to high energy self-sufficiency is in those central wastewater plants, which have an anaerobic sludge treatment and possibilities to utilise biogas as comprehensively as possible.

This case study deals with energy consumption of Kuhasalo wastewater plant in Joensuu and those development activities with which the energy self-sufficiency could be improved. Kuhasalo plant is the biggest municipal wastewater plant in North Karelia. The annual amount of incoming wastewater is about 6 million m³ and the amount of produced biogas is about 1 million m³/ year. The sewer network of the plant comprises 80 000 inhabitants.

The heatpump plant introduced in Kuhasalo in the year 2014 has improved significantly energy self-sufficiency on heat production. New methods, which are clear and economically profitable can be mentioned, and these are: a new activated sludge aeration system and a new CHP plant. Comprehensive utilization of biogas is a key factor in the energy balance of the plant. Future possibilities could be to produce biogas fuel for traffic, because the substance to make biogas in Kuhasalo plant already exists. All these development projects could cut down the amount of greenhouse gases and thus support different regional programs and strategies of renewable energy significantly.

Language

Finnish

Pages 103

Appendices 5

Keywords

anaerobic digestion, sewage sludge, biogas, heatpump,

Lyhenteet

AVL	Asukasvastineluku, 1 AVL = 70 g BOD ₇
BAT	Best Available Techniques, paras käyttökelpoinen tekniikka
BOD	Biological Oxygen Demand, biologinen hapen kulutus BHK
CBG	Compressed Biogas, paineistettu biokaasu
CHP	Combined Heat and Power, yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto
COP	Coefficient Of Performance, lämpökerroin lämpöpumpun hyötysuhteelle
EED	EU:n energiansäästädirektiivi
HSY	Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä
INKA	Innovatiiviset kaupungit -ohjelma
KETS	Kuntien energiatehokkuussopimus
LBG	Liquefied Biogas, nesteytetty biokaasu
OCP	Oxygen Consumption Potential
ORC	Organic Rankine Cycle, orgaanista kiertoainetta käyttävä prosessi
SEAP	Sustainable Energy Action Plan, kestävän energian toimintasuunnitelma
TPAD	Two-phased anaerobic digestion, kaksivaiheinen biokaasuprosessi
TS	Kuiva-ainepitoisuus (total solids)
VAHTI	Ympäristönsuojelun tietojärjestelmä, operatiivinen osa
VS	Orgaaninen kuiva-aine (volatile solids)

1 Johdanto

Joensuun kaupungin Kuhasalon jätevedenpuhdistamo on suurin Pohjois-Karjalan maakunnan alueella toimivista yhdyskuntajätevesien puhdistamoista. Puhdistamolla käsitellään vuosittain jätevettä yli 6 milj. m³, käsittäen yli 80 000 asukkaan sekä viemäriverkostoon liittyneen elinkeinotoimintojen jätevedet. Kuhasalon puhdistamoon johdetaan jätevesiä myös naapurikuntien (Kontiolahti, Liperi ja Polvijärvi) alueilta. Joensuun Vesi vastaa kunnallisena liikelaitoksena jätevedenpuhdistamon toiminnasta.

Kuhasalon puhdistamo on valmistunut vuonna 1975 ja se on laajennettu ja saneerattu nykyiseen laajuuteensa vuonna 1987. Puhdistamon energiaomavaraisuuden kehittämistä ajatellen ensimmäinen askel tapahtui jo vuonna 1987, jolloin nykyiset lietteen mädättämöt otettiin käyttöön ja biokaasun tuotanto alkoi. Biokaasua käytettiin lämmitysaikaan puhdistamon tilojen ja mädättämöiden lämmityksessä ja muuna aikoina tuotanto poltettiin soihdussa taivaalle.

Seuraava energia-omavaraisuuden parantamiseen tähtäävä investointi suoritettiin vuonna 2000, jolloin nykyisin käytössä oleva kaasumoottori-generaattori - yhdistelmä (CHP -laitos) otettiin käyttöön, tuottaen sekä lämpöä, että sähköä. Laitoksen käyttöönoton myötä biokaasua pystyttiin hyödyntämään myös lämmityskauden ulkopuolella.

Tuoreimpana energiainvestointina on huhtikuussa 2014 käyttöön otettu lämpöpumppulaitos, jolla otetaan talteen lämpöenergiaa puhdistetusta jätevedestä. Lämpöpumpuilla tuotettu lämpö käytetään tilojen lämmitykseen, joka taas puolestaan vapauttaa biokaasun ja kevyen polttoöljyn käyttöä lämmityksestä. Lämpöpumppulaitoksen valmistumisen yhteydessä on myös tehostettu puhdistamotilojen ilmanvaihtoa energiatehokkaampaan suuntaan.

Jätevedenpuhdistuksen energiatehokkuuden kehittämistä voi pitää yhtenä keskeisenä tehtäväkenttänä maamme vesihuoltolaitostoiminnassa. Jätevedenpuhdistamoiden energiankulutus on yleensä suurinta ajatellen vesihuoltosektoria

kokonaisuutena. Puhdistamoiden energiaomavaraisuuden kehittämiseen tähtääviin toimiin on käytännössä paras mahdollisuus niillä puhdistamoilla, joilla on käytössä ylijäämälietteen mädättämöt. Mädättämöiden ensisijainen tehtävä on perinteisesti ollut lietteenkäsittely ja samalla on tuotettu biokaasua, mutta sen tuoton ja käytön optimointi ei ole ollut keskiössä. Käsiteltävien lietemäärien kasvaessa ja energiatuotannon kannattavuuden parantuessa, myös kiinnostus lietemädättämön kapasiteetin täysimääräiseen hyödyntämiseen on kasvanut. (Kannisto, Kymäläinen & Salmela 2014, 26.)

Mädättämöitä on aikanaan rakennettu vain suurien kaupunkien puhdistamoille, koska niiden rakentamiskustannukset ovat perinteisesti olleet korkeita. Pienemmillä puhdistamoilla, joilla lietteen mädätystä ei ole käytössä, voimavarat kannattaa suunnata energiatehokkuuden parantamiseen mm. pumppausten, laitteistojen ja ilmanvaihdon energiatehokkuutta parantamalla. Lämpöpumppujen käytöllä voidaan energiatehokkuutta myös parantaa puhdistamotilojen lämmityksen osalta.

Tulevaisuudessa tullaan yhä enemmän kiinnittämään huomiota myös yhdyskuntajätevesilietteen käsittelyssä eri menetelmien energiataloudellisuuteen ja lietteiden hyötykäyttöön energian tuotannossa. (Kangas, Lund, Liuksia, Arnold, Merta, Kajolinna, Carp'en, Koskinen, Ryhänen, Kangas 2011, 7.) Esimerkkinä voi todeta, että HSY (Helsingin seudun ympäristöpalvelut) on asettanut tulevaisuuden strategiaksi energiaomavaraisuuden vuonna 2017 (HSY:n vuosikertomus 2012, 4).

Oma mielenkiintoni tutkimuskohteeseen johtuu siitä, että olen toiminut kyseisen puhdistamon ympäristöluvan valvojana valtion ympäristöhallinnossa. Vesihuoltotekniikka on siten tuttua ja aihepiiriin paneutuminen energiatekniikan näkökulmasta on tuonut siihen lisäarvoa perinteisen vesiensuojelunäkökulman lisäksi. Opinnäytetyön sisällöllinen kokonaisuus on muodostettu yhteistyössä Joensuun Veden johtajan, jätevedenpuhdistamon käyttöpäällikön, sekä ohjaavien opettajien toimesta. Työn tarkoituksena on selvittää niitä kehittämistoimia, joilla Kuhasalon puhdistamon energiaomavaraisuutta ja samalla energiatehokkuutta voidaan nykytilanteesta edelleen parantaa.

Aiempien opintojeni yhteydessä olen tehnyt harjoitustyönä Kuhasalon puhdistamon aine- ja energiatase tarkastelun vuoden 1997 tilanteesta. Harjoitustyön raportissa olen tuolloin tuonut esille laitoksen kehittämistoimena mm. metaanin tehokkaamman hyödyntämisen ilmastusenergian tuotannossa kaasukompressorin avulla. Tässä lopputyössä on ollut mielenkiintoista tarkastella Kuhasalon puhdistamon kehityskaarta tuohon tilanteeseen liki 20 vuotta sitten.



Kuva 1. Kuhasalon jätevedenpuhdistamo (Joensuun Vesi)

2 Lähtökohtia energiaomavaraisuuden parantamiselle

Energiatehokkuuden parantamisessa liikkeelle paneva voima voi olla joko vesi- huoltolaitos tai jokin sen ulkopuolinen taho. Kuntaliitto on 1990-luvulta lähtien pistanut kuntia energiatehokkuussopimusten tekemiseen tai liittymään kuntien energiaohjelmaan. Näin ollen joissakin kunnissa energiansäästöön on kiinnitetty

huomiota jo pitkään ja se on näkynyt myös vesihuoltolaitosten toiminnassa. (Tukiainen 2009, 81.)

Energiankulutuksen hahmottamiseen voidaan käyttää esim. vertailuanalyysiä (benchmarking), jossa tiettyjä energiankulutusta hyvin kuvaavia tunnuslukuja verrataan toisiinsa. Vertailulukuja voidaan muodostaa kokonaisenergiankulutusta tai eri yksikköprosesseja koskien ja niitä voidaan suhteuttaa esim. käsiteltävään jätevesimäärään, liittyjämääriin tai puhdistustuloksiin. (Tukiainen 2009, 81.)

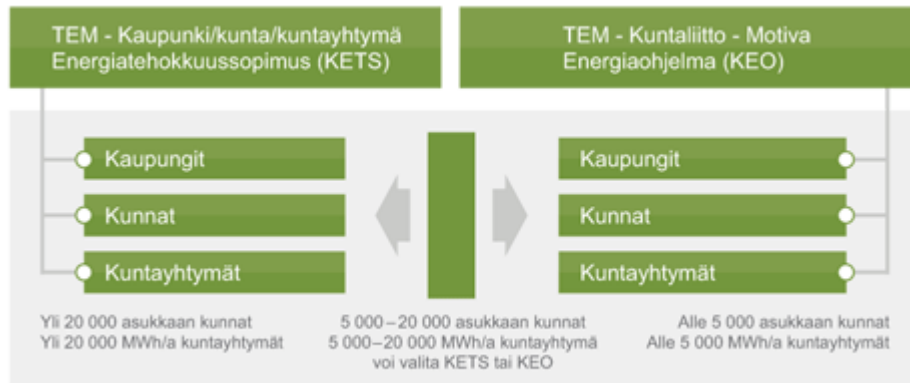
Energiankäytön vähentämisen ja oman energiatuotannon lisäämisen vaikutukset laitoksen toiminnasta syntyviin päästöihin riippuvat aina siitä, millä tavalla tuotettua energiaa tällöin korvataan tai minkä energian käyttöä vähennetään. (Tukiainen 2009, 110.)

Jätevedenpuhdistuksen ilmastovaikutuksia voidaan pienentää parhaiten energiankäytön optimoinnilla ja mädätyksessä syntyvän biokaasun käytön lisäämisellä (Laitinen, Nieminen, Saarinen, Toivikko 2014, 17).

2.1 Kansallinen lainsäädäntö, sopimukset, strategiat ja EU-säädökset

2.1.1 Kuntien energiatehokkuussopimus

Joensuun kaupunki on liittynyt kuntien energiatehokkuussopimukseen (KETS 2008- 2016), jolla pyritään energiatehokkuuden parantamiseen sekä uusiutuvan energian käytön edistämiseen. Tavoitteena on mm. se, että sopimuskauden lopussa vuonna 2016 kaupunki olisi saavuttanut 9 %:n energian säästötavoitteen verrattuna siihen vuoteen, jolloin kunta on liittynyt sopimukseen.



Kuvio 1. Energiatohokkuussopimusten jakaantuminen kuntien asukasmäärän suhteen (<http://www.energiatohokkuussopimukset.fi/fi/sopimusalat/kunta-ala/>).

2.1.2 Kansallinen energia- ja ilmastostrategia

Kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa (TEM, 20.3.2014) on mm. todettu, että julkisen sektorin valtion ja kuntien on syytä ottaa merkittävämpi rooli oman toimintansa, investointiensä ja hankintojen kestävyysedistämässä. Materiaalien ja energian käytön vähentämisellä omassa toiminnassa sekä innovatiivisilla hankinnoilla voidaan ympäristön säästämisen lisäksi säästää verovarvoja ja luoda työpaikkoja. Ohjelman toimenpiteissä kannustetaan julkisen sektorin toimijoita toimimaan edellä kuvatusti sekä siten vähentämään kasvihuonepäästöjä ja parantamaan energiatohokkuutta.

2.1.3 Ympäristönsuojelulaki

1.9.2014 uudistunut ympäristönsuojelulaki on keskeinen jätevedenpuhdistamoiden toimintaa säätelevä laki. Jätevedenpuhdistamot ovat ympäristölupavelvollisia ja niiden toiminnan vaikutuksia ympäristölle säädellään puhdistamokohtaisesti ympäristöluvan lupaehtojen myötä. Uudistunut lainsäädäntö tarkentaa energiatohokkuus -näkökulmaa osana ympäristölupavelvollisten laitosten toimintaa etenkin parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT) vaatimuksen osalta. Ympäris-

tönsuojelulain 27.6.2014/527 5 §:n mukaan sillä tarkoitetaan mahdollisimman tehokkaita ja kehittyneitä, teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisia tuotanto- ja puhdistusmenetelmiä ja toiminnan suunnittelu-, rakentamis-, ylläpito-, käyttö- sekä lopettamistapoja, joilla voidaan ehkäistä toiminnan aiheuttama ympäristön pilaantuminen tai tehokkaimmin vähentää sitä ja jotka soveltuvat ympäristölupamääräysten pohjaksi. Lisäksi ympäristönsuojelulaissa on säädetty, että parhaan käyttökelpoisen tekniikan määrittelyssä huomioon otettavista seikoista säädetään tarkemmin asetuksella. Jätevedenpuhdistamoiden BAT:n soveltamista on käsitelty mm. ympäristöministeriön julkaisusarjassa Suomen ympäristö 3/2014. Lisäksi BAT –raportteja on valmistunut myös biokaasulaitosten (Latvala, 2009) osalta. Jätevedenpuhdistusta koskeva yksityiskohtaisempi BAT –ohjeistus on parhaillaan valmisteilla (Kaloinen 2015).

2.1.4 Valtioneuvoston periaatepäätös (Cleantech)

Valtioneuvoston periaatepäätöksen kestävien ympäristö- ja energiaratkaisujen (cleantech) edistämisestä julkisissa hankinnoissa periaatteena on vähentää energian ja materiaalien käyttöä sekä haitallisia ympäristövaikutuksia julkisissa hankinnoissa tuotteen, palvelun tai rakennuksen koko elinkaaren aikana ja luoda kannusteita uusien cleantech- ratkaisujen syntyyn ja käyttöönottoon. Cleantech- ratkaisut sisältävät muun muassa materiaali- ja energiatehokkuutta parantavia prosesseja tehostavia ratkaisuja. Cleantech- ratkaisujen soveltuvuus on hankinnoissa arvioitava aina tapauskohtaisesti. Tavoitteena on kasvattaa alalle 40 000 uutta työpaikkaa vuoteen 2020 mennessä. (TEM 2014.)

Ympäristöministeri Ville Niinistö on todennut, että tehokkaalla ympäristönsuojelulainsäädännöllä luomme edellytyksiä vihreälle taloudelle ja kysyntää kotimaiselle cleantech –liiketoiminnalle. Hyvä ympäristösäätely luo Suomeen paljon ympäristöliiketoimintaa ja alan työpaikkoja samalla, kun se turvaa kansalaisille puhtaan ympäristön ja luonnon. Hyvän ympäristönsuojelun tason edellyttäminen on vastuullisten, riskienhallintaan, tuottavuuteen ja tuotekehitykseen panostavien yritysten etu. (Ympäristöministeriön tiedote 19.12.2013.)

2.1.5 EU:n energiansäästötavoitteet

EU:n energiansäästötavoite vuoteen 2020 on 20 % vuoden 2005 tilanteeseen nähden. Tavoite liittyy EU:n energiansäästädirektiivin (EED) toimeenpanoon. Suomen osalta tavoite tarkoittaa 310 TWh:n kokonaisenergian kulutusta vuonna 2020. (TEM 2013.)

Eurooppa-neuvosto on hyväksynyt 23. lokakuuta 2014 Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikan linjaukset. EU:n kasvihuonekaasupäästöjen sitovaksi vähennystavoitteeksi on sovittu vähintään 40 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Samalla EU korostaa uusiutuvan energian lisäämisen ja energiatehokkuuden parantamisen merkitystä tavoitteen saavuttamisessa. EU-tasolla on sovittu uusiutuvan energian käytön lisäämisen sitovaksi tavoitteeksi vähintään 27 prosenttia ja energiatehokkuuden parantamisen osalta vähintään 27 prosenttia. (Ulkoasianministeriö 2015.)

2.1.6 Suomen biotalousstrategia

Suomen biotalousstrategian (2014) mukaan Suomi on matkalla kohti vähähiilistä ja resurssitehokasta yhteiskuntaa ja kestävää taloutta. Tämän toteuttamisessa kestäväällä biotaloudella on keskeinen rooli. Suomen ensimmäisen kansallisen biotalousstrategian visio on, että biotalouden kestävät ratkaisut ovat Suomen hyvinvoinnin ja kilpailukyvyn perusta.

Biotalousstrategiassa tarkoitetaan Suomen biotalousstrategian (2014) mukaan taloutta, joka käyttää uusiutuvia luonnonvaroja ravinnon, energian, tuotteiden ja palveluiden tuottamiseen. Biotalous vähentää riippuvuutta fossiilisista luonnonvaroista, ehkäisee ekosysteemien köyhtymistä sekä luo uutta talouskasvua ja uusia työpaikkoja kestävä kehityksen periaatteiden mukaisesti.

Suomen biotalousstrategiaa toteutetaan usean eri ministeriön yhteistyönä. Työn koordinointi toteutetaan työ- ja elinkeinoministeriön johdolla. Muut vastuutahot

ovat maa- ja metsätalousministeriö, opetus- ja kulttuuriministeriö, valtioneuvoston kanslia, valtiovarainministeriö ja ympäristöministeriö. Ministeriöiden hallinnonalojen organisaatiot osallistuvat toteuttamiseen laajasti. (Suomen biotalousstrategia 2014, 30.)

Vesihuollon osalta Tilastokeskus luokittelee veden puhdistuksen ja jakelun biotalouden tuotosten alle (Suomen biotalousstrategia 2014, 9). Jätevesien viemäröinnin ja jätevedenpuhdistuksen osalta Suomen biotalousstrategiassa esitetyt toimenpiteet kohdistuvat parhaiten toimenpiteen ”1.6 Alykkäät vihreät kaupunkiseudut biotalousratkaisujen kehittämisympäristöinä” alle. Toimenpiteessä on tuotu esille, että tuetaan kaupunkiseutujen suuriin investointeihin rakentuvia pitkäjänteisiä kehitysympäristöjä, joissa voidaan kokeilla, testata ja kehittää uuden sukupolven uusiutuvan energian, jäte- ja vesihuollon resurssitehokkaita ratkaisuja sekä ekologisesti kestävän liikkumisen malleja.

2.2 Alueelliset ja maakunnalliset ohjelmat ja strategiat

2.2.1 INKA –ohjelma

Biotalousasema Joensuun seudulla korostuu mm. INKA -ohjelman (innovatiiviset kaupungit) osalta, jonka vetovastuuseen on biotalouden osalta valittu Joensuun kaupunki. Joensuun teemana on ”Vihreä kasvu” ja kunnianhimoisena tavoitteena on hiilivapaa kaupunki vuonna 2025 (Joensuun kaupunkiseudun hakeamus, 2013). INKA -ohjelman tavoitteena on synnyttää korkeatasoisesta osaamisesta uutta liiketoimintaa ja uusia yrityksiä ja tätä kautta luoda uusia työpaikkoja. Edelleen ohjelmasta todetaan, että kaupunkien suuret tulevaisuusinvestoinnit esimerkiksi energia-, vesi- ja jätehuollossa, asumisessa, liikenteessä ja terveydenhuollossa ovat vielä hyödyntämättä innovaatiotoiminnan kasvualustoina. (TEM 2014.)

2.2.2 Joensuun kaupungin ilmasto-ohjelma

Joensuun kaupunginvaltuusto hyväksyi ilmasto-ohjelman 27.1.2014, jossa energiatehokkuuden osalta on asetettu tavoitteeksi, että energiankulutus vähenee Joensuussa vuoteen 2025 mennessä vähintään 25 % vuoden 2007 tasoon verrattuna. Kaupungin omista toimista aiheutuva energiankäytön vähentämistavoite on 9 % vuoteen 2016 mennessä vuoden 2005 tasoon verrattuna (Joensuun ilmasto-ohjelma 2013, 23-25). Tavoite on yhteneväinen kuntien energiatehokkuussopimuksen (KETS) kanssa.

2.2.3 Joensuun kestävän energian toimintasuunnitelma

Joensuun kaupunginhallitus hyväksyi 2.3.2015 Joensuun kestävän energian toimintasuunnitelman (Sustainable Energy Action Plan). Suunnitelmassa esitetään ne käytännön toimet, joilla kaupunginjohtajien yleiskokouksen tavoitteita voidaan toteuttaa. Suunnitelmassa kootaan yhteen Joensuun kaupungin eri sektoreiden ja toimijoiden suunnittelemaa ja toteuttamia toimenpiteitä joilla edistetään energiatehokkuutta ja uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Suunnitelma on rajattu koskemaan niitä toimintoja, joihin kaupunki voi toiminnallaan vaikuttaa. Näitä ovat kunnan omat laitteistot ja rakennukset, asuinrakennukset, palveluissa käytettävät laitteistot ja rakennukset, yksityinen ja julkinen liikenne, julkinen valaistus (Joensuun kaupunginhallitus 2.3.2015, 3).

Käsite ”laitteistot/toiminnot” kattaa kaikki energiaa kuluttavat kokonaisuudet, jotka eivät ole rakennuksia (esim. veden puhdistuslaitokset, kierrätys- ja kompostointilaitokset).

Joensuun SEAP:n mukainen päästövähennystavoite on 40 % vuoteen 2020 mennessä vuoden 2012 tasosta. Muut tavoitteet koskevat energiankulutuksen vähentämistä vuoteen 2025 mennessä 25 % vuoden 2007 tasosta ja uusiutuvan energian määrän lisäämiseksi niin, että vuonna 2025 90 % energiasta tuotetaan uusiutuvilla energiantuotantomuodoilla. Joensuu pyrkii tavoitteisiin liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä ja yksityisautoilua vähentämällä, vähäpäästöisten tai

päästöttömien liikkumisen muotojen käyttöä lisäämällä, vähentämällä jätemääriä, nostamalla jätteiden kierrätys- ja hyötykäyttöastetta sekä tekemällä ilmastoystävällisiä hankintoja. Tavoitteena on myös sitouttaa joensuulaiset yritykset ja asukkaat kasvihuonekaasupäästövähennyksiin (Joensuun kaupunginhallitus 2.3.2015, 4).

2.2.4 Pohjois-Karjalan ilmasto- ja energia -ohjelma

Pohjois-Karjalan ilmasto- ja energiaohjelmassa vuoteen 2020 on tavoitteena esitetty mm. biokaasulla tuotetun energian kasvattaminen nykytilasta (14 GWh) 100:aan GWh vuodessa. Edelleen ohjelman liikennesektorin tavoitteissa on maininta siitä, että biokaasua ja muita paikallisesti tuotettuja liikenteen energialähteitä käytetään yhä enemmän (Pohjois-Karjalan ilmasto- ja energiaohjelma 2020).

2.2.5 Pohjois-Karjalan maakuntasuunnitelma ja -ohjelma

Pohjois-Karjalan maakuntasuunnitelmassa, vuoteen 2030 on kunnianhimoisena pitkän aikavälin tavoitteena luoda maakunnasta öljyvapaa, uusiutuvalta energiantuotannoltaan yliomavarainen maakunta. Öljyriippuvuutta vähennetään määrätietoisesti ja öljy korvataan alueen omilla uusiutuvilla energiaratkaisuilla. ”Lämmön, sähkön ja liikenteen polttoaineiden valmistus, jakelu ja käyttö muodostuvat merkittäväksi elinkeinoksi Pohjois-Karjalassa.” Edelleen maakuntasuunnitelmassa on todettu, että maakuntaan rakennetaan kahdesta kolmeen biopolttoainetehdasta sekä uusiutuvien energiaratkaisuihin pohjautuva liikenteen tankkaus- ja jakeluasemaverkosto. Liikennemäärien ja päästöjen kasvua pyritään kompensimaan mm. edistämällä joukkoliikennettä ja uusiutuvien liikennepolttoaineiden tuotantoa ja käyttöä. (Pohjois-Karjalan liitto 2010.)

Vuonna 2010 hyväksytyssä maakuntaohjelmassa (POKAT 2014) Pohjois-Karjalasta tavoitellaan uusiutuvan energian mallimaakuntaa. Suurimmat lähiajan odo-

tukset uusiutuvan energian lisäämiseksi kohdistuvat yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon lisäksi uusiutuviin liikennepolttoaineisiin. Yhtenä keskeisenä kehittämistarpeena nähdään biokaasun liikennekäytön voimakas kehittäminen. (POKAT 2014, 31.) Laakkonen (2012, 4) on tulkinut tätä siten, että maakuntaan on syntynyt yhteinen poliittinen tahtotila biokaasun liikennekäytön aloittamiselle.

3 Energian kulutus jätevedenpuhdistuksessa

Jätevedenpuhdistuksen energiatehokkuuteen on viime vuosina alettu kiinnittää entistä suurempaa huomiota osana vesihuoltosektorin kokonaisenergian kulutusta. Ruotsissa vesihuoltosektorin energiakulutus muodostaa noin 1 % maan sähkön kulutuksesta (Kjellen & Andersson 2002). Tästä noin 60 % jakaantuu jätevesilaitosten ja viemäriverkostojen osuudeksi (Lingsten & Lundkvist 2008). Saksassa on puolestaan reilun 10 000 jätevesilaitoksen arvioitu vastaavan n. 0,7 %:a maan sähkön kulutuksesta (Haberkern et. al. 2008). Suomessa vastaava luku vuoden 2006 tilanteessa oli 0,3 % sähkön kokonaiskäytöstä (Energiateollisuus 2009). Tilastoinnin ulkopuolelle jää kuitenkin osa Suomessa toimivista vesihuoltolaitoksista (Tukiainen 2009, 19).

Jätevedenpuhdistamot ovat merkittäviä energian kuluttajia ja pääosassa energian kulutuksessa ovat biologisen puhdistusprosessin ylläpitoon tarvittavan ilmastuksen toteuttaminen, lietteen kuivaus ja erityyppiset pumppaukset (Lehtinen & Urho 2014, 4). Jäteveden käsittely on yleensä energiatehokkaampaa suurissa laitoksissa ja esimerkiksi Saksassa yli 10 000 AVL:n puhdistamoilla sähkön keskikulutus on 32–35 kWh/AVL/a, kun se pienemmillä laitoksilla on yleensä selvästi suurempi (Haberkern et. al. 2008). Samankokoisten laitosten sähkönkulutuksessa voi kuitenkin olla suuriakin eroja ja osa pienistäkin laitoksista on hyvin energiatehokkaita (Muller et. al. 1999). Olsson (2008) on puolestaan selvittänyt Ruotsissa Svenskt Vattenin toimesta laitosten energiakulutusta tutkimuksessa, joka kattoi 40 % viemäriverkostoon liittyneistä. Tutkimuksessa jätevedenpuhdistamoiden keskimääräiseksi sähkönkulutukseksi saatiin 90-100 kWh/hlö/a.

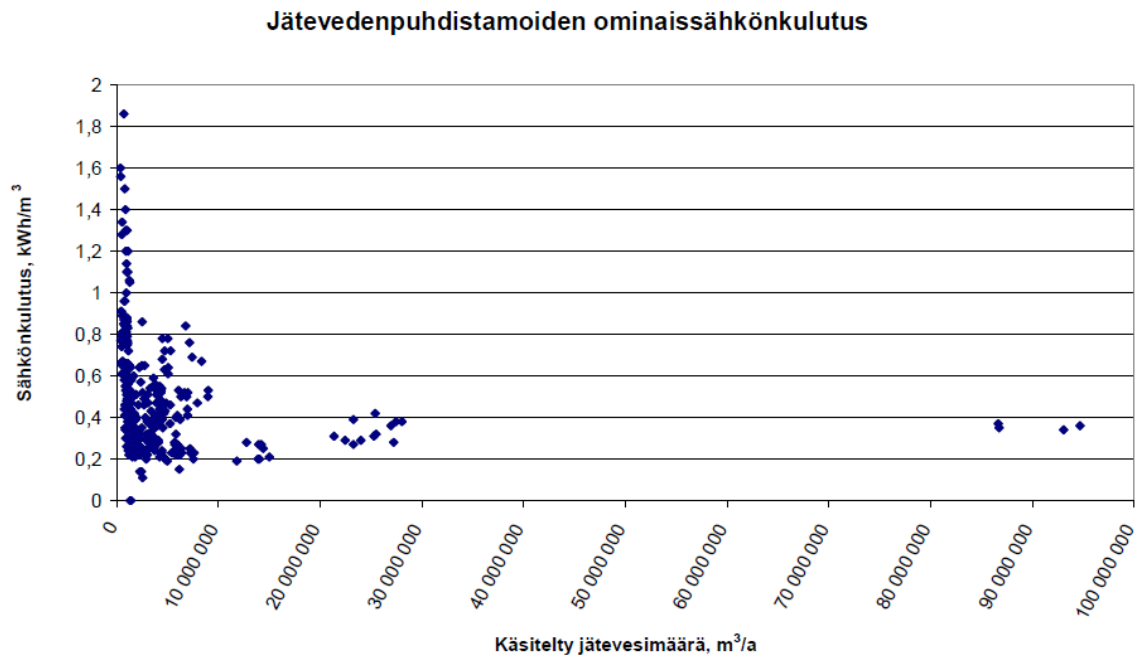
Perinteisesti jätevedenpuhdistuksen energiatehokkuutta on seurattu vertaamalla puhdistamon sähkön kulutusta joko puhdistamolla mitattuun jätevesimäärään tai puhdistamolla poistettuun orgaaniseen kuormitukseen (BOD) nähden. Myös OCP -indeksiä (Oxygen Consumption Potential) voidaan käyttää apuna energiankulutuksen seurannassa. Siinä energiankulutusta suhteutetaan puhdistamolta vesistöön johdettavan veden laatuun eri painoarvokertoimia käyttäen. Edelleen sähkönkulutuksen kehitystä voidaan seurata asukasvastinelukua (AVL) tai viemäriverkostoon liittynyttä henkilöä kohden.

Asukasvastineluku on biologisesti hajoavien epäpuhtauksien mittayksikkö, joka vastaa yhden henkilön vuorokaudessa tuottamaa keskimääräistä kuormitusta. Yhdyskuntajätevesiasetuksen (888/2006) mukaan yksi avl vastaa 70 g BHK₇, joka puolestaan vastaa yhdyskuntajätevesidirektiivin (91/271/ETY) määrittelemää viiden vuorokauden biokemiallista hapentarvetta (BHK₅) 60 g happea. Yhdyskuntajätevesiasetuksen mukaisesti asukasvastineluku lasketaan puhdistamolle vuoden aikana tulevan suurimman viikkokuormituksen vuorokautisesta keskiarvosta poikkeuksellisia tilanteita lukuun ottamatta. Poikkeukselliseksi tilanteeksi ei lasketa lumensulamiskausia, sillä ne toistuvat joka vuosi. (Laitinen ym. 2011, 26.)

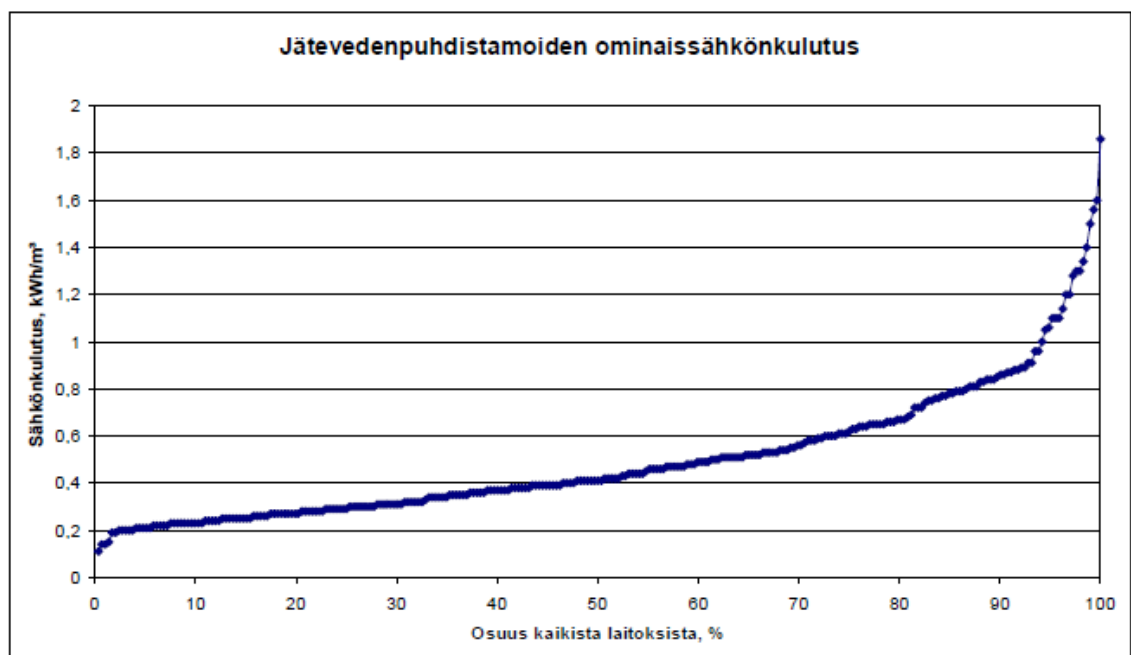
Jätevedenpuhdistamot kuluttavat lisäksi lämpöä. Lämpöä tarvitaan toimistotilojen lämmityksen lisäksi mädättämön lämmitykseen ja katettujen prosessitilojen lämmittämiseen (Tukiainen 2009, 19).

3.1 Energiankulutus käsiteltyä jätevesimäärää kohden

Suomessa kartoitettiin vuonna 2004 julkaistussa PUTOUS hankkeessa valtaosa yli 10 000 AVL:n jätevedenpuhdistamoista. Kuvioissa 2 ja 3 on esitetty hankkeessa tutkittujen puhdistamoiden ominaissähkönkulutuksia.



Kuvio 2. Suomalaisten yli, 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoiden sähkökulutus kWh/m³. (Kangas 2003).



Kuvio 3. Suomalaisten yli 10 000 AVL:n jätevedenpuhdistamoiden ominaissähkökulutuksia suhteutettuna puhdistettuun vesimäärään (Kangas 2003).

Puhdistamolle tuleva jätevesivirtaama vaihtelee hyvin selvästi eri vuodenaikojen

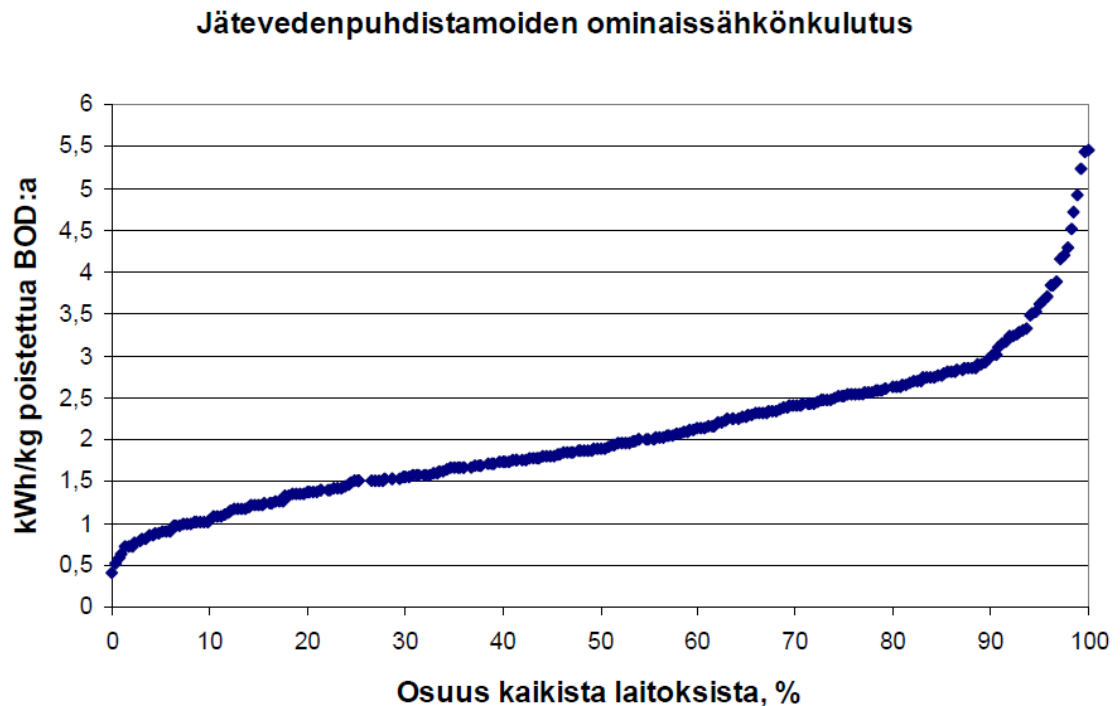
mukaan. Kiurun (1996, 1) mukaan viemäriverkoston kulkeutuvat vuoto- ja hu-
levedet ovat tärkein jäteveden virtaamaan vaikuttava tekijä. Keskimääräinen vie-
märiverkoston vuotovesimäärä on Heiskasen (1998, 16) mukaan ollut Pohjois-
Karjalan puhdistamoilla noin 25 %. Puhdistamoilla mitatut virtaamapiikit ajoittu-
vat Heiskasen (1998, 40) kevääseen (lumien sulaminen) ja yleensä syksyyn
(syyssateet).

3.2 Energiankulutus poistettua BOD kuormitusta kohden

Puhdistamoiden ympäristöluvissa edellytetään tapauskohtaisesti, että jäteve-
destä on poistettava orgaanista ainesta (BOD, BHK) esim. 90-95 %:n tehok-
kuudella puhdistamon koosta riippuen. Lisäksi ympäristöluvassa on määriteltä
enimmäispitoisuus vesistöön johdettavan jäteveden BOD -pitoisuudelle.

Jätevedenpuhdistuksen energiatehokkuus on yleensä selkeästi verrannollinen
puhdistamon kokoon (Laitinen ym. 2011, 38). Pienemmät puhdistamot kulutta-
vat monikertaisesti energiaa suuriin puhdistamoihin nähden poistettua BOD –
kuormitusta tai OCP –indeksiä kohden laskettuna. Poikkeuksena tästä voi mai-
nita kuitenkin esim. bioroottorit, joilla on Tukiaisen (2009, 38) mukaan mahdolli-
suus päästä keskimääräin 0,26 kWh:n ominaiskulutukseen poistettua BOD₇ ki-
loa kohden. Itse bioroottorin kuluttaman sähköns osuus on noin 50 % bioroottori-
puhdistamon kokonaiskulutuksesta (Tukiainen 2009, 39). Kuviossa 4 on esitetty
PUTOUS hankkeessa selvitettyjen jätevedenpuhdistamoiden ominaissähkön-
kulutuksia poistettua orgaanista ainetta (BOD) kohden laskettuna.

Tukiaisen (2009, 97) tekemässä tutkimuksessa olleen suurimman jäteveden-
puhdistamon energian nettokulutus oli vain 0,72 kWh/kg poistettu BOD. Koko-
naisuudessaan tutkimuksessa mukana olleiden puhdistamoiden (6 kpl) energi-
ankulutus vaihteli välillä 0,72-3,06 kWh/kg poistettu BOD.



Kuvio 4. Suomalaisten yli 10 000 AVL:n jätevedenpuhdistamoiden ominaissähkökulutuksia suhteutettuna poistettuun BOD:iin (Kangas 2003).

Kuviosta on nähtävissä, että valtaosalla tutkimuksessa mukana olevista laitoksista sähköä kulutettiin 1,1 – 3,0 kWh/kg poistettu BOD.

3.3 Energiankulutus poistettua OCP indeksiä kohden

OCP -indeksi kuvaa vesistöön johdettavan jäteveden orgaanisen aineen, typen ja fosforin happea kuluttavaa vaikutusta vesistössä ja sitä laskettaessa fosforille on annettu painokerroin 100, typelle 18 ja orgaaniselle aineelle 1 (Laitinen ym. 2011, 38). OCP -indeksillä mitataan jäteveden käsittelyn tasoa kokonaisvaltaisesti. Puhdistamoiden OCP -indeksin avulla lasketut tunnusluvut ovat suoraan vertailukelpoisia, koska menetelmä ei ota kantaa lupaehtoihin tai purkuvesistöön. OCP -indeksit lasketaan vesistöön johdetun jäteveden pitoisuuksien tai päästöjen vuosikeskiarvoista seuraavasti (Lehtinen & Urho 2014, 22).

$$\text{OCP} = \text{BOD}_{7\text{ATU}} + 18 * \text{N}_{\text{kok}} + 100 * \text{P}_{\text{kok}} \quad (1)$$

Seuraavaan taulukkoon (taulukko 1) on koottu muutamien Suomessa toimivien suurempien jätevedenpuhdistamoiden energiankulutuksia poistettuun BOD ki-
loon ja poistettuun OCP -tonniin nähden.

Taulukko 1. Suurimpien jätevedenpuhdistamoiden (jätevesimäärä yli 10 000 m³/d) energiankulutustietoja (Laitinen ym. 2011, 75 liite 3 taulukkoa mukaillen).
Taulukon tiedot ovat vuodelta 2010.

Puhdistamo	m ³ /d	kWh/m ³	Poistettu BOD kg	kWh/poistettu BOD kg	Poistettu OCP t/a	kWh/poistettu OCP t
Helsinki Viikinmäki	267 430	0,41	23 090 025	1,72	167 053	237,6
Espoo Suomenoja	90 090	0,40	7 495 729	1,75	65 240	201,4
Tampere Viinikanlahti	50 080	0,31	3 776 506	1,49	19 766	284,1
Jyväskylä Nenäniemi	35 120	0,42	4 711 456	1,15	23 623	228,6
Kuopio Lehtoniemi	18 350	0,45	2 811 258	1,08	12 978	233
Salo Keskuspuhdistamo	17 970	0,17	917 027	1,20	7 022	156,3
Joensuu Kuhasal	16 590	0,71	1 358 884	3,17	9 029	477,6
Alakorkalo Rovaniemi	16 260	0,25	1 397 021	1,06	8 920	165,9
Rahola Tampere	15 290	0,33	1 677 201	1,11	8 140	228,7
Parainen Hämeenlinna	14 790	0,96	2 594 134	2,00	12 883	402,1
Riihimäki	12 740	0,55	1 903 416	1,34	10 781	237,0
Kenkäveronniemi Mikkeli	11 680	0,45	1 169 332	1,65	8 070	239,5
Kalteva, Hyvinkää	10 910	0,53	954 270	2,22	7 700	275,5
Hermanninsaari Porvoo	10 860	0,35	900 541	1,55	7 514	185,6

Seuraavassa taulukossa (taulukko 2) on luokiteltu puhdistamot eri luokkiin eri energiatehokkuutta kuvaavien parametrien suhteen. Taulukosta on nähtävissä,

että suurien puhdistamoiden energiatehokkuus on eri parametreilla tarkasteltuna pienempiä parempi.

Taulukko 2. Laitinen ym. (2011, 39) tutkimuksessa tarkasteltujen puhdistamoiden energiankulutusparametrit jaoteltuna kolmeen energiankulutusluokkaan.

Energian kulutus (kWh/m ³)	Keskimääräinen virtaama (m ³ /d)	Energiankulutus (kWh/kg poistettu BHK)	Energiankulutus (kWh/t poistettu OCP)
< 0,50	37 900	1,5	280
0,51 - 1,0	6 400	2,5	400
> 1,0	1 300	7,0	960

3.4 Jäteveden ilmastuksen energiankulutus

Perinteisillä aktiivilietelaitoksilla sähköstä pääosa kuluu biologiseen käsittelyyn ja siellä erityisesti ilmastusilman tuottamiseen. Arviot ilmastuksen osuudesta vaihtelevat eri lähteissä, tyypillinen taso on 50-70% tai 40-80% puhdistamon kaikesta energiankulutuksesta (Kje'llen & Andersson 2002; Heinonen 2001). Laitosten väliset erot sähkönkulutuksessa johtuvat laitospaikoista ratkaisujen energiatehokkuudesta ja siitä, mitä prosesseja laitoksen kokonaisenergiankulutus pitää sisällään. Pienemmillä laitoksilla ei esimerkiksi ole paljon energiaa kulluttavaa lietteen käsittelyä, jolloin biologisen käsittelyn osuus kaikesta sähkönkulutuksesta on hyvin korkea. (Tukiainen 2009, 39.)

Saksassa Ruhrverband tutki kokonaissähkönkulutuksen jakaantumista yhdeksällä saksalaisella jätevedenpuhdistamolla, joiden koko vaihteli välillä 2 100–100 000 AVL. Tutkimuksen mukaan ilmastuksen osuus kokonaissähkön kulutuksesta oli 30-60 %. (Schmitt et. al 2004.)

Heinosen (2001, 21) tutkimus kattoi 15 kunnallista jätevedenpuhdistamoa Suomessa. Puhdistamoiden mitoitusvirtaamat olivat 2 800-280 000 m³/d. Näiden

keskimääräinen energiankulutus vaihteli ilmastuksen osalta välillä 0,09-0,57 kWh/m³. Vastaavasti biologiseen hapenkulutukseen (BOD) suhteutettuna energiankulutukset olivat keskimäärin välillä 0,65-4,15 kWh/kg BOD. Tukiaisen (2009, 93) tekemässä tutkimuksessa ilmastuksen osuus muodosti 30 % kaikesta jätevedenpuhdistamon sähkönkäytöstä.

Tarvittavaan ilmastusmäärään vaikuttavat Heinosen (2001, 27) mukaan jäteveden lämpötila ja koostumus. Mitä viileämpää vesi on ja mitä enemmän orgaanista ainetta se sisältää, sitä enemmän ilmastusilmaa tarvitaan.

Puhdistamon ajotapa ja puhdistamon ympäristöluvan lupaehdot vaikuttavat myös ilmastusenergian tarpeeseen. Nitrifioiva ajotapa kuluttaa puhdistamolla enemmän ilmastusenergiaa ja Laitisen ym. (2011, 58) mukaan Nitrifikaatiosta tai kokonaistypenpoistosta aiheutuvat käyttökustannukset ovat noin 20-25 % jätevedenpuhdistamon käyttökustannuksista. Laskennallisesti nitrifikaation aiheuttama lisähapentarve on 4,33-kertainen (Karttunen 2004, 211-213).

Ilmastukseen liittyvät parametrit ovat (Alkhleel 2013) mukaan seuraavat:

AOR	prosessin hapentarve, kg O ₂ /h
SOTE	hapensiirtotehokkuus standardiolosuhteissa, %
SOTR	hapensiirtonopeus puhtaaseen veteen standardiolosuhteissa, kg O ₂ /h
SAE	ilmastustehokkuus standardiolosuhteissa, kg O ₂ /kWh
AE	ilmastustehokkuus prosessiolosuhteissa, kg O ₂ /kWh

Heinonen (2001, 29) on ollut lisäksi sitä mieltä, että energiatehokkaan ilmastusjärjestelmän keskeisin tunnuspiirre on riippumattomuus kuormitusvaihtelusta. Jäteveden lämpötilaan vaikuttaa merkittävästi viemäriverkostoon joutuvat vuoto- ja hulevedet, jotka ovat pääsääntöisesti aina kylmiä.

Riittävänä ilmastushapen määränä pidetään yleisesti tasoa 1,5-2,0 mg/l silloin

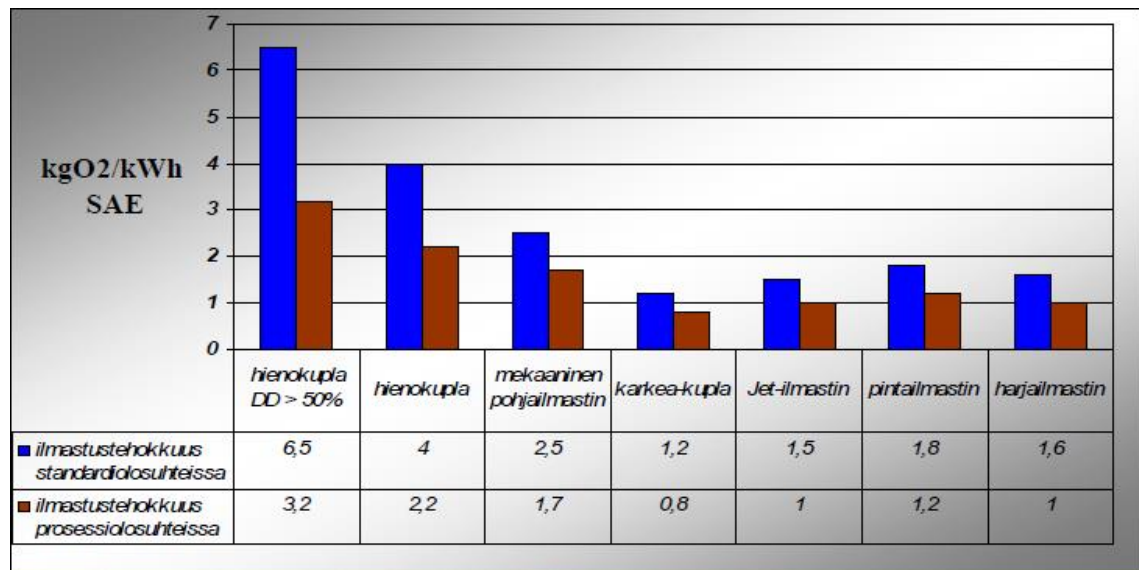
kun jäteveden lämpötila on yli 10 °C. (Schmitt et. al 2004). Ilmastuksen ohjaustavalla on suuri merkitys ilmastuksen energiatehokkuuteen. Esim. sumeaaan loogiikkaan perustuvalla järjestelmällä on saavutettu 10 %:n vähennys ilmastuksen sähkönkulutuksessa ilman, että puhdistustulokset ovat huonontuneet. Järjestelmässä ilmastusilman määrää on ohjattu liuenneen hapen pitoisuuden ja redox - potentiaalin perusteella. (Colprim et al.2005.)

Paljon sähköä kuluttavissa kohteissa, kuten ilmastuksessa, yhdenkin prosenttiyksikön ero moottorien kompressorien hyötysuhteissa voi olla sähkön kulutuksen kannalta merkittävä tekijä (Kjellen & Andersson 2002).

3.4.1 Ilmastimien toimintaperiaatteet

Ilmastimet voidaan toimintaperiaatteen mukaan jaotella karkeasti pohjailmastimiin ja pintailmastimiin. Pohjailmastimet sijaitsevat altaan pohjassa ja ilma syötetään niiden kautta veteen. Pintailmastimien toiminta perustuu ilman sekoittamiseen jätevedeen altaiden pinnassa. Kattamattomien pintailmastimien käyttö aiheuttaa talvisin merkittävää lämmönhukkaa (Heinonen 2001, 27). Pintailmastimet ovat tehokkaimmillaan matalissa altaissa, kun taas pohjailmastimet ovat sitä tehokkaampia, mitä syvempi ilmastusallas on (Kjelle'n & Andersson 2002). Heinonen (2001, 32) toteaa kuitenkin, että pohjailmastuksella päästään keskimäärin energiatehokkaampaan tulokseen kuin pintailmastimia käyttämällä.

Ilmastimet jaotellaan niiden tuottaman kuplakoon mukaan hieno- ja karkeakuplailmastimiin. Kuplakoko on hienokuplailmastimissa halkaisijaltaan alle 3 mm ja karkeakuplailmastimissa yli 3 mm. Hienokuplailmastimien kuluttama energiamäärä on noin puolet pienempi verrattuna karkeakuplailmastimiin. Tavallisesti paras energiatehokkuus saavutetaan allassyvyyden ollessa 3-6 metriä. (Kjellen & Andersson 2002.)



Kuvio 5. Eri ilmastintyyppien ilmastustehokkuuksia (SAE) (Alkhleel 2013)

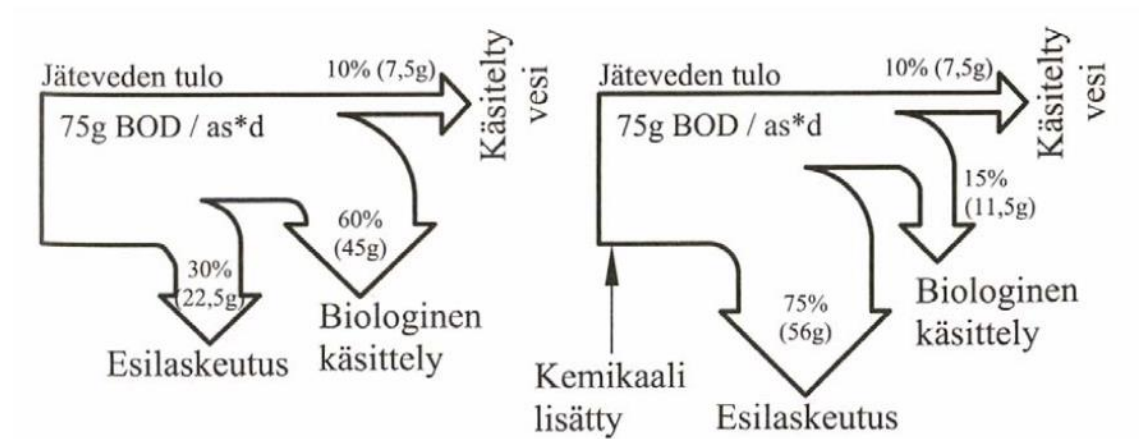
Ilmastimien lisäksi energian kulutukseen vaikuttaa merkittävästi se, millä tavoin ilmaa tuotetaan. Pohjailmastuksessa syötettävä ilma tuotetaan kompressoreilla tai puhaltimilla. Kompressori- ja puhallintyyppien valinta ja oikea mitoitus on keskeistä ilmastuksen energiankulutuksen kannalta, sillä suurin osa ilmastusilman tuottamiseen kuluva sähköstä kuluu ilman paineistamiseen. (Kjellen & Andersson 2002). Ilmastimien huolto on energiatehokkuuden kannalta tärkeää, sillä ilmastimien tukkeentuminen voi selvästi kasvattaa sähkönkulutusta, sillä likaantuminen vaikuttaa sekä hapensiirtotehokkuuteen että ilmantuotannon painehäviöön (Heinonen 2001, 33).

3.4.2 Esisaostus

Laitoksilla, joilla on mädättäjä ilmastuksen sähkönkulutusta voidaan laskea vähentämällä ilmastukseen tulevaa kuormaa mahdollisimman tehokkaalla esisaostuksella tai lyhentämällä lieteikää mahdollisimman lyhyeksi. Kun esiselkeytys on käytössä ja lieteikää lyhennetään, biologisen osan hapenkulutus vähenee ja samalla mädätyskaasun määrä lisääntyy. (Kjellen & Andersson 2002.)

Esisaostusprosessissa suurempi osa fosforia saostetaan jo esiselkeytyksessä, ja orgaanisen aineen reduktio esiselkeytyksessä kasvaa samalla huomattavasti

verrattuna rinnakkaissaostusprosessiin. Raakalietteen suhteellinen osuus kokonaislietemäärästä kasvaa, mikä saattaa lisätä biokaasun tuottoa. Samalla biologisen osan kuormitus pienenee, mikä puolestaan potentiaalisesti voi vähentää ilmastusenergian tarvetta. (Kangas ym. 2011, 53). Esisaostuksen tehokkuutta on kuvattu seuraavassa kuviossa 6.



Kuvio 6. Saostuskemikaalin vaikutus esiselkeytyksen reduktioon (Karttunen 2004, 543).

FCG:n 2010 toteuttaman esisaostusprosessin mallinnuksen mukaan raakalietteen ja biolietteen suhde olisi noin 80/20, kun taas rinnakkaissaostuksessa suhde olisi 62/38. Tämän seurauksena esisaostusvaihtoehdossa voitaisiin potentiaalisesti tuottaa noin 35 % enemmän biokaasua rinnakkaissaostukseen nähden. Esisaostuksen käyttöönotto voi kuitenkin lisätä jätevedenpuhdistamon käyttökustannuksia merkittävästi. (Kangas ym. 2011, 65.)

3.5 Lietteen termisen käsittelyn energiankulutus

Lietteen käsittelyssä koneellinen tiivistys ja kuivaus kuluttavat suhteellisesti sitä enemmän energiaa, mitä pienempi yksikkö on kyseessä. Terminen kuivaus on energiantensiivistä ja silloin kun lietteenkuivaus tehdään lämmöllä, saattaa kui-

vauksen lämmöntarve olla yhtä suuri kuin koko laitoksen lämmöntarve yhteensä. (Kjellen & Andersson 2002.)

Termisessä kuivauksessa liete kuumennetaan ja nestettä poistetaan haihduttamalla. Kuivaus voidaan tehdä joko kontaktikuivauksena tai konvektiokuivauksena. Kontaktikuivauksessa lämpö siirtyy lietteeseen kuuman pinnan välityksellä. Konvektiokuivauksessa lämmön siirtämisestä vastaa kuuma ilma, palokaasu tai tulistettu höyry. (Kangas 2002.)

Termisessä kuivauksessa kuivainten lämpöenergian kulutukseksi on esitetty 0,8–1,1 kWh/kg haihdutettavaa vettä (Kangas 2002). Lämpöenergian tarve on siten 460–860 kWh/t lietettä, kun liete kuivataan pitoisuudesta 20 % TS pitoisuuteen 90 % TS. Korkeassa lämpötilassa toimivien kuivureiden energiantarve on poikkeuksetta luokassa 1 kWh/kg H₂O. Tästä energiatarpeesta tyypillisesti 5-15 % on sähköä (Haber Kern et al. 2008). Kuivainten pelkän sähköenergian tarpeen suuruudeksi on esitetty pienemmillään 4-5 kWh/m³ lietettä, suurimmillaan kymmeniä kilowattitunteja (Kangas 2002).

Sähköllä ja öljyllä toimivan termisen kuivaajan sähkönkulutukseksi on esitetty 88 kWh/tonni lietettä kuiva-ainepitoisuudella 20-25 % TS tai vastaavasti 424 kWh/t TS ja kevyen polttoöljyn tarpeeksi 51,1 kg/t lietettä (Myllymaa ym. 2008 a). Termisen kuivauksen lämpöenergiankulutus riippuu olennaisesti halutusta kuivaustuloksesta ja syötettävän lietteen kuiva-ainepitoisuudesta.

3.6 Muu energiankulutus

Puhdistamoilla on käytössä runsaasti erilaisia pumppauksia, sekoittimia ja laitteistoja jotka kuluttavat runsaasti sähköenergiaa. Tulopumppaus on Tukiaisen (2009, 40) mukaan kaikilla jätevesilaitoksilla suuri yksittäinen sähkönkuluttaja, koska pumppauksessa liikkuu suuria vesimääriä ja pumpput ovat paljon käytössä. Myös lietteen pumppauksen kuluttama energiamäärä on suuri, koska lietteen kiintoainepitoisuus on etenkin käsittelyn loppuvaiheessa korkea (Kjellen & Andersson 2002).

Pumput vastaavat noin 20 prosenttia maailman sähkönkulutuksesta ja ne kuluttavat monissa teollisuusprosesseissa valtaosan prosessiin tarvittavasta sähköenergiasta. Tästä johtuukin, että pumppausprosessin tehostaminen on merkittävimpiä keinoja vähentää sähkönkulutusta. Pumppausjärjestelmän teho riippuu pumpattavan nesteen liikekitkan aiheuttamista häviöistä, nesteen paineen nostamisesta sekä nesteen fyysisestä nostamisesta. Energiatehokkuuden kannalta pumppausjärjestelmään vaikuttavat pumppujen mitoitus, pumppauksen ohjaus, pumppujen moottorit, pumppujen huolto ja kunnossapito, pumppausprosessin toiminnan kartoittaminen ja kehittäminen sekä putkiston energiatehokkuus. (Federley 2009, 3.)

Vaikka merkittävimpiä tekijöitä pumppauksen energiatehokkuuden kannalta ovat pumpputyypin oikea valinta sekä pumppausjärjestelmän oikea mitoitus, ohjauksella pystytään myös vaikuttamaan pumppujen energiankulutukseen. Tutkimusten avulla on osoitettu, että jopa 30-50 prosenttia pumppujärjestelmien kuluttamasta energiasta on mahdollista säästää laitteiston tai säätötavan muutoksella. (Europump and Hydraulic Institute 2001, 3.)

Suurimpien sähkömoottoreiden sähkönkulutus muodostaa pienellä puhdistamolla n. 80 % kaikista moottoreiden sähkönkulutuksesta, joten tehostamistoimissa voidaan keskittyä niihin (Kjellen & Andersson 2002).

Taajuusmuuttajakäytöllä voidaan useissa tapauksissa optimoida virtaamia, joskin tulopumppauksessa pumppujen alkuperäinen mitoitus on kaikkein tärkein tekijä pumppaamon optimaalisen toiminnan kannalta. Oikein mitoitettu pumppu toimii normaalisti oikealla alueella ja hyvällä hyötysuhteella. (Tukiainen 2009, 41.)

4 Energian tuotanto jätevedenpuhdistuksessa

Energian tuottaminen jätevedestä voi perustua jäteveden sisältämän orgaanisen aineksen tai jäteveden mahdollisen hydrostaattisen energiasisällön hyödyntämiseen. Hydrostaattisen energiasisällön hyödyntämismahdollisuudet vaihtelevat, sen sijaan orgaanista ainetta jätevesi sisältää aina. (Tukiainen 2009, 68). Myös jäteveden sisältämää lämpöenergiaa voidaan hyödyntää lämpöpumpputekniikan avulla.

Energian tuotanto jätevedenpuhdistamoiden lietteestä perustuu sen sisältämän orgaanisen aineen energiasisällön hyödyntämiseen. Yleisimpiä menetelmiä ovat biokaasun tuotanto, eli biologinen käsittely mädättämällä ja terminen käsittely polttamalla (Kangas ym. 2011, 14).

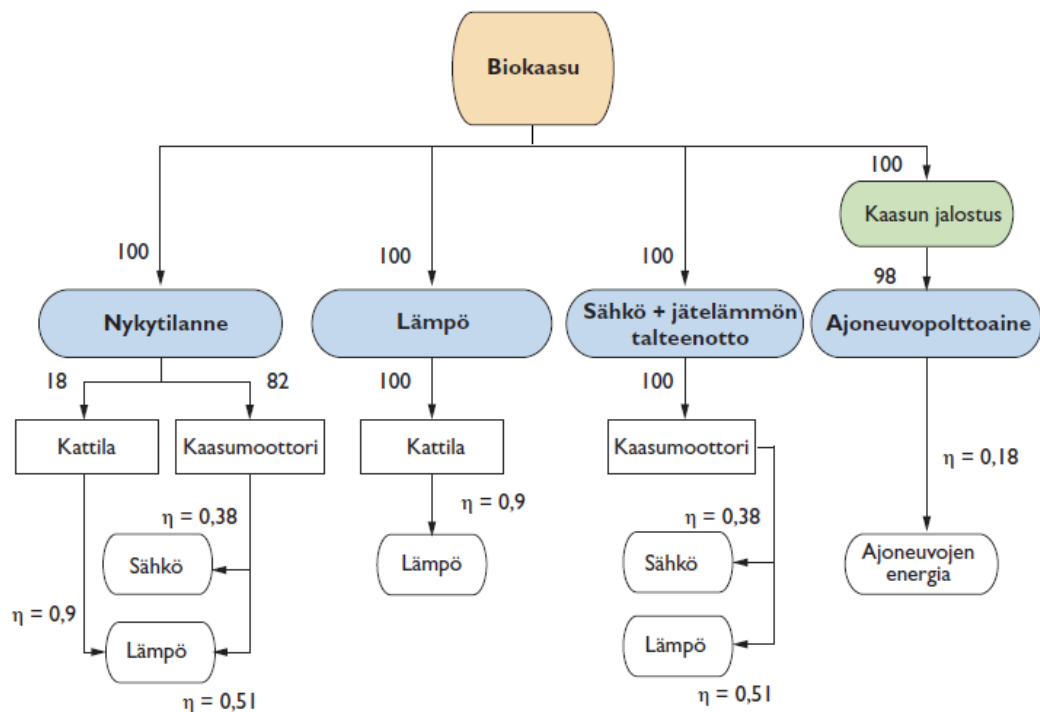
Vesihuoltolaitosten mahdollisuudet omaan energiantuotantoon ovat merkittävät ja esim. Sveitsissä jätevedenpuhdistamot tuottavat vuodessa sähköä yli 100 miljoonaa kWh (Tukiainen 2009, 68).

Yksinkertaisin tapa hyödyntää biokaasun sisältämä kemiallinen energia on polttaa biokaasu ja hyödyntää poltosta syntyvä lämpö kaasukattilassa. Syntyvää lämpöä voidaan käyttää jätevedenpuhdistamon tilojen lämmittämiseen. Myös lämmönsyöttö kaukolämpöverkkoon on mahdollista jos puhdistamo on liitetty kaukolämpöverkkoon. Näin tehdään esim. Lahden ja Hämeenlinnan jätevedenpuhdistamoilla. (Tukiainen 2009, 70.)

Lämmön tuottaminen biokaasusta on päästöjen kannalta edullisinta silloin, kun sen avulla korvataan fossiilisilla polttoaineilla tuotettua sähköä. Ongelmana kuitenkin on, että päinvastoin kuin sähkölle, lämmölle ei välttämättä ole kesäisin juurikaan kysyntää. (Tukiainen 2009, 70.)

Biokaasua pidetään yleensä uusiutuvana energianlähteenä, mikä tarkoittaa sitä, etteivät laskennalliset kasvihuonekaasupäästöt lisäännä sitä poltettaessa. Puh-

distetulla biokaasulla, josta on poistettu hiilidioksidia, voidaan korvata maakaasua missä tahansa sovelluksessa. Tällaista käsiteltyä biokaasua kutsutaan usein biometaaniksi. Biometaania poltettaessa hiilidioksidia vapautuu ilmakehään suunnilleen sama määrä kuin poltettaessa maakaasua, ovathan molemmat pääosin metaania. Ero näiden kahden välillä on näiden kaasujen synnyssä: kun poltetaan maakaasua, niin ilmakehään vapautuu hiilidioksidia, joka on ollut varastoituneena miljoonia vuosia, joten tätä kautta ilmakehän hiilidioksidipitoisuus lisääntyy. Biokaasun poltto ei lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta, sillä sen poltosta vapautuva hiilidioksidi on sitoutunut lyhyen ajanjakson sisällä ilmakehästä siihen biomassaan, josta biometaani on tuotettu (KTM 2005, 13).



Kuvio 7 Biokaasun hyödyntämismuutokset Suomenojan jätevedenpuhdistamolla (Kangas ym. 2011, 57).

4.1 Biokaasun tuotanto

Suomeen rakennettiin ensimmäiset lietemädättämöt jo 1930-luvulla Helsingissä. Vanhin edelleen käytössä oleva lietemädättämö on v. 1962 rakennettu Tampereen Raholan jätevedenpuhdistamolla. Vuoteen 2012 mennessä lietemädättämiä oli yhteensä 17 kpl 15:ssä eri kunnassa. Uusin, 18. laitos valmistui v. 2012

Kokkolaan. Pääosa mädättämöistä rakennettiin 1980-luvulla ja vuosien 1994 ja 2012 välillä mädättämöitä rakennettiin ainoastaan 4 kpl (Lampinen, 2012).

Mädättämöt mitoitetaan joko lietteen orgaanisen aineksen määrän perusteella laskemalla 2-5 kg orgaanista ainetta mädättämön m³:lle vuorokaudessa tai asukasvastinetilavuutena, joksi otetaan yleensä 30-50 l/as. Mitoitusarvot vaihtelevat suuresti riippuen lietteen ominaisuuksista, lämmitys- ja sekoitustavasta jne. (Karttunen 2004, 574).

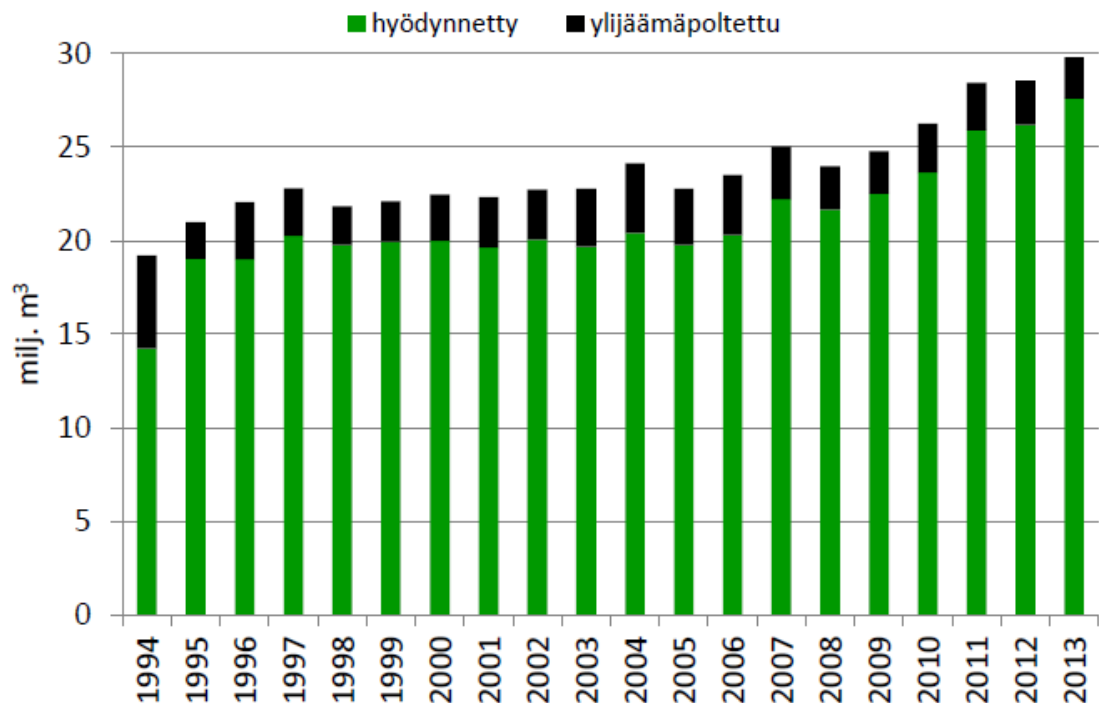
Jätevedenpuhdistamoilla muodostuu erilaisia lietteitä, jotka koostuvat esiselkeytyksessä laskeutuneesta kiintoaineesta (ns. primääriliete; raakaliete), kemiallisesti saostetusta fosforista, aktiivilietealtaassa syntyneestä biolietteestä sekä jälkiselkeytyksessä erottuvasta laskeutus- tai flotaatiolietteestä. Suuri osa biolietteestä kiertää jäteveden puhdistusprosessissa, ns. aktiivilieteprosessissa. Biolietteen määrä kasvaa prosessin aikana, ja sitä poistetaan ylijäämälietteenä. Ylijäämäliete muodostaa esi- ja jälkiselkeytyslietteiden kanssa (raaka) sekalietettä, jonka tyypillinen kiintoainepitoisuus ennen tiivistystä on alhainen, noin 1 %. Tämä sakeutetaan tyypillisesti n. 5 %:n kuiva-ainepitoisuuteen ennen syöttöä mädättämöön. (Salmela ym. 2014, 4.)

Mädätysprosessin ylläpitoon kuluu energiaa etupäässä prosessin vaatiman lämmön muodossa. Lämpöä tarvitaan lietteen lämmittämiseen ja mädättämön pitämiseen oikeassa lämpötilassa. Sähköä puolestaan kuluu lietteen pumppauksiin ja sekoitukseen (Kjellen & Andersson 2002). Mesofiilisessa mädätyksessä lietteen lämpötilan on oltava n. 35-38 °C ja termofiilisessa n. 55-57 °C. Suomessa olevista, jätevesilietteitä käsittelevistä mädättämöistä valtaosa on tällä hetkellä mesofiilisia (Myllymaa ym. 2008b).

Puhdistamoilla tuotettu energia koostuu ylijäämälietteen mädätyksessä tuotetusta biokaasusta. Hyvin toimivassa mädätysprosessissa hajoaa 50-60 % lietteen sisältämästä orgaanisesta aineesta (Latvala 2009).

Taulukko 3. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoiden tuotantotietoja vuodelta 2013 (Huttunen & Kuittinen 2014).

Biokaasua tuotettu	29 790 milj. m ³
Biokaasua hyödynnetty	27, 584 milj. m ³
Sähköä tuotettu	38,7 GWh
Lämpöä tuotettu	87,2 GWh
Mekaanista energiaa tuotettu	0 GWh
Metaanipitoisuus	40-70 %



Kuvio 8. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla tuotettu biokaasu ja sen hyödyntäminen vuosina 1994-2013 (Huttunen & Kuittinen 2014).

Biokaasun tuotantomäärä on viime vuosina jätevedenpuhdistamoilla kasvanut. Ylijäämäpolton osuus on ollut kokonaistuotannosta pieni, mutta täysimääräiseen biokaasun hyödyntämiseen ei vielä ole päästy. Syynä tähän ovat yleensä erilaiset huoltokatkot laitoksilla.

4.2 Biokaasun tuotto, laatu ja ominaisuudet

Jätevedenpuhdistamoilla syntyvä biokaasu sisältää tyypillisesti n. 60-65 % metaania (Kuittinen ym. 2006), jonka alempi lämpöarvo on 50 MJ/kg. Jätevesilietteen metaanituottopotentiaali on eri tavoin ilmaistuna 310-640 m³ CH₄/t orgaanista ainetta tai 8-16 m³ CH₄/ tonni märkää lietettä (Latvala 2009). Orgaanisen kiintoaineen määrää (VS) kohti metaania syntyy puhdistamolietteestä 0,75–1,12 m³/kgVS. (Techobanoglous ym. 2003, 1523). Mattilan (1985, 3) ja Rintalan (2008, 3) arvioiden mukaan puhdistamolietteestä saatava tuotanto on seuraava:

Biokaasua 0,45–0,6 m³/kgVS

Metaania 0,2–0,4 m³CH₄/kgVS.

Taulukko 4. Biokaasun tuotanto ja metaanipitoisuus eri jätevedenpuhdistamoilla vuonna 2013 (Huttunen & Kuittinen 2014, 34).

Puhdistamo	Tuot. (1000 m ³)	Hyöd. (1000 m ³)	Sähkö (MWh)	Lämpö (MWh)	CH ₄ %
Espoo, Suomenoja	3926	3880	274	777	63
Forssa	569	539	1307	1867	70
Helsinki, Viikinmäki	13 322	13 003	24 441	43 900	62
Hämeenlinna, Paroinen ¹	643*	590	0	3256	62
Joensuu, Kuhasalo	923	757	1216	1257	65
Jyväskylä, Nenäniemi	2107	1917	2854	7500	63
Kuopio, Lehtoniemi	1166	1087	2214	4057	68
Lahti, Kariniemi ja Ali-Juhakkala	1925	1925	0	10 293	60
Maarianhamina, Lotsbroverket	413	322	125	826	40
Mikkeli, Kenkäveronniemi	418	303	0	1811	67
Nurmijärvi, Klaukkala	61	58	0	364	70
Riihimäki ²	650*	650	1464	2091	65
Salo	465	424	0	2342	62
Tampere, Rahola	652	623	1404	2005	65
Tampere, Viinikanlahti	2551	1506	3391	4844	65

¹ Tiedot vuodelta 2012, ² Tiedot vuodelta 2009

Jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitoksien tuottaman biokaasun komponenteissa ei juuri esiinny paikallisia vaihteluita, koska käsiteltävän syötteen suuri määrä toimii puskurina muutoksille. Jätevedenpuhdistamolla tuotettu biokaasu sisältää kuitenkin yleisesti siloksaaneja, jotka ovat peräisin hius- ja kosmetiikka-tuotteista. Siloksaanit eli orgaaniset pii-yhdisteet voivat aiheuttaa ongelmia lähinnä kaasumoottorikäytössä ja niiden poistaminen biokaasusta on hankalaa (Latvala 2009, 40). Hämeen ammattikorkeakoulussa (HAMK) tehdyissä biojätteen ja yhdyskuntajätevesilietteiden mädätyskokeissa yleisin siloksaanityyppi oli D5 eli dekametyylisyklopentaanisiloksaani, sen pitoisuus oli 70–85 % kaikista siloksaanityyppien mitatuista pitoisuuksista. Kokeessa mitattiin yhteensä kuuden erilaisen siloksaanin pitoisuuksia. Mitatut siloksaanipitoisuudet vaihtelivat 0,2 ja 0,7 ppm välillä. (Kiviluoma - Leskelä 2010, 19.)

Biokaasu sisältää myös hajuhaittoja aiheuttavia kaasuja, kuten rikkivetyä ja muita rikkiyhdisteitä. Biokaasun sisältämä metaani on hiilidioksidiakin pahempi kasvi-huoneilmiötä aiheuttava kaasu, joten sen käsittely ja varastointi on järjestettävä siten, ettei sitä pääse purkautumaan ilmaan. Biokaasun laatuun vaikuttaa myös laitoksen toimintatapa, käytettävissä olevat laitteistot jne. (Latvala 2009, 40.)

Biokaasureaktorissa tuotettu biokaasu sisältää aina kaasumaisten komponenttien lisäksi laitteistojen toimintaa ja kunnossapitoa haittaavaa kosteutta. Tätä kosteutta vähennetään yleensä kaikilla laitoksilla vedenerottimilla ennen kaasun hyötykäyttöä. Lisäksi kaasusta voidaan poistaa rikkivetyä, joka muutoin voi aiheuttaa ongelmia lämmöntuotannossa sekä yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa aiheuttamalla esimerkiksi korroosiota hyödyntämislaitteistossa. (Latvala 2009, 41; Deuplein ja Steinhäuser 2008, 55-56.)

Siloksaanien poistoon biokaasusta voidaan käyttää absorptiota. Siloksaanit voidaan absorpoida aktiivihieleen tai aktivoituun alumiinioksidiin. Yksinkertaisempi siloksaanien poistomenetelmä on jäähdytys, mutta se ei ole niin tehokas mene-

telmä kuin absorptio. Siloksaanien poisto kannattaa tehdä viimeiseksi, rikkidioksidin ja mahdollisen hiilidioksidin poiston jälkeen. (Deuplein ja Stenhauser 2008, 355.)

Rikkivetyä sisältävää biokaasua poltettaessa syntyy rikinoksideja, jotka aiheuttavat mm. korroosiota polttolaitteissa ja happamoittavat moottoriöljyn. Tämän takia rikkivety on poistettava biokaasusta tai sen määrä on ainakin vähennettävä. Esimerkiksi CHP -laitokselle menevän biokaasun rikkivety-pitoisuus saisi olla korkeintaan noin 100–500 mg/Nm³. Mahdollisimman pieni rikkivedyn pitoisuus CHP -laitoksessa poltettavassa biokaasussa pidentää luonnollisesti biokaasuvoimalan elinikää. Rikkivedyn poistamiseksi onkin olemassa useita erilaisia biologisia, kemiallisia ja fysikaalisia menetelmiä. (Deuplein ja Steinhauser 2008, 335.)

4.3 Mädätyksen rejektivedet

Rejektivettä muodostuu biokaasulaitoksilla mädätysjäännöksen kuivauksessa. Mädätysjäännöstä voidaan kuivata monella tavalla mekaanisesti ja edelleen termisesti. Mekaanisen kuivauksen menetelmistä yleisimmin käytetään joko linkoa, suotonauhapuristinta tai ruuvipuristinta. (Latvala 2009, 51, 55.)

Mädätysjäännöksen kuivauksessa muodostuvien vesien lisäksi biokaasulaitoksen rejektivedet voivat sisältää biokaasun pesussa syntyviä vesiä, mädätysprosessista poistettua lietevedettä sekä mädätysjäännöksen jälkikäsittely- ja varastointikenttien suotovesiä (Kangas 2009b).

Rejektivedet ovat laadultaan konsentroituneita ja erityisesti orgaanisen aineen ja typen pitoisuudet ovat korkeita (Pöyry Environment Oy 2007, 20). Biokaasulaitoksien rejektivesissä esiintyy laadullisia vaihteluita, jotka johtuvat laitoksilla käytettävistä muuttuvasta ja monipuolisesta syötteestä. Syötteen lisäksi laitoksen mädätysprosessin tehokkuus ja mädätysjäännöksen kuivaaminen vaikuttavat rejektivesien laatuun. (Latvala 2009, 55–56.)

Rejektivesissä typpipitoisuus on korkealla tasolla. Suurin osa mädätysprosessissa muodostuvasta ammoniumtypestä päättyy mädätysjäännöksen kuivauksessa rejektiveteen (Vesilind 2003, 15–22). Pääosin typpi esiintyy rejektivesissä ammoniumtyppinä ($\text{NH}_4\text{-N}$), koska anaerobinen mädätys muuttaa proteiinien peptidisidoksiin kiinnittyneen typen liukoiseksi ammoniumtypeksi.

Taulukko 5. Esimerkki biokaasulaitoksen rejektivesien tyypillisistä pitoisuusarvoista. (Latvala 2009, 55).

Aine	mg/l
BOD ₇	1 790
COD (Cr)	6 550
Kok-P	82
Kok-N	1 003
NH ₄ -N	642
Alkaliniteetti	59
Kiintoaine	3 860

Kun taulukon arvoja vertailee keskimääräiseen yhdyskuntien jätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden pitoisuuksiin, ovat arvot 10-30 kertaa suurempia (Lindquist 2003, 43).

4.4 Biokaasun tuotannon tehostaminen

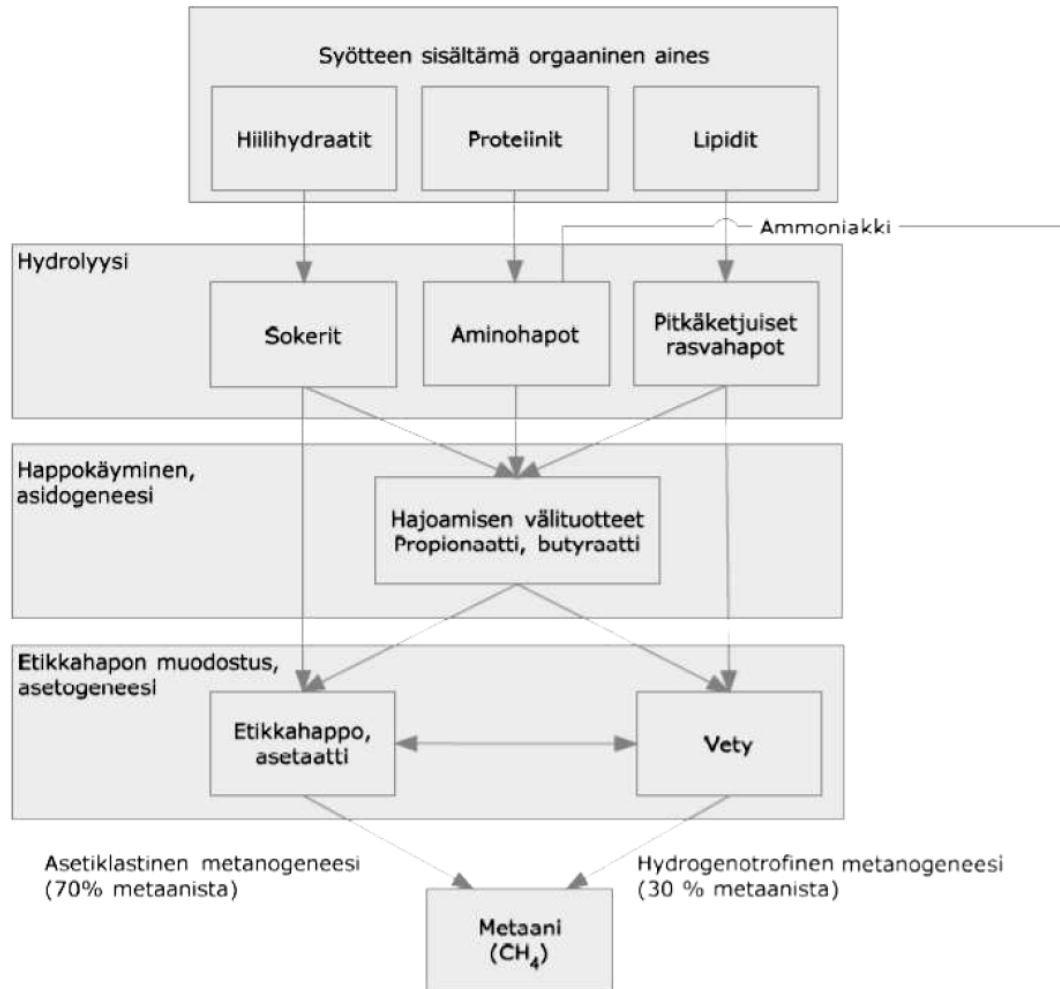
Mädättämön lämpötilan nostaminen mesofiiliselta tasolta termofiiliselle tasolle (50-55 °C) on ollut yleisesti pitkään tiedossa. Termofiilinen mädätys tehostaa lietteen hygienisointia, viipymäaika on nopeampi sekä biokaasun tuotanto on entistä suurempaa. Termofiilisen mädätyksen haitat ovat suurempi lämmöntarve ja rejektivesien huomattavasti huonompi laatu mm. lietteen kuivattavuuden, ammoniumtypen (30 % suurempi) ja COD_{Cr} -pitoisuuksien (3,4 kertainen) osalta. Sen käyttöönottoa ovat hidastaneet vähäinen käyttökokemus ja tehokkaampien ohjausjärjestelmien puute häiriötilanteiden varalle. (Kangas ym. 2011, 17-19, 44.) Haittana voi pitää myös sitä, että se on termofiilisten bakteereiden herkkyyden vuoksi herkempi esimerkiksi lämpötilan ja pH:n vaihteluille (Latvala 2005, 61).

Suurempi lämmöntarve on mahdollista kompensoida sillä, että termofiilisessä mädätyksessä biokaasua syntyisi enemmän. Raution (2012, 51) mukaan termofiilisen prosessin ylläpito mahdollistaa korkeamman kiintoainepitoisuuden pitämisen mädättämössä. Tämä olisi mahdollista tehdä lisäämällä raakalietteen määrää tehostamalla esisaostusta kemiallisesti. Raakalietteen kaasuntuotanto on korkeaa ja toisaalta tehokas esisaostus vähentää aktiivilietteen ilmastustarvetta orgaanisen aineksen vähentyessä ja alentaa siten ilmastuksen energiakustannuksia.

Termofiilisen mädätyksen hyötynä on suurempi orgaanisen aineksen hajotus, joka tarkoittaa myös suurempaa kaasun tuotantoa. Tämä taas tarkoittaa pienempiä lietemääriä sekä apukemikaalien määriä mädätetyn lietteen kuivauksessa, vähäisempää linkouksen tarvetta sekä pienempiä kuljetusmääriä loppusijoitukseen. Termofiilisesti mädätettyä ja mekaanisesti kuivattua lietettä voidaan käyttää sellaisenaan maaparannusaineena, joka vähentää selvästi loppusijoituksesta aiheutuvia kustannuksia. Termofiilisen mädätyksen hyötynä on myös, että vaahtoaminen mädättämissä vähenee tai loppuu. (Kangas ym. 2011, 17-19.)

Yksinkertaisemmillaan mädätysprosessia voidaan tehostaa siten, että mädätettävän aineen kuiva-ainepitoisuutta nostetaan tiettyyn rajaan asti, joka on riippuvainen useista prosessin ylläpitoon liittyvistä asioista. Tällöin kaasuntuotto reaktoritilavuutta kohden kasvaa. Biokaasun suhteellista kaasuntuottoa reaktoritilavuutta kohden voidaan kasvattaa myös mädättämällä jätevesilietettä yhdessä biojätteen kanssa. (Tukiainen 2009, 69.) Tukholmassa on käytössä tekniikka, jossa biojätteet johdetaan viemäriin kiinteistöillä olevien jätemyllyjen läpi.

Seuraavassa kuviossa (kuvio 9) on kuvattu anaerobisen mädätysprosessin eri vaiheita:



Kuvio 9. Mädätysprosessin eri vaiheet (Latvala 2009, 30).

4.5 Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto biokaasusta (CHP)

Sähkön ja lämmön yhteistuotannolla (combined heat and power generation, CHP) päästään huomattavasti parempaan lämmön- ja sähköntuotannon kokonaishyötysuhteeseen, kuin tuotettaessa sähkö ja lämpö erikseen. Tämä johtuu siitä, että usein sähkön tuotantoprosessissa syntyy paljon hukkalämpöä, jonka talteenotolla saadaan kokonaishyötysuhdetta parannettua. (Anttonen 2010, 2.)

Jätevedenpuhdistamoilla kaikkein yleisimmät biokaasun hyödyntämiskäytännöt olivat vuonna 2007 kaasumoottori sekä kaasumoottorin ja lämpökattilan yhdistelmä, siten että 14 laitoksesta neljällä on kaasumoottori, viidellä kaasumoottorin

ja lämpökattilan yhdistelmä, yhdellä kaasugeneraattori ja neljällä pelkästään lämpökattila. Joillain laitoksilla kaasumootoreita tai lämpökattiloita on useampia. (Kuittinen 2008, 14–27.)

Biokaasun energiasisältö riippuu suurimmalta osin sen sisältämästä metaanista. Puhtaan metaanin energiasisältö on $35,88 \text{ MJ/m}^3$ eli $9,97 \text{ kWh/m}^3$ (Maakaasuyhdistys 2008, 27). Arviolaskelmissa metaanin energiasisältö voidaan pyöristää 10 kWh/Nm^3 . (Lehtomäki ym. 2007, 45) Siten biokaasun energiasisältö voi vaihdella $3\text{--}7,5 \text{ kWh/Nm}^3$ ($10,8\text{--}27 \text{ MJ}$) biokaasua, biokaasun metaanipitoisuuden ollessa 30–75 %.

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto CHP on erittäin yleistä nykypäivän biokaasulaitoksilla sen hyvän kokonaishyötysuhteen ansiosta. Nykypäivän tekniikalla voidaan päästä lämmön ja sähkön yhteistuotannossa jopa noin 85–90 % kokonaishyötysuhteeseen ja näin ainoastaan 10–15 % biokaasun sisältämästä energiasta menee hukkaan. Kokonaishyötysuhde on kuitenkin yleisesti pienen kokoluokan laitteistoilla pienempi kuin suuren kokoluokan tekniikalla. Myös sähkön tuotantohyötysuhde vaihtelee tuotantotavasta riippuen, mutta sekin on maksimissaan 40 %. (Deuplein ja Steinhauser 2008, 367.)

Arviolta puolet nykypäivän biokaasulla toimivista lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksista käyttää ottomootoritekniikkaa hyödyntävää kaasumootoria ja puolet diesel-mootorin tekniikkaa hyödyntäviä kaksoispolttoainemootoreita (dual-fuelmootori). Myös mikroturbiinit ovat alkaneet yleistyä pienen kokoluokan lämmön ja sähkön yhteistuotannossa. Pienen kokoluokan sähkön ja lämmön yhteistuotannossa olisi myös mahdollista käyttää Stirling-mootoria tai polttokennoa, mutta nämä ovat vielä nykypäivän erittäin harvinaisia ja näin niitä ei käsitellä tässä työssä yksityiskohtaisemmin. Stirling-mootori ja polttokenno voivat kuitenkin kasvattaa suosiotaan tulevaisuudessa tekniikan kehittyessä (Deuplein ja Steinhauser 2008, 367).

4.5.1 Kaasumoottori

Kaasumoottoreita on Suomessa käytössä useilla jätevedenpuhdistamoilla ja näiden käytöstä on jo pitkä kokemus. Kaasumoottori muistuttaa tavallista polttomoottoria, mutta polttoaineena on biokaasu. Moottori pyörittää generaattoria, jonka avulla tuotetaan sähköä. Syntyvistä savukaasuista ja jäähdytysvedestä on mahdollista ottaa talteen sähköntuotannon sivutuotteena syntyvää lämpöä. Jos tämä moottorin tuottama lämpö hyödynnetään, saavutetaan korkea 80-90 %:n kokonaishyötysuhde. Yksistään sähköntuotantoon käytettäessä kaasumoottorin hyötysuhde jää noin 35 %:iin. Pienemmillä yksiköillä hyötysuhde on tätä alhaisempi. NykYTEKNIKALLA varustetuilla kaasumoottoreilla on mahdollisuus päästä jopa 45 % sähköntuottosuhteeseen. (Tukiainen 2009, 70.)

Kaasumoottoreiden perushuoltoväli, jossa tehdään esimerkiksi öljynvaihto, on 2000-5000 tuntia. Suuremman peruskorjauksen väli on noin 20000 tuntia. Kaasumoottoreiden tekniikka perustuu normaaliin polttomoottoritekologiaan, joten yksinkertaisimmat huollot on helppo tehdä myös omaa työpanosta käyttäen. (Vartiainen ym. 2002, 17.)

Lämpöä saadaan otettua talteen moottorin jälkeisistä savukaasuista, johtamalla kuumat savukaasut lämmönsiirtimen läpi. Lämmönsiirtimen toisena kiertoaineena on vesi, joka lämpenee savukaasujen vaikutuksesta. (Anttonen 2010, 23.)

Kaasumoottoreiden tekniikan kehittymisen myötä uusimmat kaasumoottorit sievät hyvin biokaasun sisältämiä epäpuhtauksia. Lisäksi uusia, pieniä malleja on kehitetty nimenomaan biokaasukäyttöä ajatellen. (Tukiainen 2009, 71.)

Kaasumoottoreiden keskimääräinen kokonais- ja sähköntuottohyötysuhde on korkeampi täydellä kuormalla kuin mikroturbiineilla. Yleisesti sähkön ja lämmön yhteistuotantoon suunnitellut kaasumoottorit ovat vakiokierrosluvulla käyviä, joten sähköntuotannon hyötysuhde pienenee kuorman pienentyessä. Markkinoilla on jo kuitenkin tietyissä kokoluokissa laajan säätöalueen omaavia moottoreita. (Anttonen 2010, 29.)

4.5.2 Mikroturbiini

Mikroturbiini soveltuu sähkön ja lämmön tuottamiseen biokaasusta. Yhden mikroturbiinin koko on tyypillisesti välillä 25-500 kW. Yksistään sähköntuotantoon käytettynä mikroturbiinin hyötysuhde jää 25-40 %:iin. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa tyypillinen hyötysuhde on 80 % (Soares 2007). Kokonaishyötysuhteeksi voidaan saada sähkön ja lämmön yhteistuotannossa jopa 85 % otettaessa savukaasuista hukkalämpöä hyötykäyttöön (Anttonen 2010, 32).

Mikroturbiinien etuihin lukeutuu vähäinen melu ja tärinä sekä kaasumoottoria alhaisemmat asennus-, huolto- ja kunnossapitokustannukset. (Soares 2007). Suomessa mikroturbiinit (3 kpl) ovat olleet käytössä Tampereen Raholan jätevedenpuhdistamolla vuodesta 2010 alkaen. Niillä tuotettiin vuonna 2012 sähköä 1168 MWh ja lämpöä 2054 MWh (Tampereen Vesi 2013). Lisäksi mikroturbiineja on käytössä useilla kaatopaikoilla eri puolilla Suomea.

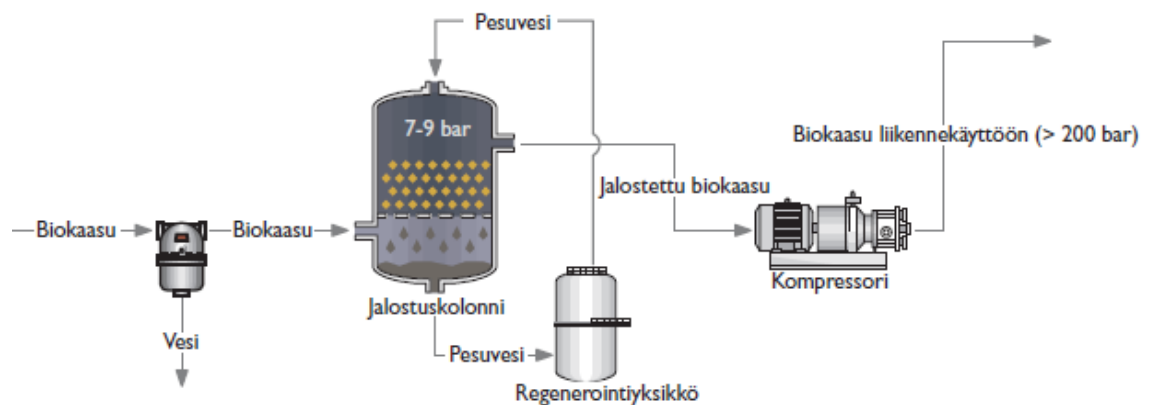
4.5.3 ORC

ORC -laitteisto (Organic Rankine Cycle) soveltuu erityisen hyvin matalien lämpötilojen hyödyntämiseen. ORC -kone on höyryturbiiniin perustuva voimakone, jossa höyrystinpiiri liitetään kuumaöljykierron välityksellä lämmön lähteeseen tai höyrystin sijoitetaan suoraan savukaasukanavaan. ORC -kone tuottaa sähköä noin 15-20 % sen käyttämästä lämpövirrasta kun lämmön lähteen lämpötila on 300-500 °C. (Reinikainen 2014.)

Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla vuonna 2014 käyttöönotetulla ORC -laitteistolla hyödynnetään kaasumoottorin pakokaasulämpöä ja tuotetaan tästä sähköä. Kaasumoottorin ja ORC -laitteiston yhdistelmällä päästään korkeampaan sähköntuotannon hyötysuhteeseen. Prosessissa käytettävä kuumaöljy on tolueni. (Korhonen 2014).

4.6 Liikennepolttoaineen valmistus biokaasusta

Biokaasua voidaan jalostaa myös liikennekäyttöön soveltuvaksi. Tällöin siitä poistetaan hiilidioksidi sekä mahdolliset rikkiyhdisteet. Jäljelle jää lähes puhdas metaani ja tuote voidaan rinnastaa maakaasuun. Jalostettua biokaasua voidaan käyttää bi-fuel -autoissa, joissa on tankki bensiinille ja kaasulle tai mono-fuel -autoissa, joissa on tankki pelkästään kaasulle. Paineistettu metaani tankataan ajoneuvoon noin 200 bar paineeseen. (Latvala 2009, 47.)



Kuvio 10. Kaavio biokaasun jalostamisesta liikennekäyttöön (Latvala 2009, 47).

Biokaasu on uusiutuva liikennepolttoaine, koska sen valmistuksessa käytettyjen bioresurssien hiili vapautuisi joka tapauksessa luonnollisesti ilmakehään lahoamisen tai mätänemisen kautta. Siksi biokaasun poltto ei lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta päinvastoin kuin uusiutumattomien polttoaineiden poltto (Laakkonen & Lampinen 2010, 8).

Biokaasun energiatiheys massayksikköä kohti (50 MJ/kg) on korkeampi kuin bensiinin tai dieselöljyn (41-43 MJ/kg), mutta tilavuusyksikköä kohti bensiinillä ja dieselöljyllä on suurempi energiatiheys, noin 5 –kertainen verrattuna paineistettuun biokaasuun (CBG) ja 1,8 –kertainen verrattuna nesteytettyyn biokaasuun (LBG). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että samankokoisella polttoainetankilla ajaa bensiinillä ja dieselöljyllä pidemmän matkan kuin biokaasulla (Laakkonen & Lampinen 2010, 13). Tämän vuoksi kaasuautoissa on oltava suuret polttoainesäiliöt,

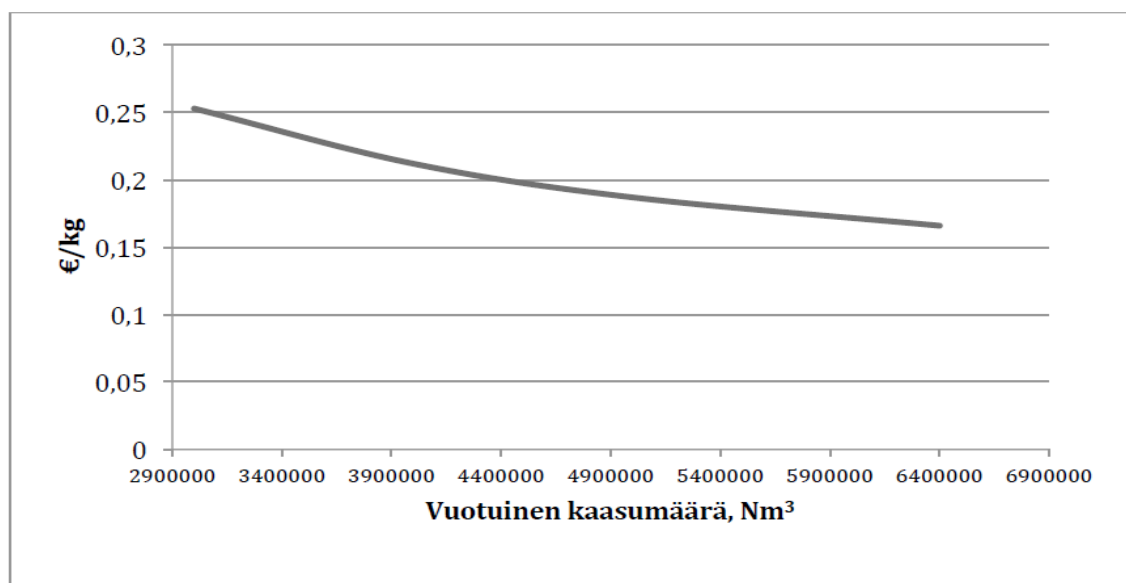
mutta silti niiden toimintasäde ei ole niin pitkä kuin nestemäisiä polttoaineita käyttävissä autoissa. Esimerkiksi maakaasubussissa toimintasäde voi olla maksimissa noin 400–450 km. (Nylund & Aakko-Saksa 2007, 68–73.)

Biokaasun jalostamiseen on useita tekniikoita, joista vakiintunein on vesipesu. Tällöin biokaasu syötetään noin 7-9 barin paineessa vesikolonnein, jossa hiilidioksidi sitoutuu veteen. Vesi voidaan regeneroida erillisessä strippauskolonnissa ja käyttää uudestaan, tai se voidaan viemäroidä puhdistettavaksi. Veden asemasta voidaan myös käyttää erilaisia kemikaaliliuoksia, joiden teho on vettä parempi. (Latvala 2009, 47.)

Taulukko 6. Erilaisten jalostusmenetelmien vertailua (De Hullu et.al 2008).

Teknologia	Kustannus/jalostettu snt/kWh	Tuotto %	Puhtaus %
Amiinipesu	2,8	90	98
Vesipesu	1,5	94	98
PSA	2,6	91	98
Kryotekniikka	4,0	98	91
Kalvotekniikka	2,2	78	89

Vesipesu erottuu taulukosta edullisimpana jalostusmenetelmänä ja siksi sen käyttö on yleisintä (Haimila 2015, 17).



Kuvio 11. Jalostuksen kustannus kaasumäärään nähden (Haimila 2015, 88).

Syyskuussa 2014 Suomessa oli 24 julkista biokaasun tankkausasemaa, jotka kaikki ovat CBG100 –asemia eli myyvät sataprosenttista biokaasua paineistettussa muodossa. Vuonna 2013 jätevedestä tuotetun liikennebiokaasun osuus oli noin 75 %. Liikennebiokaasun tuotanto kasvoi vuonna 2013 lähes kuusinkertaiseksi edellisvuoteen nähden. (Lampinen 2014, 18.)

Biokaasusta jalostettua liikennepolttoainetta olisi mahdollisuus tuottaa käytettäväksi esim. asutuskeskusten jätevedenpuhdistamoilla. Tämä parantaisi kaasuautojen käytettävyyttä ja vähentäisi siten autoilun aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. (Hytönen 2013, 47.)

Ruotsin jätevedenpuhdistamoilla (mm. Sundsvallin vuodesta 2010 lähtien) käytössä oleva tekniikka on LBG tekniikkaa käyttävää, joka soveltuu Laakkosen (2011) mukaan myös pienemmille laitoksille. LBG (Liquefied BioGas) laitos on rakennettu tämän jälkeen myös Tukholmaan Louddenin jätevedenpuhdistamolle.

Biokaasun käyttöä liikennepolttoaineena koskevassa kyselyssä (Hytönen 2013, 39) noin 89 % vastaajista koki jakeluverkoston puuttumisen erittäin tärkeäksi syyksi biokaasun käytön vähäisyydelle Suomessa. Myös tuotantotuen puuttuminen oli erittäin tärkeä tai tärkeä syy 82 %:n mielestä.

Tukiaisen (2009, 106) tekemissä laskelmissa on puolestaan todettu, että mikäli kaikki yli 10 000 AVL jätevedenpuhdistamoilla tuotettu biokaasu käytettäisiin ajoneuvopolttoaineena korvaamaan dieseliä, olisivat saavutettavat päästöhyvitykset enimmillään 75 000–101 000 t CO₂ekv/a.

4.7 Lietteen poltto

Lietteen energiasisältö voidaan ottaa hyötykäyttöön myös polttamalla, jolloin pyritään hapettamaan lietteen orgaaninen aine täydellisesti korkeassa lämpöti-

lassa. Polttoa voidaan soveltaa joko mekaanisesti tai termisesti kuivatulle lietteelle. Muodostunut tuhka vaatii soveltuvan käsittelyn, sillä siihen konsentroituvat lietteen mahdollisesti sisältämät epäorgaaniset haitta-aineet (esim. raskasmetallit). Kangas ym. (2011, 15.)

Polttoprosessissa syntynyt energia voidaan hyödyntää esimerkiksi lietteen kuivauksessa tai kaukolämpönä ja/tai sähköinä. Tuotettu energiamäärä riippuu voimakkaasti poltettavan lietteen vesipitoisuudesta, sen sisältämän orgaanisen aineen määrästä sekä polttoprosessin säädöistä (Rulkens 2008). Lietteiden alemmaksi lämpöarvoksi on esitetty eri lähteissä erilaisia arvoja. Fytili et al. (2008) mukaan primäärilietteiden lämpöarvot kuiva-ainekiloa vaihtelevat välillä 23 - 29 MJ aktiivilietteiden lämpöarvon ollessa tasolla 16-23 MJ/kg TS. Määtys pienentää lietteiden lämpöarvoa (esim. primäärilietteen 9-23 MJ/kg TS).

Lietteiden poltto voidaan toteuttaa joko erillisessä lietteenpolttolaitoksessa, rinnakkaispolttolaitoksessa tai jätteenpolttolaitoksessa. Lietettä on mahdollista polttaa myös sementtiuuneissa tai teollisuuden polttolaitoksissa (Stasta ym. 2006). Tyypillisiä lietteenpolttotekniikoita ovat arina- ja leijupoltto. Yhdyskuntalietteiden poltossa paras mahdollinen tekniikka (BAT) on Tukiaisen (2009, 76) mukaan leijupetipoltto. Eri polttotekniikat eroavat mm. sähköntuotannon hyötysuhteeltaan. Arinapoltossa sähköntuotannon hyötysuhde on alhaisin, 20-25 %, leijupetikattilassa 25-30 % ja kaasutuksessa 30-40 % (Vesanto 2006).

Kangas ym. (2011, 66) ovat tutkimuksessaan todenneet, että kaiken kaikkiaan lietteiden polton ketjujen lämpötaseet ovat edullisemmat kuin mädätysketjujen. Tutkimustulosten perusteella lietteiden kuiva-ainepitoisuuden nosto ennen polttoa termisesti kuivaamalla on kannattavaa, koska lietteiden kuiva-ainepitoisuuden nostaminen parantaa sen lämpöarvoa siinä määrin, että energian korvaushyödyt kasvavat merkittävästi.

Lietteiden polttoa säädellään Valtioneuvoston asetuksessa (Vna 362/2003). Lopputuotteena syntyvää tuhkaa ei voida hyödyntää lannoitevalmisteasetuksen (MMM 12/07) mukaan mitenkään, joten sen sijoituspaikka on kaatopaikka.

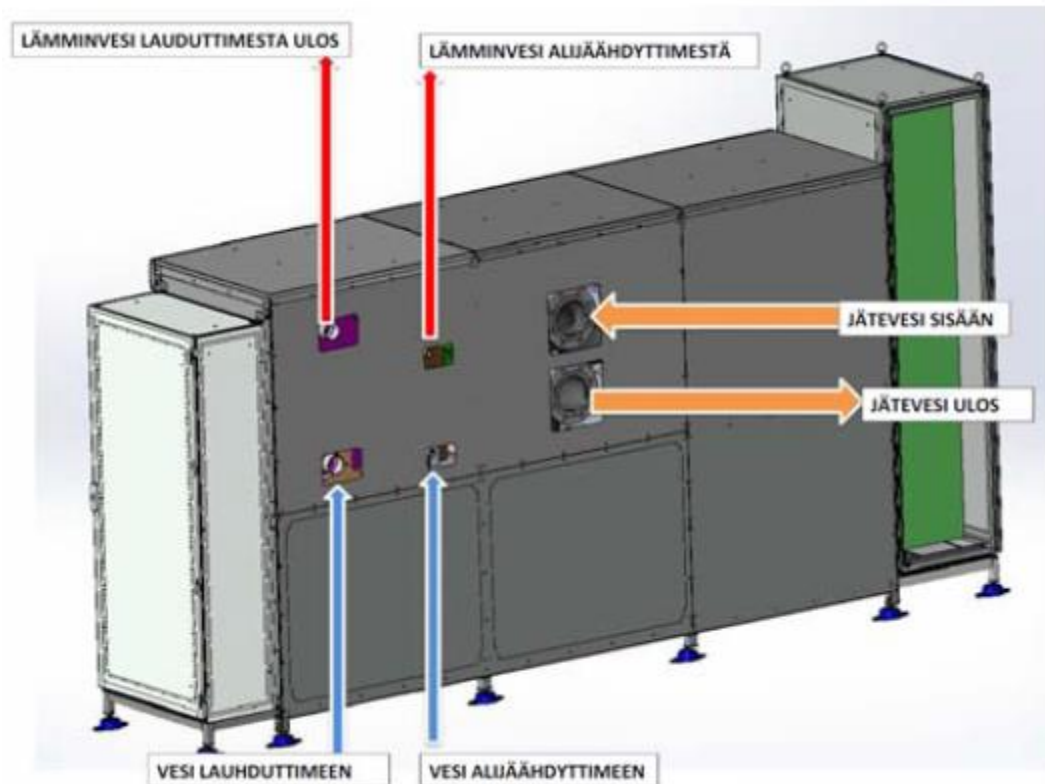
Puhdistamolietettä ei toistaiseksi polteta Suomessa millään laitoksella. Lapinlahden Ekolämpö Oy:n laitoksella on kuitenkin lupa polttaa rinnakkaispolttona jätevedenpuhdistamon termisesti kuivattua lietettä (Tukiainen, 2009, 76).

4.8 Lämpöpumppu

Lämpöpumppu on laite, jonka avulla voidaan siirtää lämpöä alemmasta lämpötilasta korkeampaan. Lämpöpumpun toiminta perustuu laitteen putkistossa kiertävään kylmäaineeseen, joka toimii lämpöpumpussa lämpöä kuljettavana työainena. Työaine saadaan kiertämään putkissa sähköllä toimivan kompressorin avulla. Kylmäaine on ainetta, jonka kiehumispiste on alhainen ja joka sitten höyrystyy matalassa lämpötilassa. (Tukiainen 2009, 62.)

Lämpöpumpun toiminnan tehokkuutta kuvaa lämpökerroin (COP), joka ilmaisee saavutetun lämpötehon suhteessa laitteen sähkötehoon. Esim. lämpökertoimen olleessa kolme lämpöpumppu tuottaa 3 kW lämpöä ja kuluttaa samalla 1 kW:n sähköä. Lämpökerroin riippuu lämmön luovuttajan ja lämmön vastaanottajan lämpötiloista ja lämpötilaerosta. (Tukiainen 2009, 62.)

Lämpöpumppuja on käytetty jätevedenpuhdistamoilla jo yli kymmenen vuoden ajan hyödyntämään jäteveden sisältämää lämpöenergiaa. Käytössä olevia laitteistoja on mm. HSY:llä (Katri Valan kaukolämpö- ja kaukojäähdytyslaitos), Turun Kakolanmäen jätevedenpuhdistamolla, Vaasan kaupungin jätevedenpuhdistamolla sekä Joensuun Kuhasalon puhdistamolla. Kaikissa näissä tapauksissa osa puhdistetusta vedestä kierrätetään lämpöpumppuyksikön kautta. Laskennallisesti kierrätys pudottaa puhdistamolta vesistöön lähtevän jäteveden lämpötilaa esim. Kuhasalon tapauksessa 5,5 °C. (Ramboll 2013.)



Kuvio 12. Jätevedenpuhdistamon lämpöpumppuyksikön periaatekuva (Ramboll 2013).

Suomen jätevesistä olisi (Tukiaisen 2009, 109) mukaan mahdollista ottaa talteen n. 3,5 TWh/a lämpöä, joskin taloudellisesti kannattavan talteenoton potentiaali on kuitenkin huomattavasti pienempi. Jätevesilämpöpumppuja voidaan käyttää tuottamaan lämpöä kaukolämpöverkkoon tai korvaamaan laitosten omaa sähkö- tai öljylämmitystä.

5 Opinnäytetyön tarkoitus ja tehtävä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää mm. prosessikaavioina esitettyjen energiataseiden avulla Joensuun Kuhasalon jätevedenpuhdistamon energiaomavaraisuus vuoden 2013 lopun tilanteessa sekä tarkastella vuonna 2014 suo-

ritettujen investointien merkitys ja kannattavuus energia-omavaraisuuden kehittymisen näkökulmasta osana laitoksen nykytilanteen kuvausta. Opinnäytetyön varsinaisena kehittämisteemana on tarkoitus selvittää ja pohtia niitä toimenpiteitä, joita puhdistamolla olisi tulevaisuudessa mahdollista tehdä energia-omavaraisuuden edelleen parantamiseksi. Merkittäviä tarkastelukohtia tältä osin on mm. biokaasun kokonaisvaltainen ja nykyistä tehokkaampi hyödyntäminen, sekä toimenpiteet ja mahdollisuudet jäteveden ilmastusenergian kulutuksen pienentämiseksi. Kehittämisvaihtoehdot kuvataan myös prosessikaavion omaisina energiataseina.

Perinteisesti jätevedenpuhdistamon suurin energiankulutus aiheutuu jäteveden ilmastuksesta. Myös lietteenkäsittelyn osuus energiankulutuksesta voi olla tapauskohtaisesti suuri kuten Kuhasalon tapauksessa, jossa koneellisesti kuivaatun lietteen jatkokäsittelynä on lietteen terminen kuivaus. Lietteen termistä kuivausta ei ole Suomessa käytössä kuin kahdella jätevedenpuhdistamolla.

Kuhasalon jätevedenpuhdistamon energiatehokkuus ei ole lähtötietojen pohjalta arvioituna aivan vastaavien kokoisten kaupunkien tasolla, kuten edellä olevasta taulukosta (taulukko 1) voi päätellä. Energiatehokkuutta tukevia ja energiaomavaraisuutta parantavia kehittämiskohteita on laitokselta siis löydettävissä.

Tulevaisuudelta voi perustellen hyvinkin odottaa, että energiatehokkuus tulee entistä enemmän osaksi jätevedenpuhdistamoiden toiminnan kehittämistä. Ympäristönsuojelulain edellyttämä parhaan käyttökelpoisen tekniikan käsite (BAT) tulee tarkentumaan myös jätevedenpuhdistamoiden osalta ja energiatehokkuutta kuvaavat asiat ovat osana tätä parhaan käyttökelpoisen tekniikan käsitettä. Asiaa ennakkoiden on eduksi, että laitoksella on suoritettu tätä tukevia toimenpiteitä ja erilaisia energiatehokkuuteen liittyviä kehittämismahdollisuuksia on selvitetty tulevaisuutta ajatellen.

5.1 Kehittämisteeman rajaus

Työssä tarkasteltavat kehittämistoimet (pääteemat) on työssä rajattu seuraavasti:

- A Biokaasun kokonaisvaltainen, mahdollisimman tehokas hyödyntäminen
- B Energiankulutuksen vähentämismahdollisuudet jäteveden ilmastuksessa

Asioiden tärkeysjärjestys on edellä esitetyn mukainen. Teema A pitää sisällään syvällisemmän ja yksityiskohtaisemman tarkastelun kehittämisteemasta ja on siten opinnäytetyön päätutkimuskohde. Teema pitää sisällään myös vuonna 2014 toteutetun lämpöpumppulaitoksen toiminnan tarkastelun, koska se välillisesti liittyy biokaasun kokonaisvaltaiseen hyödyntämiseen. Teema B on tätä selvästi suppeampi ja sisällöltään kevyempi vaihtoehtoihin perustuva tarkastelu. Työ ei pidä sisällään yksityiskohtaista tarkastelua puhdistamon muusta energiankulutuksesta esim. pumppausten, laitteistojen ja ilmanvaihdon osalta. Kuivatun lietteen loppukäsittelyä ei tässä opinnäytetyössä myöskään tarkastella yksityiskohtaisemmin, eikä myöskään lietteenkäsittelyn rejektivesien käsittelyä.

5.2 Kehittämisteeman tunnistetut ongelmat

Kehittämiskohteiden tunnistetut ongelmat ovat tällä hetkellä seuraavat:

- A Biokaasun hyödyntäminen ei ole maksimaalista. Kaasumoottorin (CHP -laitos) käytössä on ajoittaisia ongelmia ja hyötysuhde etenkin lämmöntuotannossa on ollut aleneva. CHP –laitos on kokonaisuudessaan jo vanhahko (otettu käyttöön v. 2000). Soihtupolton osuus on viime vuosina kasvanut. Laitoksella on käytetty lämmitysöljyä vuosien 2010-2013 keskiarvona noin 4100 MWh vuodessa. Lämpöpumppulaitos on otettu käyttöön huhtikuussa 2014. Tämän laitoksen toimivuus ja muutokset energiataseisiin ovat tärkeitä selvittää.
- B Puhdistamolla on edelleen käytössä alkuperäiset OKI -tyypin ilmastimet, joiden energiatehokkuus ei ole aivan uusimman käytössä olevan ilmastustekniikan mukaista. OKI –ilmastimet on alun perin suunniteltu

niteltu metsäteollisuuden jätevesien ilmastukseen. Energiatehokkuuden lisäksi ilmastuksen toteutustavalla on merkitystä mm. aktiivilietteen flokinmuodostukseen ja siten lietteen laskeutumisedellytyksiin ja viime kädessä puhdistustehokkuuteen. Kuhasalon puhdistamon energiankulutusta kuvaavat parametrit ovat korkeammat kuin muilla vastaavankokoisilla puhdistamoilla.

6 Työn toteutus

6.1 Tapaustutkimus (Case study)

Ojasalo ym. (2009, 37) toteavat, että mikäli kehittämistehtävänä on tuottaa yritykselle kehittämis ehdotuksia, todennäköisin lähestymistapa on tapaustutkimus. Tapaustutkimuksen tavoitteena on tutkitun tiedon tuottaminen kohteesta, eli siinä painottuvat tavanmukaisen tutkimuksen tavoitteet. Kehittämistyössä tapaustutkimus soveltuu hyvin lähestymistavaksi, kun halutaan ymmärtää syvällisesti jonkin organisaation tai prosessin tilannetta ja tehtävänä on ratkaista siellä ilmennyt ongelma tai tuottaa tutkimuksen keinoin kehittämis ehdotuksia.

Olen valinnut opinnäytetyöni tutkimusmenetelmäksi tapaustutkimuksen edellä mainituin perustein. Tässä tapauksessa tutkimuksen kohde eli tapaus on edellä kahteen pääteemaan (A, B) kuvatut puhdistamon prosessiosat, joista teema A on siis päätutkimuskohde.

Ojasalo, Moilanen & Ritalahti (2009, 34-35) mukaan tietoperusta on järjestelmälliseen ajatteluun perustuva tavoitteellinen kokonaisuus. Tietoperusta muodostaa kehittämistyön perustan kokoamalla yhteen oleellisen kehittämiseen liittyvän olemassa olevan tiedon.

Lähtöaineistoon on kuulunut puhdistamolla kerätyt erilaiset mittaustiedot, joiden aikasarjat ovat pitkiä (vuosia ja vuosikymmeniä). Tietoa on mm. jäteveden virtaa-

mista, sähköenergian kulutuksesta eri kulutuskohteittain, lämmitysöljyn kulutuksesta, kaasun tuotosta jne. Lisäksi tietoa on mm. biokaasulla tuotetun lämpöenergian määrästä, tuotetun sähköenergian määrästä (CHP –laitos), lietteen (syötteen) ominaisuuksista jne. Puhdistamolle on asennettu vuoden 2014 aikana tehtyjen investointien yhteydessä uusia energiamittareita, joilla voidaan seurata energiankulutusta huomattavasti yksityiskohtaisemmin ja tarkemmin. Näitä aineistoja on kokonaisuudessaan käytetty hyväksi lähtötilanteen kartoituksessa ja energiataseiden laskennassa.

Lisäksi lähtöaineistoon on kuulunut mm. puhdistamon vuosiyhteenvetoreportit, erilaiset konsulttien tekemät selvitykset (mm. lämpöpumppulaitoksen rakentamisesta, lietteenkäsittelyn tehostamisesta), prosessiosien (laitteistojen) tekniset kuvaukset ja puhdistamosta aiemmin tehdyt selvitykset ja aiheeseen liittyvät opinäytetyöt. Kuhasalon puhdistamon kuormitustietojen sekä vertailtavien puhdistamoiden kuormitustietojen poiminnassa olen käyttänyt ympäristöhallinnon VAHTI-tietojärjestelmää.

6.2 Työssä käytetyt tutkimusmenetelmät

Tapaustutkimukselle on tyypillistä erilaisten tutkimusmenetelmien käyttö. Tapaustutkimusta on mahdollista tehdä niin määrällisin kuin laadullisinkin menetelmin tai näitä yhdistelemällä.

Pääosin työssä on käytetty laadullisia eli kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Laadullinen tutkimus etenee käytännön ilmiöstä ja havainnoista yleiselle tasolle eli empiriasta käytäntöön (Okkonen 2014). Työssä käytetyt tutkimusmenetelmät ovat seuraavat:

- haastattelu
- havainnointi
- dokumenttianalyysi
- prosessikaavio

Haastattelut olen tehnyt täsmähaastatteluina pääosin puhelimitse ja sähköpostitse. Havainnointia olen tehnyt lähtöaineiston läpikäynnin ja puhdistamolla käyntien yhteydessä. Dokumenttianalyysiä olen puolestaan käyttänyt olemassa olevan laaja-alaisen aineiston käsittelyssä. Energiataseita kuvaavilla prosessikaavioilla olen pyrkinyt havainnollistamaan lähtötilannetta, nykytilannetta ja työssä esitettyjä kehittämisvaihtoehtoja ja siten esille tuomaan eri kehittämistoimilla saavutettavia hyötyjä energiatalouden näkökulmasta. Lisäksi benchmarking on sovellettu tähän kehittämistyöhön erittäin hyvin, koska muutamilla suurimmilla Suomen jätevedenpuhdistamoilla on viime vuosina suoritettu energiatehokkuutta tai energiaomavaraisuutta parantavia toimenpiteitä. Olen tutustunut mm. kesäkuussa 2014 HSY:n Viikinmäen jätevedenpuhdistamon energiainvestointeihin. Näiden vertailu ja eri hankkeissa saatu kokemus on ollut työssä keskeistä. Myös ennakointi on tutkimusmenetelmänä näkynyt työni sisällössä esim. varautumisella uudistuneen ympäristönsuojelulain haasteisiin.

7 Kuhasalon jätevedenpuhdistamon energiatalous

Kuhasalon jätevedenpuhdistamo on mitoitettu seuraavalle kuormitukselle (Kangas 2004, 34).

AVL	as.	76 000
Virtaama	m ³ /d	25 000
	m ³ /h	1 700
BOD –kuorma	kg/BOD/d	7000
P –kuorma	kg P/d	260

Mädättämön mitoitus on seuraava (Ramboll 2013).

Mädättämöön tuleva kuiva-ainemäärä	10 000 kg TS/d
Mädättämöön tuleva orgaaninen aine	5 600 kg VS/d
Tilavuus	4000 m ³

Lämpötila	35 °C
Viipymä	22,8 d
Tuleva virtaama	200 m ³ /d
Poistettava virtaama	150 m ³ /d
Kaasukellon tilavuus	580 m ³
Kaasun tuotto	noin 800 000 m ³ /a

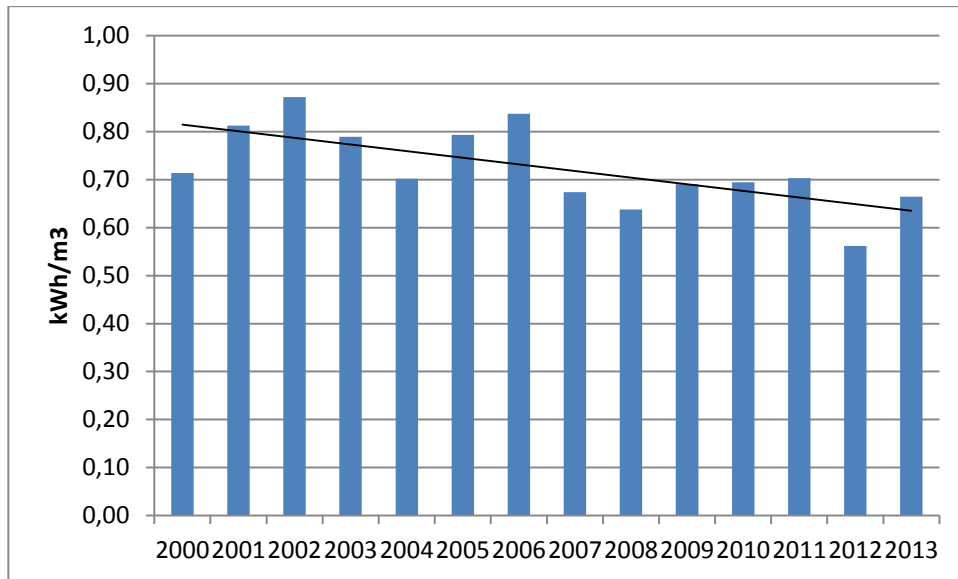
7.1 Energian kulutus

Puhdistamolla mitattu sähkön kokonaiskulutus vuosien 2010-2013 keskiarvona on 4278 MWh, josta ostosähkön osuus on 3458 MWh ja itsetuotetun 820 MWh. Puhdistamon sähkönkulutus on ollut suurempien kaupunkien puhdistamoihin verrattuna selkeästi korkeampi. Sähköenergian kulutuksen kehitystrendi on kuitenkin ollut viime vuosina aleneva yleisimpien tarkasteluparametrien osalta.

Puhdistamotilojen lämmitysenergian tarve on ollut vuosien 2010-2013 keskiarvona laskettuna noin 3733 MWh vuodessa. Merkittävän osan tästä vie mädättämöiden lämmitys (72 %). Lietteen terminen kuivaus on vuosien 2010-2013 keskiarvona kuluttanut lämmitysenergiaa 2642 MWh (öljy).

7.1.1 Energiankulutus käsiteltyä jätevesimäärää kohden

Kuhasalon puhdistamolla vastaanotetun jäteveden määrä on kasvanut viime vuosina laajentuneen viemäriverkoston myötä. Puhdistamolla käsiteltiin jätevettä vuonna 2013 yhteensä 6,4 miljoonaa m³. Kuviossa 14 on esitetty jätevesivirtaamaan suhteutetun sähkön kokonaiskulutuksen kehitys vuodesta 2000 lähtien.

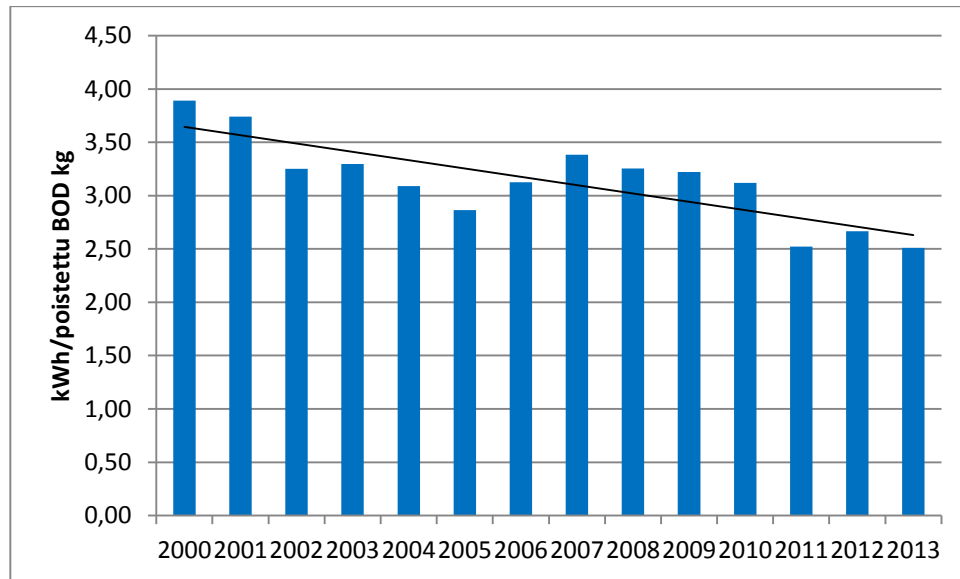


Kuvio 14. Sähkön ominaiskulutus Kuhasalossa käsiteltyä jätevesimäärää kohden.

Sähkön ominaiskulutus on ollut aleneva ja puhdistamon kokoluokkaan nähden se sijoittuu edellä olevan taulukon 2. keskimääräisiin arvoihin. Kuitenkin taulukossa 1. esitettyihin arvoihin nähden Kuhasalon puhdistamon energiankulutus on selkeästi muiden kaupunkien puhdistamoita suurempi.

7.1.2 Energiankulutus poistettua BOD kuormitusta ja OCP indeksiä kohden

Energiankulutuksen suhteuttaminen puhdistamon toimintatehokkuuteen on monessakin mielessä perustelua mm. sen takia, että puhdistamoiden ympäristöluvista määritellään puhdistamon toiminnan numeeriset lupaehdot. Kuviossa 15. on esitetty Kuhasalon puhdistamon energiatehokkuus poistettua BOD-kiloa kohden.



Kuvio 15. Sähkön ominaiskulutus Kuhasalossa poistettua BOD kiloa kohden.

Kuvio on lähes yhtenevä edellisen kanssa. Tämä johtuu siitä, että puhdistamon poistotehokkuus on BOD:n osalta ollut vakaa ja toisaalta puhdistamolle tuleva BOD -kuormitus noudattelee melko tarkasti myös virtaaman kehitystä. Taulukoon 1. verrattuna Kuhasalon ominaiskulutusarvot ovat suurempia kuin muiden kaupunkien vastaavat. Vuosien 2010-2013 alenema johtuu pääosin puhdistamon ajotavan muutoksesta, jolloin nitrifikaatio –prosessi ajettiin alas. Tällöin ilmastuksen energiatarve pieneni.

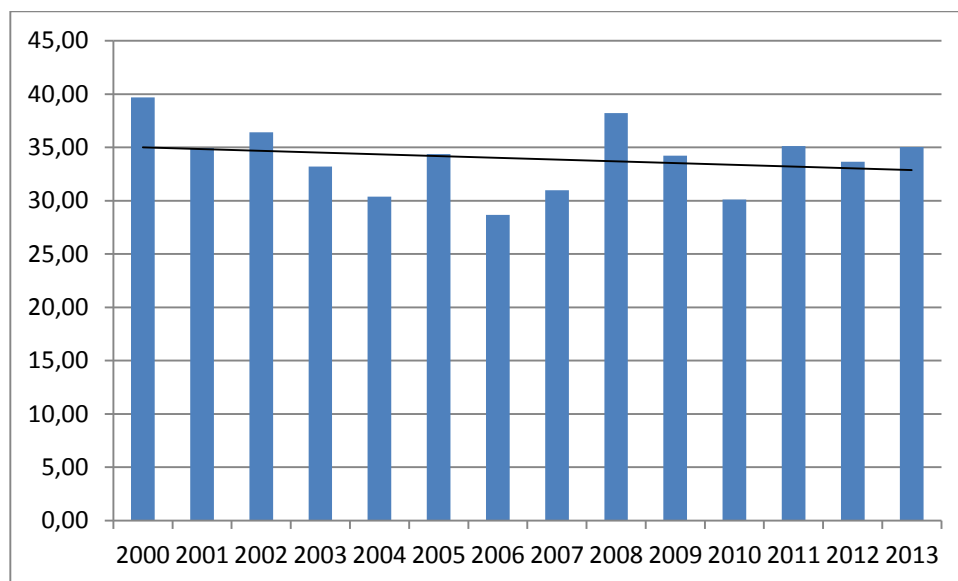
Kuhasalon puhdistamolla OCP -indeksi on ollut vuosien 2000-2013 aikana välillä 7592–10 283 t/a. Energiankulutukseen suhteutettuna vastaavat arvot ovat 425-504 kWh/poistettu OCP t, keskiarvon ollessa 457 kWh/poistettu OCP t. Kun arvoja vertaa taulukossa 1. esitettyihin, niin Kuhasalon puhdistamon sähkönkulutus on myös tämän parametrin osalta suurempi kuin taulukossa mukana olevien muiden puhdistamoiden.

7.1.3 Jäteveden ilmastuksen energiankulutus

Kuhasalon puhdistamon ilmastusaltaan tilavuus on $2 \times 3500 \text{ m}^3$ ja pinta-ala $2 \times 650 \text{ m}^2$. Altaiden vesisyvyys on neljä metriä. Altaissa on yhteensä kahdeksan OKI 85-tyypin ilmastinta. OKI- ilmastimet on suunniteltu 1980 –luvulla Outokumpu

Oy:n toimesta lähinnä metsäteollisuuden tarpeisiin. Ilmastuksen lisäksi niiden ominaisuuksiin kuuluu myös lietteen mekaaninen sekoitus (Hynninen 2009). OKI-ilmastimet ovat tyypiltään yhdistelmäilmastimia, jossa paineilmaa syötetään pyörivän roottorin siipien välittömään läheisyyteen, jolloin siivet rikkovat karkeat kuplat ja tällä tavoin parantavat hapetustehoa. Valmistajan ilmoituksen mukaan OKI-ilmastimen hapetusteho on 1,5-3,2 kg/O₂/kWh altaan syvyydestä riippuen. (Viitasaari, Peltokangas & Heinänen 1994.)

Ilmastuksen energiakulutus on ollut vuonna 2013 1521 MWh, vuosien 2000-2013 keskiarvon ollessa 1383 MWh. Seuraavassa kuviossa 6. on esitetty ilmastuksen prosenttiosuus puhdistamolla mitatusta kokonaissähkökulutuksesta vuosien 2000-2013 aikana.



Kuvio 16. Ilmastuksen osuus (%) Kuhasalon puhdistamon kokonaissähkökulutuksesta.

Pidemmän aikajänteen tarkastelussa ilmastuksen sähkökulutuksen osuus kokonaissähkökulutuksesta on ollut hieman aleneva, joskin viime vuosina varsin tasainen. Vaikka puhdistamon tulovirtaama ja orgaanisen aineksen kuormitus on viime vuosina kasvanut, on ilmastuksen sähkökulutus suhteessa laitoksen kokonaissähkökulutukseen pysynyt melko vakaana.

7.1.4 Lietteen termisen kuivauksen energiankulutus

Kuhasalon puhdistamolla on lietteen terminen kuivaus ollut käytössä vuodesta 2000 asti. Kuivausprosessi on suunniteltu käsittelemään lietettä n. 7200 tonnia vuodessa. Terminen kuivain on suoralämmitteinen ja lamellityyppinen, neljästä kuivauskammioista koostuva kokonaisuus. Kuivauksessa tarvittava kuuma kaasutuotetaan kevytöljypolttimella. Kaasun lämpötila on 130-160 °C. (Myllymaa ym. 2008, 21.)

Lietteen terminen kuivaus on energiantensiivistä, kuten aiemmin on todettu. Kuhasalon puhdistamolla muodostuvasta kuivatusta ylijäämälietteestä noin puolet johdetaan termiseen kuivaukseen ja puolet urakoitsijan hoitamaan kompostiin. Termisen lietteenkäsittelyn osuus puhdistamon kokonaissähkönkulutuksesta on viime vuosina ollut noin 7-8 %.

Lietteen terminen kuivaus kuluttaa myös runsaasti lämpöenergiaa. Lämpöenergia on Kuhasalon puhdistamolla tuotettu lämpöpumppulaitoksen valmistumiseen asti kevyellä polttoöljyllä, jonka kulutus on vuosien 2011-2013 aikana ollut lämpöarvona 2642 MWh.

Kuivaimen jätelämmön talteenoton hyötysuhteen on Myllymaa ym. (2008) arvioinut olevan 68 %. Nykyisin lämmöntalteenottolaitteisto ei ole käyttökunnossa, joten sitä ei ole otettu huomioon jäljempänä olevissa energiataselaskelmissa.

Vuonna 2014 valmistuneen lämpöpumppulaitoksen myötä öljyn käyttö lietteen termisessä kuivauksessa on loppunut. Tarvittava lämpöenergia tuotetaan biokaasulla. Toimenpiteen vaikutuksesta puhdistamon energiaomavaraisuus on parantunut kokonaisenergian kulutuksen osalta merkittävästi, mikä on hyvin nähtävissä liitteenä 2 olevassa energiataseessa.

7.1.5 Muu energian kulutus

Puhdistamolle on vuoden 2014 aikana asennettu runsaasti mittareita yksityiskoh-
taisempaan sähkönkulutuksen seurantaan. Esi-ilmastuksen nykyiset turbiini-il-
mastimet on korvattu tammikuussa 2015 pohja-asenteisilla putki-ilmastimilla. Tä-
män toimenpiteen tarkoituksena on ollut ilmastuksen tehostaminen ja biologisen
prosessin toimintaedellytysten parantaminen. Ilmastimien tarvitsema ilmas-
tusilma tuotetaan samoilla kompressoreilla kuin aktiivilietteen ilmastuskin, joten
puhdistamolla mitatut energiankulutustiedot kattavat ilmastuksen osalta nämä
molemmat prosessit.

Lämpöpumppuhankkeen yhteydessä toteutettu ilmanvaihdon poistoilman läm-
möntalteenottolaitteiston hankinta on livarin (2013) laskelmissa arvioitu saavut-
tavan vuodessa 710 MWh:n energian säästön vuodessa. Kun liitteenä 2. olevaa
energiatasetta vertaa liitteen 1. energiataaseeseen, niin kokonaisenergian kulu-
tuksessa ei ole tapahtunut näkyviä muutoksia. Lämmöntalteenoton merkitys on
ainakin ensimmäisen tarkastelujakson osalta jäänyt vaatimattomaksi.

7.2 Energian tuotanto

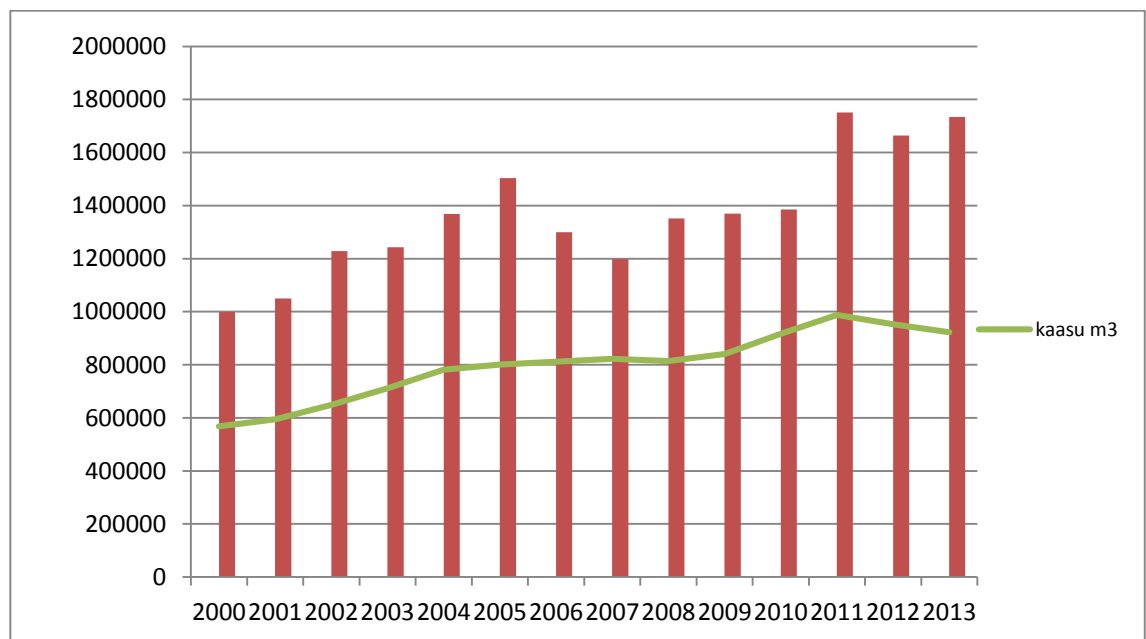
Kuhasalon puhdistamon oma energiantuotanto alkoi vuonna 1987 puhdistamon
saneerauksen ja laajennuksen valmistuttua ylijäämälietteestä tuotettavan bio-
kaasun myötä. Biokaasua poltettiin lämpölaitoksen kattiloissa. Biokaasun ener-
giakäytön monipuolistuminen tapahtui vuonna 2000 käyttöönotetun CHP-laitok-
sen myötä, jolloin oma sähköntuotanto alkoi ja biokaasua pystyttiin hyödyntä-
mään myös lämmityskauden ulkopuolella. Viimeisin oman energiatuotannon li-
säämistä koskeva investointi on vuonna 2014 valmistunut lämpöpumppulaitos,
jossa puhdistetusta jätevedestä otetaan lämpöä talteen.

7.2.1 Biokaasun tuotanto

Kuhasalon puhdistamoprosessissa syntyy n. 6500 m³ aktiivilietettä kuukaudessa, joka mädätetään kahdessa rinnakkain toimivassa 2000 m³ reaktorissa. Mädättämöihin menevän lietteen kiintoaine on n. 4,2 %, keskimääräinen viipymäaika 18,7 päivää ja orgaaninen kuormitus n. 1,53 kg/VS/ m³ d (Ramboll 2013).

Mädättämöt toimivat yksivaiheisesti mesofiilisella lämpötila-alueella, keskilämpötilan ollessa 35 °C. Mädättämöissä muodostuva biokaasu varastoidaan kahdessa kaasukellossa, joiden tilavuus on 2 x 280 m³. Kaasun tuotto on keskimäärin 1,1 m³/kg VS (Heinonen-Tanski & Poutiainen 2012, 29). Mädättämöissä on lietteen jatkuva kierrätys ja mekaaninen potkurisekoitus. Mädätetyn lietteen välivarastossa (72 m³) on sekoitus ja sieltä ei poisteta ylitettä (Kangas 2004, 34).

Biokaasun tuotanto on kasvanut lisääntyneen jätevesimäärän ja orgaanisen aineksen (BOD) myötä. Biokaasua tuotettiin vuonna 2013 923 112 m³, mikä lämpöarvoksi muutettuna kertoimella 6,5 (mm. Haimila 2015, 12) on noin 6000 MWh. Kaasuntuotannon kasvu korreloi hyvin lisääntyneen BOD -kuormituksen kanssa, mikä on kuviosta 17 selkeästi nähtävissä.



Kuvio 17. Biokaasun tuotanto suhteessa puhdistamolle tulevan orgaanisen aineen (BOD, kg) määrään.

Heinonen - Tanski & Poutiainen (2012, 31) ovat case -tutkimuksessaan simuloineet Kuhasalon puhdistamon muuttamista kaksivaiheiseksi termofiiliseksi prosessiksi ja todenneet, että luultavasti myös Kuhasalossa päästäisiin vielä nykyistäänkin korkeampaan spesifiseen biokaasuntuottoon kaksivaiheisella prosessilla. Tutkimuksessa on kuitenkin todettu Kuhasalon nykyinen kaasuntuotanto hyvälle tasolle eri tutkimuksiin verraten.

Kun Kuhasalon biokaasun tuotannon suhteuttaa puhdistamolle tulevaan orgaaniseen aineeseen (BOD) kuormitukseen, on kerroin vuoden 2013 osalta 0,53. Yhdestä puhdistamolle tulevasta BOD kilosta saa Kuhasalossa siis laskennallisesti 0,53 m³ biokaasua, joka metaaniksi muutettuna on (65 %:n mukaan) 0,34 m³ CH₄. Kirjallisuuslähteen mukaan (Karttunen 2004, 572) mukaan metaanintuoton muuntokerroin on lähes tuo sama (0,35). Seuraavassa taulukossa 7. on laskettu vastaavat arvot muutamille muille puhdistamoille Suomessa vuoden 2013 tietojen osalta.

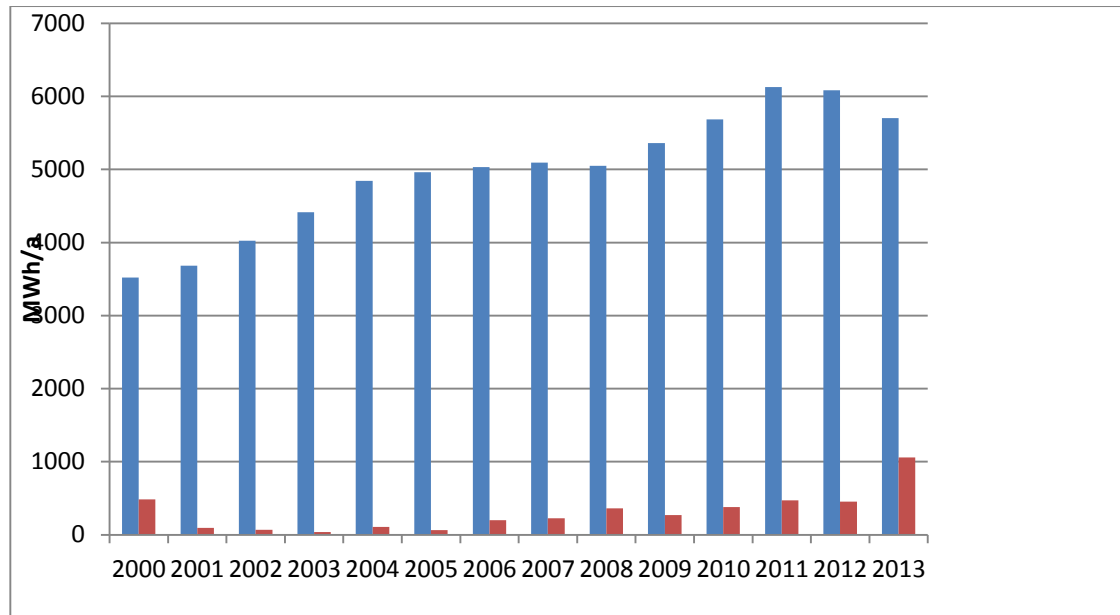
Taulukko 7. Eri puhdistamoiden biokaasun tuotanto vuonna 2013 suhteessa puhdistamolle tulevaan orgaaniseen aineeseen (BOD) (Huttunen & Kuittinen 2014, 34 ja VAHTI -tietojärjestelmä).

Puhdistamo	Biokaasu m ³ /BODkg	metaani m ³ /BODkg
Viikinmäki, Helsinki	0,65	0,43
Suomenoja, Espoo	0,55	0,36
Lehtoniemi, Kuopio	0,40	0,27
Kuhasalo, Joensuu	0,53	0,34
Tampere, Viinikmäki	0,41	0,26

Taulukosta on nähtävissä, että Kuhasalon kaasun tuotanto on samalla tasolla esim. Suomenojan puhdistamon kanssa.

Tuotetusta biokaasusta osa on jouduttu vuosittain polttamaan soihdussa. Puhdistamon energiaomavaraisuutta ajatellen huolestuttavana voi pitää sitä, että

soihtupolton osuus on viime vuosina kasvanut. Seuraavassa kuviossa on esitetty soihtupolton osuus vuosina 2000-2013. Vuoden 2013 poltto vastaa noin 56 omakotitalon vuotuista energiankulutusta (20 000 kWh/a).



Kuvio 18. Soihtupolton osuus tuotetun biokaasun energiasisällöstä.

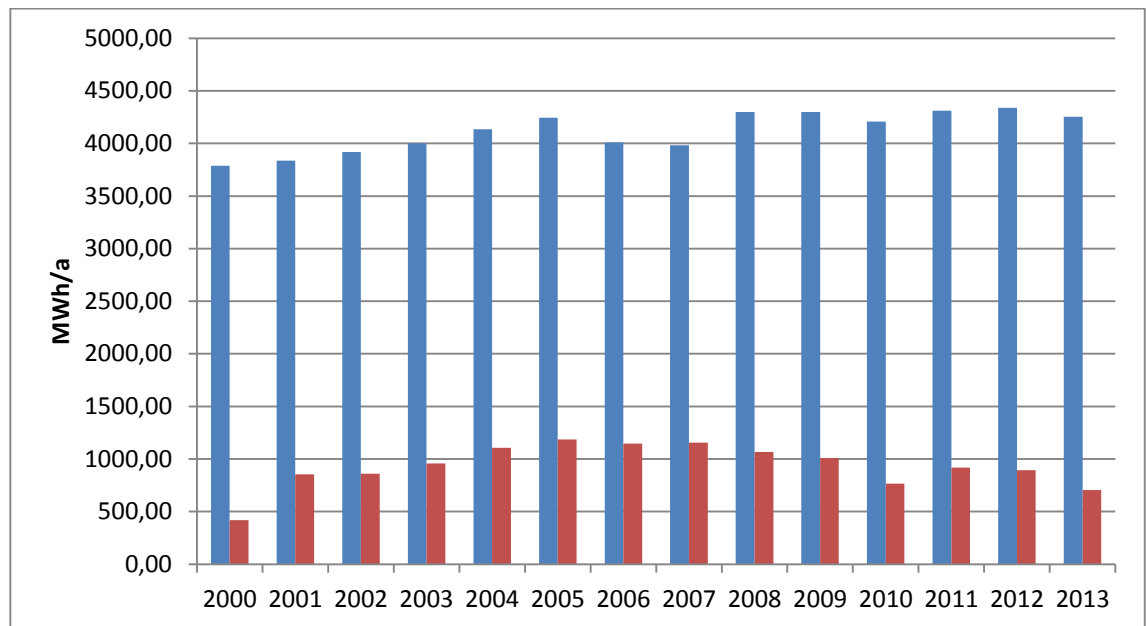
7.2.2 Kaasumoottori, yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto (CHP)

Kuhasalon puhdistamon kaasumoottorina on vuonna 2000 käyttöönotettu Perkins VATA 240-GPS, jonka sähköteho on 190 kW metaanipitoisuudella 65 % ja pakokaasukattilan lämpöteho 220 kW. Sähkögeneraattorina on Nevage Stamford HCI 434 D, 295 kW_a (Livite Oy, 9.11.1999).

Mädättämökaasu on johdettu ensisijaisesti kaasumoottori-generaattori yhdistelmälle (CHP-laitos), jolla saadaan tuotettua noin viidennes sähköenergiasta ja noin neljännes lämpöenergiasta (Kangas 2004, 34). Vuosien 2010-2013 keskiarvona tuotetun biokaasun kokonaisenergiasta (6185 MWh) johdettiin CHP-laitokselle 3895 MWh, eli noin 62 %.

Kuhasalon puhdistamolla ei ole käytössä kaasun puhdistusta. Sen tarpeellisuutta on tulevaisuudessa hyvä miettiä siltä pohjalta, mihin suuntaan biokaasun kokonaisvaltaista hyödyntämistä (kehittämisvaihtoehdot) aiotaan viedä.

CHP -laitoksella tuotettiin vuonna 2013 sähköä 703 MWh. Oman sähköntuotannon osuus kokonaissähkönkulutuksesta on kuvattu kuviossa 19.

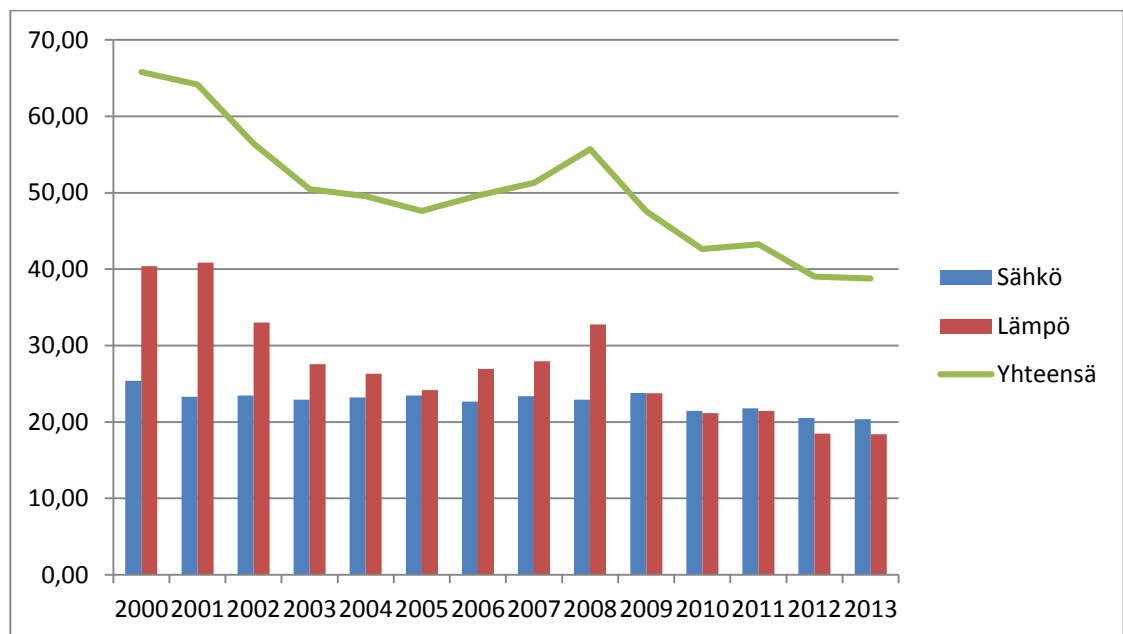


Kuvio 19. Biokaasulla tuotetun sähkön osuus kokonaissähkönkulutuksesta.

Kuviosta on nähtävissä, että Kuhasalon puhdistamon oma sähköntuotanto on ollut suurimmillaan 2000-luvun puolivälissä, mutta on sen jälkeen hiipunut hieman, vaikkakin CHP -laitokselle syötetyn biokaasun kokonaismäärä on kasvanut. Sähköntuotannon hiipuminen johtuneen laitoksen teknisestä käyttöiästä. Sähköntuotannon hyötysuhde on ollut aleneva, kun se parhaillaan on ollut (v. 2000) 26,6 % ja vuosien 2010-2013 keskiarvona 21,0 %.

Biokaasusta kaasumootorilla tuotetun lämmön määrä on vuosien 2010-2013 keskiarvona ollut 775 MWh vuodessa kun kaasumootorille syötetty kaasumäärä on ollut 599 246 m³, joka energiasisältönä vastaa noin 3895 MWh. Kaasumootorin lämmöntuotannon hyötysuhteeksi tulee samalle aikajaksolle laskettuna kes-

kimäärin 19,9 %, mikä on huomattavasti alhaisempi kuin uusien kaasumootoreiden lähtöarvo 40-50 %. Kuhasalon kaasumootorin lämmöntuotannon hyötysuhde on parhaillaan ollut 40,9 % (v. 2001), mutta hiipunut sitten vuosittain nykyiselle tasolle. Lämmöntuotannon huono hyötysuhde huonontaa merkittävästi CHP -laitoksen kokonaishyötysuhdetta ja hukkaa siten biokaasun energiasisältöä. CHP -laitoksen kokonaishyötysuhde on alentunut vuoden 2000 arvosta 65,8 % vuoden 2013 arvoon 38,8 %. Seuraavassa kuviossa 20 on kuvattu hyötysuhteiden kehittymistä.



Kuvio 20. CHP -laitteiston hyötysuhteet (%) vuosina 2000-2013

7.2.3 Lämpölaitos

Puhdistamon lämmitysjärjestelmä on toteutettu omana öljylämmitteisenä kaukolämpöverkkona, jossa paluuvesi hakee vielä lämpöä kaasumootorin jäähdytysvedestä ja pakokaasuista. Myös mädättämön lämmitys tapahtuu tällä kaukolämmöllä (Kangas 2004, 34). Mädättämön lämmönkulutus oli tarkastelujaksolla 1.4.2014 - 31.3.2015 noin 2450 MWh, eli 72 % kokonaislämmön tarpeesta.

Lämpölaitoksella on kaksi kattilaa, tehoiltaan 0,81 MW ja 1,25 MW. Molemmilla kattiloilla pystytään polttamaan biokaasua ja kevyttä polttoöljyä.

Biokaasua poltettiin vuosien 2010-2013 keskiarvona kattiloissa keskimäärin 257 071 m³ vuodessa, joka lämpöarvona on 1671 MWh. Kattiloilla tuotettu lämpömäärä oli vastaavana ajanjaksona keskimäärin 1542 MWh. Laskennallisesti kattiloiden hyötysuhde oli siis lähtötietojen perusteella korkea (92 %). Yleensä laskennallisena hyötysuhteena biokaasun kattilapoltolle on esitetty 90 % (Kangas ym. 2011, 57).

Lämpölaitoksella käytettiin vuosien 2011-2013 aikana keskimäärin kevyttä polttoöljyä 263 647 litraa, mikä lämpöarvoksi muutettuna vastaa 2642 MWh:n lämpömäärää. Vuoden 2014 osalta öljyn käyttö vähentyi merkittävästi.

Lämmitettävien tilojen lämmitystarvetta voidaan laskea lämmitystarvelukujen avulla. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku kuvaa rakennusten lämmitysenergian tarvetta. Lämmitystarveluku saadaan laskemalla yhteen kunkin kuukauden päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Yleisimmin käytetään lämmitystarvelukua S17, joka lasketaan +17 °C:ksi oletetun sisälämpötilan ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotuksen perusteella. Kuukauden lämmitystarveluku on vuorokautisten lämmitystarvelukujen summa ja vuoden lämmitystarveluku on vastaavasti kuukausittaisten lämmitystarvelukujen summa (<http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>).

Taulukko 8. Lämmitystarveluvut Joensuussa vuosina 2010-2015 (Ilmatieteen laitos).

2010	5501
2011	4486
2012	5041
2013	4400
2014	4465
1.4.2014 – 31.3.2015	4419

7.2.4 Lämpöpumppulaitos

Vuonna 2014 käyttöön otettu lämpöpumppulaitos koostuu kahdesta lämpöpump-puyksiköstä (a' 400 kW) sisältäen kompressorin, höyrystimen ja lauhduttimen. Yhteisteho on 800 kW. Lämpöä otetaan talteen pumppaamalla puhdistettua jäte-vettä noin 25 l/s virtaamalla lämpöpumppuprosessiin. Prosessissa vesi jäähtyy noin 5 °C. Lämmön tuotannon ja kulutuksen tasaamiseksi lämpö varastoidaan 10 m³:n varaajasäiliöön. Lämpöpumppulaitoksella tuotettu lämpöenergia käytetään puhdistamon tilojen lämmitykseen noin 60 °C –asteisena (Iivari 2013).

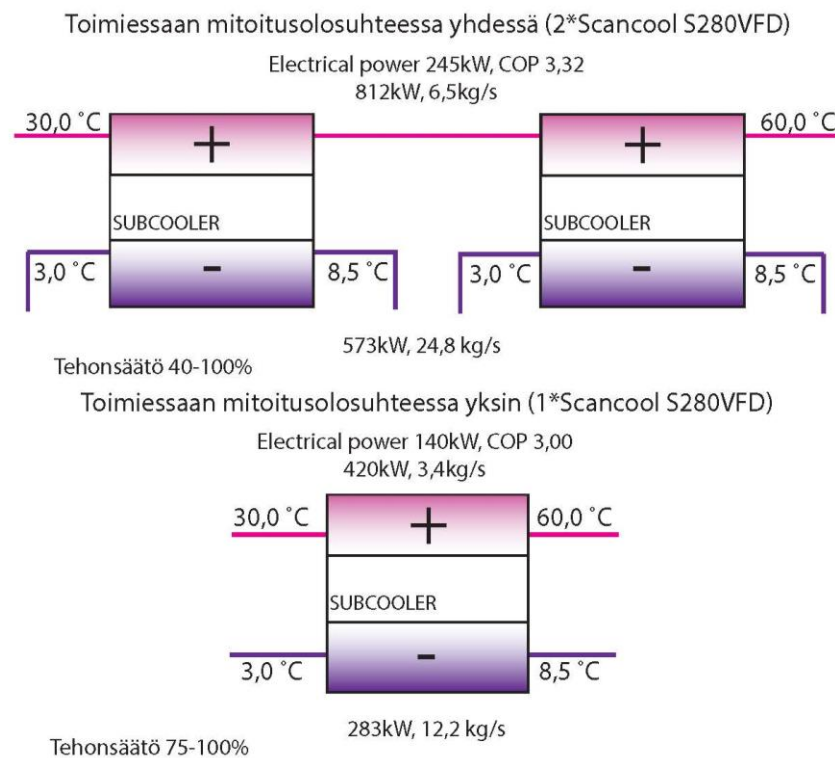
Lämpöpumppujen sähkötehtäjä on noin 245 kW. Lämpöpumppuyksikön in-vestointilaskelmissa on käytetty kannattavuuskertoimen COP –arvoa 3. Lämpö-pumppulaitoksen on suunniteltu tuottavan vuodessa maksimiteholla 6 700 MWh lämpöä ja sähkönkulutus on maksimitilanteessa 2000 MWh vuodessa (Iivari 2013).

Lämpöpumppulaitosta ei käytetä kesäaikaan, koska puhdistamon lämmöntarve on tuolloin pieni (vain mädättämön lämmitys, joka hoituu biokaasulla) ja toisaalta laitteiston aiheuttama sähkön kulutus on melko suuri. Laitteiston kannattavalle käytölle ei näin ollen ole perusteita. Laitteisto on ollut käytössä huhtikuun alusta 2014 lähtien ja heinä-syyskuun ajan laitteisto on ollut vain vähäisellä käytöllä.

Puhdistamotilojen (ml. mädättämöt) keskimääräinen, laskennallinen lämmön-tarve on Iivarin (2013) mukaan 5 900 MWh (ilman lietteen termisen kuivauksen lämpömäärää) vuodessa. Lämpöpumppulaitoksella on mitoituksellisesti pyritty kattamaan tämä lämmöntarve kokonaisuudessaan, jolloin öljyn käytöstä tilojen lämmityksessä voidaan luopua ja samalla kohdentaa tilojen lämmityksessä käy-tettävää biokaasua termiseen lietteenkäsittelyyn vähentäen siellä edelleen öljyn käyttöä. Laskennallisesti on lähdetty siitä, että lämpöpumppulaitoksen käyttöön-otolla voidaan korvata 3900 MWh öljyn käyttöä. CO₂ –päästöjen osalta tämä tar-koittaa noin 1000 t/a. Laskennallisesti lämpöpumppulaitoksen on arvioitu lisää-vän puhdistamon vuosittaista sähkönkulutusta 2000 MWh.

Liitteenä 1 olevan energiataselaskelman mukaan tilojen (ml. mädättämöt) lämmöntarpeeksi tulee vuosien 2010-2013 keskiarvoina laskettuna 3733 MWh. Mittattu lämmöntarve on siten huomattavasti pienempi kuin lämpöpumppusuunnitelman yhteydessä on esitetty. Laskentajaksolla 1.4.2015-31.3.2015 vastaava arvo on 4228 MWh.

Lämpöpumppulaitos (pumput LP1 ja LP2) on kuluttanut tarkastelujaksolla 1.4.2014 - 31.3.2015 sähköenergiaa yhteensä 391 MWh. Tällä sähkömäärällä on tuotettu lämpöenergiaa yhteensä 1239 MWh. Pumppujen COP -arvoksi tulee näin ollen kokonaisuudessaan 3,2, mikä ylittää hieman laitteiston kannattavuuslaskelmissa esitetyn arvon 3. Lämpöpumpun LP1 COP -arvo on ko. tarkastelujaksolla 3,2 ja lämpöpumpun LP2 arvo 3,1. Lämpöenergia on käytetty puhdistamotilojen lämmitykseen. Lämpöpumppulaitoksen ensimmäisen vuoden toiminta on edustanut noin 20 % käyttöastetta laitoksen mitoituksesta. Toiminnassa on havainnointu puutteita ainoastaan lämminvesivaraajan kytkennän suhteen.



Kuvio 21. Kuhasalon lämpöpumppulaitoksen energiatase (Ramboll 2013).

8 Mahdollisuudet Kuhasalon jätevedenpuhdistamon energiaomavaraisuuden kehittämiseen

Kuhasalon jätevedenpuhdistamon energiaomavaraisuuden kehittäminen nykytilanteesta (59 %:n omavaraisuus) on kokonaisvaltainen prosessi, mikä edellyttää eri prosessiosien tarkastelua useasta eri lähtökohdasta. Esimerkkinä tästä voi mainita esisaostuksen tehostamisen. Kun esisaostusta tehostetaan (ilmastuksen, sekä kemikaloinnin tehostaminen) saadaan raakalietteen määrää kasvatettua. Tällä on vaikutus mm. biokaasun tuotannon kasvuun sekä aktiivilietteen ilmastuksen pienempään energiatarpeeseen orgaanisen kuormituksen vähentymisen myötä. Esisaostuksen tehostamisella voi olla kuitenkin merkittävä taloudellinen vaikutus puhdistamon käyttökustannuksiin (kemikaalit) ja lietteen rejektivesien laatuun.

Kuhasalon puhdistamon jätevedenkäsittelyn energiatehokkuutta kuvaavat parametrit ovat kaikkien edellä tarkasteltujen parametrien (kWh/m³, kWh/poistettu BOD kg, kWh/poistettu OCP t) osalta selvästi korkeammat verrattuna muihin Suomessa toimiviin vastaavan kokoluokan puhdistamoihin. Puhdistamolla käytössä oleva lietteen termisen kuivauksen energiasiteetti ei sähkönkulutuksen osalta pelkästään selitä eroa muihin puhdistamoihin. Tästä lähtökohdasta tarkastellen, puhdistamolla on tunnistettavissa potentiaalisia säästökohteita sähkönkulutuksen osalta.

Käytössä olevan mädättämön kapasiteetti ei nykyisessä kuormitustilanteessa ja nykyistä prosessia (yksivaiheinen, mesofiilinen) käyttäen juurikaan mahdollista Kuhasalon puhdistamolla mädättämöiden suurempaa kuormitusta ja siten nykyistä suurempaa kaasuntuotantoa. Jätevedenpuhdistamoita yleisesti ajatellen biokaasun tuotanto on erittäin varmalla pohjalla, koska puhdistamoille tuleva kuormitus on vakaa ja isoilla keskuspuhdistamoilla yleensä vielä kasvava. Jätevesivirtaamien lisääntyminen on seurausta jätevesienkäsittelyn keskittämisestä (siirtoviemärit, haja-asutuksen viemäröintihankkeet) keskuspuhdistamoille. Keskittäminen on lähtenyt yleensä liikkeelle vesiensuojelun näkökulmasta. Keskittä-

mistä voidaan pitää järkevänä myös energianäkökulmasta, koska suurilla puhdistamoilla jätevedenkäsittely on kustannustehokkaampaa ja lisäksi keskuspuhdistamoilla on yleensä käytössä myös mädättämöt. Kasvava kuormitus merkitsee myös kaasuntuotannon lisääystä ja siten uutta energiapotentiaalia siltä osin, kun huolehditaan, että puhdistamon kaikki prosessiyksiköt on mitoitettu tätä tukevaksi. Kuhasalon osalta kasvua tulee tapahtumaan kuluvan vuoden aikana kun Hammaslahden taajaman jätevedet johdetaan Kuhasalon puhdistamolle. Lisäksi haja-asutusalueiden viemäröintihankkeet lisäävät parin vuoden aikana vielä puhdistamon piirissä olevaa asukasmäärää. Näiden yhteenlaskettu vaikutus orgaaniseen aineksen (BOD) tulokuormaan on noin 35 000 kg, mikä laskennallisesti tarkoittaa noin 19 000 m³ lisää biokaasun tuottoa vuodessa.

Biokaasun hyödyntämisessä ensisijainen ja määräävä tekijä on Latvalan (2009, 44) mukaan se, mihin energiaa voidaan laitoksen sijoituspaikalla ja sen läheisyydessä käyttää ja mikä on kannattavin hyödyntämismuoto. Käytännössä vaihtoehdot ovat:

- lämmöntuotanto
- yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto (CHP)
- mekaaninen energia
- liikennekäyttö

8.1 Ilmastuksen energiatehokkuuden parantaminen

Ilmastuksen energiatarpeeseen vaikuttavat monet eri tasojen tekijät, joihin on mahdollista vaikuttaa laitoksen suunnittelun ja käytön eri vaiheissa. Näitä tekijöitä ovat Tukiaisen (2008, 41) mukaan:

- suunnittelu
- laitevalinnat
- prosessin ohjaus
- laitteiden ylläpito ja huolto
- puhdistettavan jäteveden ominaisuudet

Kuhasalon puhdistamon ilmastusaltaat on rakennettu vuonna 1987 ja niiden syvyyteen tai mitoittamiseen on käytännössä hankala enää vaikuttaa ilman mittavia uudistustöitä.

Aktiivilietteen ilmastusjärjestelmän (OKI –ilmastimet) energiatehokuutta voidaan parantaa nykyisestä vaihtamalla nykyiset ilmastimet uudenaikaisiin pohjailmastiimiin. Ilmastusaltaiden syvyys (4 metriä) on altain pohjaan sijoitettaville hienokuplailmastimille sopiva (Kjellen & Andersson 2002). Ilmastinlautasten upotussyvyys tulisi olemaan 3,75 metriä. Pohjailmastuksella saadaan toteutettua nykyistä tarkempi ja helpommin säätävä ilmastusjärjestelmä. Nykyisten ilmastimien säätömahdollisuudet erilaisissa kuormitustilanteissa ovat huonot. Säädettävyyden merkitys tulee korostumaan vielä käynnissä olevan prosessimuutoksen osalta (esi-ilmastuksen tehostaminen).

Käytössä olevat OKI –ilmastimet eivät ole Kiuru & Rautiaisen (1995, 7) mukaan lietteen laskeutuvuuden kannalta parhaat mahdolliset. Kun ilma syötetään reaktoriin yhdestä pisteestä, muodostuu reaktorin happiprofiili epätasaiseksi. Heikkisen (1999, 133) mukaan OKI-ilmastimet eivät ole myöskään lietteen laskeutuvuuden kannalta parhaat mahdolliset, sillä täyssekoitusreaktorissa OKI-ilmastimilla suoritettava ilmastus on mekaanisesti voimakasta ja keskitettyä. Tällöin happi ei jakaudu tasaisesti koko käsiteltävään vesi/lieteseokseen ja siinä olevan biomasan käyttöön. Tällainen voimakas vaihtelu ei ole hyvä aktiivilietteen laatua ajatellen.

Ilmastinjärjestelmän uusimisen suuntaa-antavana yksikköhintana on putkistoituneen noin 150 €/m² (Mämmelä 2015), eli kokonaisuudessaan noin 195 000 euroa (alv=0). Kustannusarvio ei sisällä mahdollisesti uusittavien kompressorien kustannuksia. Nykyisiä OKI -ilmastimia on mahdollisuus tarvittaessa käyttää altaissa mekaanisina sekoittimina riippuen esim. ilmastusaltaan osastointi tarpeesta. Laskennallinen energiansäästö ilmastinjärjestelmän muutoksella puhdistamon nykyisellä ajotavalla on eri kirjallisuuslähteistä arvioituna noin 20-30 %. Laskennallisena arvona on energiataseessa (liite 3) käytetty 25 %. Investoinnin kannattavuuslaskelma on esitetty jäljempänä kohdassa 9.3.1.

8.2 Biokaasun kokonaisvaltainen hyödyntäminen

Merkittävin asia Kuhasalon puhdistamon energiaomavaraisuuden kehittämisessä on biokaasun tuotantoon ja sen mahdollisimman kustannustehokkaaseen hyötykäyttöön liittyvä potentiaali. Biokaasun hyödyntäminen mahdollisimman laajasti ulottuen jopa puhdistamoalueen ulkopuolelle on yksi kehittämislähtökohta tulevaisuudelle.

Sitran tilaamassa lietteenkäsittelymenetelmiä koskevassa selvityksessä (Pöyry 2007, 24) arvioidaan, että paras tuotto lietteestä tuotetulle biokaasulle saadaan liikennekäytössä arviolta 50 €/MWh. Toiseksi kannattavimmaksi hyödyntämisvaihtoehdoksi arvioidaan yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto, joka tuottaa noin 10-15 €/MWh. Kaasun poltto kaasukattilassa on em. selvityksen mukaan kannattamattomin vaihtoehto, noin 10 €/MWh. Esitetyt arviohinnat kuvaavat tilannetta, jossa kaasusta saatava hyödyke myydään laitoksen ulkopuolelle. Jos biokaasulla voidaan korvata laitoksen omaa lämmitys- tai sähköenergiankulutusta, on biokaasun korvaushinta edellä esitettyjä lukuja suurempi. Arviohinnat vastaavasti laskevat, jos kaasusta tuotettua lämpöä joudutaan siirtämään kauemmaksi laitokselta.

Laakkonen (2010, 30) on puolestaan todennut, että lämmityskäytössä biokaasun potentiaali työn tekoon menetetään kokonaan (energia -hyötysuhde on nolla), eli se on resurssin tuhlausta riippumatta siitä, miten korkea energiahyötysuhde on.

Biokaasusta valmistetun liikennepolttoaineen (biometaanin) tuotantoa ei ole Pohjois-Karjalan alueella, joten Joensuun kaupungilla olisikin hyvä mahdollisuus profiloitua asiassa edellä kävijäksi ja tulevaisuuden suunnan näyttäjäksi. Tämä tukisi erinomaisesti esim. Joensuun sitoutumista kestävän energian toimintasuunnitelman (Sustainable Energy Action Plan, SEAP) toteuttamiseen. Vesihuoltosektorin ja energiasektorin yhteisestä tulevaisuudesta on useissa foorumeissa käyty keskustelua ja Suomesta löytyykin jo esimerkkitapauksia näiden sektoreiden yhdistymisestä. Liikennepolttoaineen tuotanto voisi osaltaan olla yksi merkittävä askel vesi- ja energia-alan yhteistyölle.

8.2.1 Tuotantotuki

Biokaasuvoimalalla tuotetun sähkön osalta voi toiminnanharjoittaja hakea tuotantotukea. Tuotantotuen perusteena on Laki uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta (1396/2010) (myöhemmin ”tuotantotukilaki”), joka astui voimaan 1.1.2011 lukuun ottamatta tuen tasoa ja hyväksymispäätöksiä koskevia lain kohtia. Mainitut tuotantotukilain kohdat astuivat voimaan 25.3.2011 valtioneuvoston asetuksella. Tuotantotukilain mukaan valtion varoin tuetaan syöttötariffijärjestelmällä tuuli-voimaan, biokaasuun, puupolttoaineeseen ja metsähakkeeseen perustuvaa sähkön tuotantoa. (Energiavirasto 2014.)

Syöttötariffijärjestelmään voidaan hyväksyä biokaasuvoimaloita, kunnes pääasiallisesti biokaasua käyttävien voimaloiden generaattoreiden yhteenlaskettu nimellisteho ylittää 19 MVA. Järjestelmään voidaan kuitenkin hyväksyä biokaasuvoimaloita, jotka eivät käytä biokaasua pääasiallisena polttoaineena. Näitä laitoksia ei lasketa em. kiintiöön. (Energiamarkkinavirasto 2014.)

Taulukko 9. Tuotantotuen saamisen yleisiä edellytyksiä (Energiamarkkinavirasto 2014).

Tuotantotapa	Pitääkö voimalan olla uusi ?	Nimellisteho vähintään	Nimellisteho enintään	Pitääkö tuottaa lämpöä hyötykäyttöön?	Muita ehtoja
Tuuli	Kyllä	0,5 MVA	Ei ole	Ei	Ei ole saanut valtion tukea
Biokaasu	Kyllä	0,1 MVA	Ei ole	Ei	Ei ole saanut valtion tukea
Puupolttoaine	Kyllä	0,1 MVA	8 MVA	Kyllä hyötysuhteen pitää olla 50 %, tai 75 % jos yli 1 MVA:n laitos	Ei ole saanut valtion tukea
Metsähake	Ei	0,1 MVA	Ei ole		Ei ole kuulunut syöttötariffijärjestelmään

Mikäli biokaasuvoimala aiotaan saada sähköntuotannon tuotantotuen piiriin, on sen oltava uusi ja rakennettu ja investoitu ilman valtion tukea (Lavaste, 2015). Valtioneuvoston asetuksen 30.12.2010/1397 1 §:ssä on todettu, että jos kyse on biokaasuvoimalasta, vaaditaan myös, että biokaasulaitoksen biokaasureaktori,

jossa mädättämällä biomassaa suljetussa tilassa syntyy biokaasua biokaasuvoimalan polttoaineeksi, ei ole saanut valtiontukea, on uusi eikä sisällä käytettyjä osia. Käytännössä tariffi-järjestelmä ei siis tule kyseeseen olemassa olevilla biokaasua tuottavilla jätevedenpuhdistamoilla. Kuhasalon tapauksessa tuotantotuen saaminen ei siis käytännössä ole mahdollista. Tuen piiriin pääseminen edellyttäisi kokonaan uuden biokaasuvoimalan rakentamista uusine mädättämineen jne. Näin suureen investointiin ei lähinäköpiirissä liene vielä tarvetta, joten tässä työssä jäljempänä käytettävissä laskelmissa ei tuotantotukea ole otettu huomioon.

8.2.2 Yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon kehittäminen

Puhdistamolla oleva kaasumoottori ja generaattori alkaa olla teknisen elinkaarensa loppuvaiheessa. Teknisenä käyttöikänä pienille CHP -laitoksille on yleensä pidetty 15 vuotta (Konttinen 2011). Tämä näkyy osaltaan myös laitteiston alenevissa hyötysuhteissa, etenkin lämmön osalta. Yhdistetty lämmön ja sähköntuotanto biokaasusta on joka tapauksessa Kuhasalon puhdistamolla järkevää, koska lämmitysenergiaa tarvitaan tilojen lämmityksessä ja sähköä tarvitaan ilmastuksen lisäksi koneissa ja laitteissa. Lisäksi lämpöpumppulaitos on lisännyt puhdistamon vuotuista sähkönkulutusta, joten myös omalle nykyistä tehokkaammalle sähköntuotannolle on selkeästi tarvetta. Näistä lähtökohdista, uuden nykyistä paremmalla hyötysuhteella toimivan CHP -laitoksen hankinta on perusteltua ja tukee siten vuonna 2014 toteutettua lämpöpumppuinvestointia.

Uutta CHP -laitosta mietittäessä lähtökohtana tulisi olla se, että entinen laitteisto jää käyttökuntoon ja varajärjestelmäksi huoltoja yms. seisokkeja ajatellen. Edelleen uuden laitoksen osalta mahdollisimman tehokas sähköntuotanto on laitevalinnan osalta avainasemassa, koska lämmöntuotantoa puhdistamolla on jo erittäin hyvin olemassa.

Teknisiä vaihtoehtoja ajatellen varteenotettaviksi vaihtoehtoisiksi tulisivat uusi kaasumoottori-generaattori yhdistelmä tai mikroturbiini. Mikroturbiineita ei ole toistaiseksi käytössä kuin yhdellä jätevedenpuhdistamolla Suomessa (Raholan

jätevedenpuhdistamo, Tampere). Muutaman vuoden käyttökokemukset ovat olleet rohkaisevia. Hyötysuhteet tässä kohteessa ovat olleet lähes vastaavalla tasolla, kuin kirjallisuuslähteistä on löydettävissä. Sähköntuotannon hyötysuhde on kuitenkin joka tapauksessa jäänyt hieman alhaisemmaksi, kuin mihin uudenaikaisilla kaasumootoreilla päästään.

Ykkösvaihtoehdoksi tältä osin nousee nykyaikainen vakiokierrosluvulla ajettava kaasumoottori, jonka valintaperusteeksi tulisi määrittää mahdollisimman tehokas sähköntuotannon hyötysuhde. Lämmöntuotannon osalta voinee Kuhasalon tapauksessa jopa tinkiä. Vähintään 40 % sähköntuotannon hyötysuhde tulisi mielestäni olla suunnittelun lähtökohtana. HSY:n Viikinmäen uusimmalla kaasumoottorilla on saavutettu 41 %:n hyötysuhde sähköntuotannon osalta ja 45 %:n hyötysuhde lämmöntuotannon osalta (Korhonen 2015). Uuden kaasumoottorin osalta saavutetaan noin 20 %:n energiatehokkuuden kasvu suhteessa käytettyyn kaasumäärään. Vertailuna tähän voi tuoda esille Kuopion Lehtoniemen jätevedenpuhdistamon kaasumoottorin, joka on ollut muutaman vuoden käytössä. Hyötysuhteet ovat olleet sähkölle 38 % ja lämmölle 44 % vuonna 2014 (Penttinen 2015).

Uuden kaasumoottorin merkitys energiataseeseen on kuvattu liitteenä 3 olevassa energiataseessa. Samaan taseeseen on laskettu myös ilmastusjärjestelmän uusimista koskeva hanke. Näiden kehittämistoimenpiteiden yhteisvaikutus kokonaisenergiaomavaraisuuden osalta on 17 %, nostaen sen arvoon 76 %. Sähkön osalta kehittämistoimenpiteet parantavat energia-omavaraisuutta 31 %, nostaen sen arvoon 37 %. Lämmön osalta saavutetaan 100 % omavaraisuus. Energiataseessa CHP –laitteiston kokonaishyötysuhteena on käytetty arvoa 85 %, josta sähköntuotannon osalta 40 %. Kaasumoottorin mitoitusta on käsitelty vielä tarkemmin jäljempänä kohdassa 9.3.

Kuhasalon biokaasun laadusta ei ole tehty tutkimuksia vuoden 1999 jälkeen. Siloksaanipitoisuutta ei ole vuonna 1999 tehdyssä kaasuanalyysissä tutkittu. Kirjallisuuslähteiden mukaan (Tukiainen 2009, 71) uudet kaasumoottorit sietäisivät hyvin biokaasun sisältämiä epäpuhtauksia. Käytännön kokemukset esim. HSY:n

osalta (Korhonen 2015) ovat kuitenkin osoittaneet, että kaasumoottorien huoltoväliä ajatellen siloksaanien poisto kannattaa suorittaa ennen biokaasun johtamista moottorille. Saarisen (2015) mukaan puhdistusjärjestelmä kannattaa hankkia, jos siloksaanien kokonaispitoisuus ylittää arvon 20 mg/m^3 . Jäljempänä esitetyssä investointilaskelmassa on otettu huomioon siloksaanien poistaminen absorptiolla käyttäen aktiivihieitä, mikä kustannustasona on noin 35 000-40 000 euroa. Kaasuanalyysi kannattaa joka tapauksessa tehdä ennen investointia kaasun laadun varmentamiseksi.

8.2.3 Mädättämön toiminnan tehostaminen

Mädättämön toiminnan muuttaminen yksivaiheisesta mesofiilisesta kaksivaiheiseksi (TPAD, two-phased anaerobic digestion) -prosessiksi olisi käytännössä Kuhasalossakin mahdollista. Kaksivaiheisessa prosessissa (Kangas ym. 2011, 19) erotetaan hydrolyysi ja happomuodostusvaihe metaanikäymisvaiheesta ja näin on mahdollista ottaa talteen mikrobien tuottama vety ennen kuin mädätysprosessin mikrobit käyttävät sen aineenvaihduntaansa. Vety erotetaan tällöin ensimmäisessä vaiheessa, jolloin prosessin tuotteena on vedyllä rikastettu metaanikaasu, jonka energiasisältö on korkeampi kuin tavallisen biokaasun. Kaksiosaisien mädätysreaktorisysteemien on laboratorio- ja pilot -kokoluokassa osoitettu parantavan hyötysuhdetta huomattavasti, mutta huoli kaksiosaisen mädätysprosessien toimivuudesta käytännössä on pitänyt niiden määrän alle 10 %:ssa kaikista mädättämöistä Euroopassa. (De Baere, 2000.)

Muutosta on tutkittu Kuhasalossa case -tapauksena (Heinonen-Tanski & Poutiainen 2012), jonka johtopäätöksenä on todettu, että on luultavaa, että Kuhasalossa päästäisiin vielä nykyistä korkeampaan spesifiseen kaasuntuotantoon kaksivaiheisella prosessilla. Investoinnin taloudellisuus on kuitenkin arvioitava erikseen. Bolzonella et. al (2009) on arvioinut investoinnin yksivaiheisen mesofiilisen mädätyksen muuttamisen kaksivaiheiseksi termofiiliseksi prosessiksi < 6 vuoden takaisinmaksuajan. Suomenojan jätevedenpuhdistamon energiataselaskelmien mukaan kaksivaiheisen järjestelmän arvioidaan puolestaan tuottavan 2,3 kertaa

enemmän ylijäämäenergiaa verrattuna yksiosaiseen todellisen mittakaavan laitoksessa. (Kangas ym. 2011, 52.)

Mesofiilisen mädätysprosessin muutos termofiiliseksi voisi myös olla mahdollista Kuhasalon tapauksessa. Eri tutkimuksissa on kuitenkin saatu hyvin erilaisia ja ristiriitaisiakin tuloksia liittyen termofiilisen prosessin paremmuuteen mesofiiliseen verrattuna. Yhtä mieltä ollaan kuitenkin yleisesti siitä, että termofiilinen prosessi voi nopeampana prosessina nostaa laitoksen mädätyskapasiteettia (Sørensen ym. 1999; Zábranská ym. 2002). Investointia voisi osaltaan Kuhasalon tapauksessa tukea mm. se, että lämpöpumppulaitoksen valmistumisen myötä biokaasua vapautuu lämmityskäytöstä ja sitä olisi siten enemmän käytettävissä mädättämöiden lämmitykseen. Tämä voisi kompensoida termofiilisen prosessin korkeampaa lämmöntarvetta.

Kangas ym. (2011, 39) mukaan biokaasun hyötykäyttöä ajatellen termofiilisen prosessin suuremmat siloksaanipitoisuudet aiheuttavat lisäksi lisäkustannuksia lisääntyvän kaasunpuhdistuksen vuoksi. Lisäksi rejektivesien laatu huononee, mikä on Kuhasalon tapauksessa ongelmallista laitoksen jo nykyisen suuren sisäisen kuormituksen takia.

Salmelan ym. (2014, 24) tekemän selvityksen mukaan lietemädättämöillä olisi nykyisellään selvästi vara nostaa kuormitusta, ja tehostaa mädättämöjen toimintaa. Käytännössä rajoittavana tekijänä on ollut syötelietteen alhainen sakeus, mikä taas johtuu yleensä mekaanisen käsittelyn ongelmista laitoksilla; pumppujen ja putkistojen rajoituksista ja tehottomista sakeutusmenetelmistä. Mutta itse mädätysprosessin puolesta lietesakeuden nosto mahdollistaisi korkeamman kuormituksen, ja samalla varmistettaisiin myös riittävä viipymä reaktorissa. Tutkimuksessa mukana olleiden (16 kpl) lietemädättämöiden laskennallinen kuiva-ainekuormitus oli keskimäärin $2,2 \text{ kg/TS m}^3 \text{ vrk}$, ja vastaavasti orgaaninen kuormitus $1,5 \text{ kg VS/ m}^3 \text{ vrk}$, kun VS/TS –suhde on 68 prosenttia.

Kuhasalon mädättämön kuiva-ainekuormitus on $2,25 \text{ kg/TS v m}^3 \text{ vrk}$ ja orgaaninen kuormitus $1,52 \text{ kg VS/ m}^3 \text{ vrk}$, VS/TS suhteen ollessa 67 % (Ramboll 2013). Kuhasalon mädättämön kuormitus on siis hyvinkin em. tutkimuksen keskiarvojen mukainen. Kuhasalon mädätysaste on 50 % ja syötteen TS -pitoisuus 4,2 %.

Salmela ym. (2014, 24) on edelleen todennut, että mikäli paikalliset lietemäärät eivät edellytä käsittelykapasiteetin lisäämistä, mädättämökapasiteetin käyttöä voisi tehostaa muilla syötteillä. Puhdistamolietteiden orgaanisen aineen osuus kuiva-aineesta on suhteellisen alhainen (keskiarvona 68 %), samoin orgaanisen aineen hajoamisaste (keskiarvona n. 44 %), verrattuna esim. moniin biojätteisiin. Näin ollen helposti hajoavan orgaanisen aineen käytöllä voidaan merkittävästi tehostaa biokaasutuottoa reaktoritilavuutta kohti.

Mädättämön toiminnan tehostaminen ei mielestäni ole Kuhasalon puhdistamon osalta ensisijainen tehostamiskohde, koska kaasuntuotanto on nykyiselläänkin jokseenkin hyvällä tasolla ja puhdistamolla suoritettavien toimenpiteiden myötä (esisäostuksen tehostaminen) kaasun tuotanto on todennäköisesti edelleen lisääntymässä. Mikäli Kuhasalon puhdistamolle tuleva kuormitus lisääntyisi merkittävästi esim. viemäriverkoston alueelle sijoittuvan elintarviketehtaan tms. vaikutuksesta, olisi mädättämöiden toiminnan tehostaminen edellä kuvatuilla menetelmillä tarkoituksenmukaista tarvittaessa tarkastella yksityiskohtaisemmin.

Mädättämöiden mitoitus on Kuhasalon tapauksessa lähestulkoon käytetty ja osin mitoitussarvojen osalta ylitettykin, joten mädättämöiden nykyisellä ajotavalla merkittävän lisäkuormituksen vastaanottaminen ei käytännössä ole mahdollista. Rejektivesien suuri sisäinen kuormitus on mielestäni merkittävin rajoittava tekijä. Kehittämistoimenpiteenä tulisikin pyrkiä rejektivesien nykyistä parempaan hallintaan ja niiden tehokkaampaan puhdistukseen.

8.2.4 Liikennepolttoaineen jalostus

Lampinen (2003, 236) on verrannut diesel käyttöisen bussin ja henkilöauton muuttamista biokaasumetaanille sekä bensiinikäyttöisen henkilöauton muuttamisen biokaasumetaanille päästövaikutuksia suhteutettuna EURO -4 normiin. Kasvihuonekaasujen (CO_2 , CH_4 ja N_2O) vähenemä on kaikissa tapauksissa vähintään 95 %.

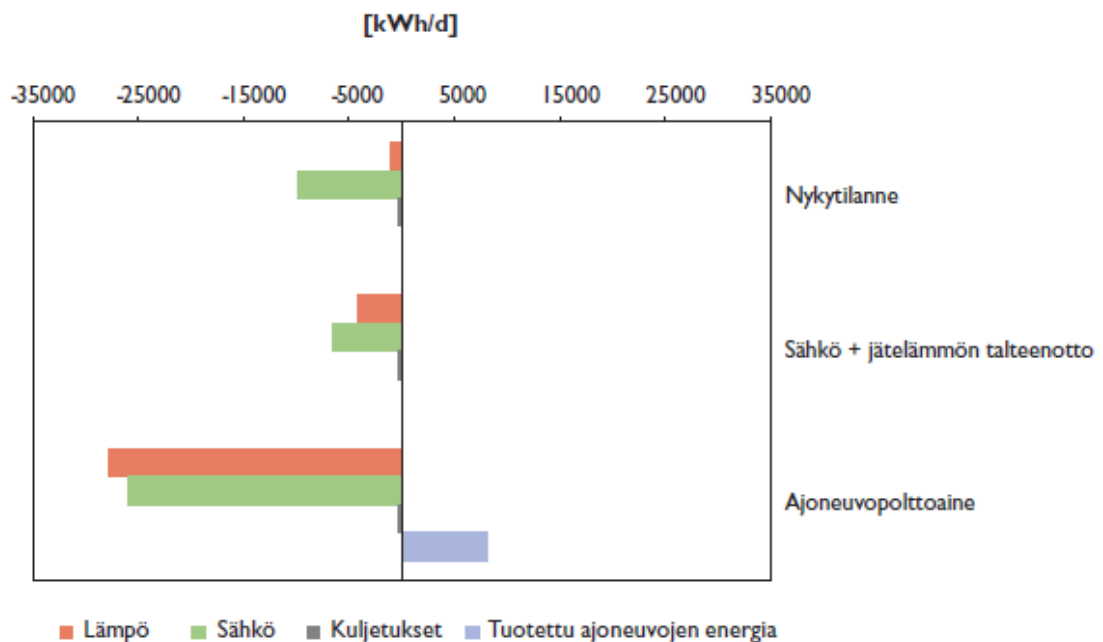
Pohjois-Karjalassa vuonna 2011 tehdyn kyselytutkimuksen (Joensuu, Kontiolahti, Liperi, Polvijärvi) mukaan (autojen määränä yli 60 000 kpl) kotitalouksista 61 % ja kuljetusyrityksistä 64 % on kiinnostunut hankkimaan biokaasuauton tai konvertoimaan nykyisen autonsa biokaasukäyttöiseksi. (Miettinen 2011).

Pohjois-Karjalan osalta asiaa on myös selvitetty ja todettu mm., että Kontiolahdessa lähdetäisiin toteuttamaan aseman rakentamista, mutta tämä ei ole edennyt. Ruotsin Eskilstunassa on esimerkiksi laskettu, että 83 500 eskilstunalaisen vessajätteillä ajetaan busseja joka päivä 3 340 km (Laakkonen & Lampinen 2010, 2). Suuruudeltaan Eskilstunan jätevedenpuhdistamo vastaa Kuhasalon puhdistamon kokoluokkaa.

Joensuun kaupungilla olisi hyvät mahdollisuudet (maakunnallinen merkitys, alueen elinvoimaisuus, INKA, SEAP, POKAT 2014) lähteä toteuttamaan liikennebiokaasuhanketta. Liikennepolttoaineen tuotannossa olisi mielestäni järkevintä jalostaa liikennepolttoaine puhdistamoalueella laitoskokonaisuus ja saatava logistinen hyöty huomioon ottaen. Liikennebiokaasun jalostuksessa käytettäisiin vesipesua, joka on yleisin käytössä oleva jalostusmenetelmä ja todettu tutkimuksissa (esim. de Hullu et al. 2008) olevan halvin sekä parhaimman tuotto/puhtaus-suhteen antava menetelmä. Jalostettu liikennebiokaasu voitaisiin johtaa putkistossa keskeiselle paikalle Penttilään, jonne rakennettaisiin tankkausasema. Putkisiirron pituus jäisi tässä tapauksessa varsin lyhyeksi ja sen kustannus ei olisi kovinkaan suuri. Penttilän alueelle rakennettava tankkausasema palvelisi hyvin mm. satama-alueen liikennöintiä. Joensuun kaupunki voisi käyttää omissa autoissaan esimerkillisesti biokaasua. Alustava kustannusarvio tälle vaihtoehdolle on esitetty jäljempänä kohdassa 9.4.1. Kustannustason arvioinnissa on käytetty hyväksi Haimilan (2015) tekemän diplomityön kustannuslaskentaa, jota on sovellettu tässä työssä esitetyn kehittämisvaihtoehdon mukaiselle kaasuntuotantomäärälle.

Liitteenä 4 on kuvattu prosessikaaviona energiatase kehittämisvaihtoehdossa VE2, jossa biokaasua käytetään termiseen kuivaukseen ja lämpöpumpuilla tuotetaan muu tilojen tarvitsema lämpö. Loppu kaasu jalostetaan liikennepolttoai-

neeksi puhdistamon yhteyteen rakennetulla tuotantolaitoksella ja siirretään putkistolla (noin 1300 m) Penttilän teollisuusalueelle rakennettavalle tankkauspisteelle. Tankkauspisteen sijainti on mietitty alueellisesti siten, että sen mahdollisuus palvella raskaan kaluston tankkausta olisi mahdollisimman hyvä ajatellen esim. satamaliikennöintiä. Tankkauspisteen toteuttaminen puhdistamoalueelle ei ole järkevää lisääntyvän liikennöinnin takia. Liikennepolttoaineen jalostuksen yhteydessä muodostuvalle hiilidioksidille olisi käyttökohteita löydettävissä lähialueella sijaitsevien (esim. Ylämylly) kasvihuoneiden osalta. On selvää, että liikennebiokaasun kysyntä ei synny tyhjästä, joten hankkeen valmistelu ja tiedottaminen tulisi aloittaa hyvissä ajoin ja sitoumuksia biometaanin käytölle pitäisi saada riittävästi jo ennakkoon ennen rakentamiseen ryhtymistä. On todennäköistä, että toiminta olisi alkuvaiheessa vielä pienimuotoista, mutta tulevaisuudessa toiminnan voi nähdä hyvinkin mahdollisena ja taloudellisesti järkevänä.



Kuvio 22 Energiatase lietteenkäsittelyketjussa, jossa liete mädätetään mesofiilisesti ja mädätteen loppukäsittelynä on terminen kuivaus (Kangas ym. 2011, 62).

Kuviosta nähdään, että jos biokaasun energiasisältö käytettäisiin kokonaisuudessaan ajoneuvopolttoaineen valmistukseen, joudutaan sähkö- ja lämpöenergia ostamaan ulkopuolelta. Kuvio kuvaa muutoin prosesseiltaan Kuhasalon tilannetta,

mutta Kuhasalon tapauksessa lämpöpumppulaitos parantaa tilannetta lämmön-
tuotannon osalta.

8.2.5 Sisäisen kuormituksen hallinta (rejektivedet)

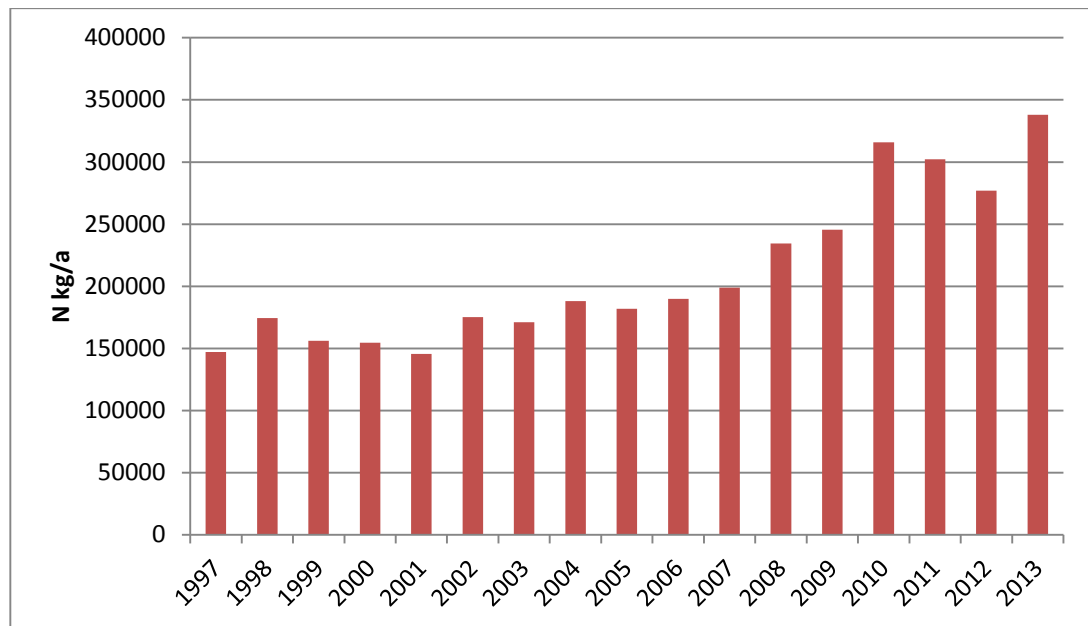
Puhdistamon sisäisen kuormituksen osuus on kasvanut vuodesta 1997 vuoteen 2013 merkittävästi, mikä on seuraavasta taulukosta hyvin nähtävissä.

Taulukko 10. Rejektivesien määrän ja laadun kehitys vuodesta 1997 vuoteen 2013 (Heiskanen 1997, Ramboll 2013).

	1997	2013
Q m ³ /vrk	870	1007
BOD kg/vrk	552	3300
BOD osuus tulokuormasta %	16	100
P kg/vrk	40	194
P osuus tulokuormasta %	29	103
N kg/vrk	188	1161
N osuus tulokuormasta %	27	113

Rejektivedet koostuvat Kuhasalossa lietteen tiivistämön, välivaraston, tiivistyspu-
ristimen ja lietteenkuivaimen ylite/kuivausvesistä (Ramboll 2013). Ainemäärien
osalta näiden kuormitus on BOD:n ja fosforin osalta yhtä suuri kuin viemäriver-
kostosta puhdistamolle tuleva kuormitus. Typen osalta kuormitus on jopa suu-
rempi.

Kuhasalon puhdistamolta vesistöön johdettava typpikuormitus on kehittynyt vuo-
desta 1997 vuoteen 2013 seuraavaan kuvion (kuvio 23.) mukaisesti:



Kuvio 23. Vesistöön johdettavan typpikuormituksen kehitys (VAHTI)

Kuviosta on nähtävissä, että vesistökuormitus on kaksinkertaistunut tarkastelujakson aikana. Vesistökuormituksen kasvu johtuu pitkälti siitä, ettei puhdistamo ole suunniteltu typen poistoon ja merkittävästi myös siitä, että rejektivesien sisältämä laitoksen sisäinen typpikuormitus on erittäin suuri.

Laitoksen selkeänä kehittämistoimenpiteenä on nähtävissä tarve rejektivesien erilliskäsittelyyn, jossa puhdistamolle rakennetaan oma sisäinen puhdistus näille vesille. Valittavassa puhdistustekniikassa typen poisto on oltava keskeisessä roolissa, rejektivesien korkean typpipitoisuuden takia. Näiden vesien käsittelyä on tarkasteltu jo vuonna 1995 tehdyssä selvityksessä (Kiuru & Rautiainen), mutta toimenpiteitä ei ole toistaiseksi tehty. Tarve toimenpiteille on nykytilanteessa vielä huomattavasti tärkeämpi kuin aiemmassa tilanteessa puhdistamon tulokuormituksen kasvun takia.

Jätevedenpuhdistamoiden sähkönkulutuksen vähentämisen yhtenä keinona on (Haber Kern et al 2002) prosessivesien, eli rejektivesien erillinen käsittely. Erillisellä käsittelyllä voi saavuttaa säästöjä ja samalla tehostaa muun prosessin toimintaa, kun kuormittavat rejektivedet eivät ohjaudu varsinaiseen jätevedenpuhdistusprosessiin.

Kokonaisvaltaisesti asia on laitoksen kehittämistä ajatellen pidemmällä aikajän-
teellä ajatellen erittäin tärkeä. Vesistöjen hyvän tilan parantaminen on yksi maa-
kunnan kehittämisohjelmassa (POKAT 2017) mainituista kehittämistoimista ja
sitä tukee myös Ympäristöministeriön, Suomen kuntaliiton ja Suomen Vesilaitos-
yhdistys ry:n 24.1.2012 suositussopimus yhdyskuntajätevesien pintavesiä rehe-
vöittävän ravinnekuormituksen vähentämiseksi vuoteen 2015. Suositussopimuk-
sen yhtenä tavoitteena on edistää viemärlaitostoiminnan parhaiden käyttökel-
poisten tekniikoiden (BAT) määrittelyä. Parhaita käyttökelpoisia tekniikoita hyö-
dyntämällä tuetaan ravinteiden vähentämiselle asetettujen tavoitteiden saavutta-
mista. Jätevedenpuhdistamoita koskeva BAT -ohjeistus on parhaillaan valmiste-
lussa (Kaloinen 2015).

Tässä työssä ei esitetä tämän kehittämisvaihtoehdon osalta toteuttamistapaa ja
toteuttamiskustannuksia, koska se ei suoranaisesti kuulu tämän tapaustutkimuk-
sen kehittämisteemoihin.

8.2.6 Valtion tuki energiahankkeisiin

Edellä esitetyille kehittämistoimille (uuden CHP -laitteiston hankinta, biokaasun
jalostaminen liikennepolttoaineeksi) on mahdollista saada tukea Työ- ja elinkei-
noministeriöltä valtioneuvoston asetuksen 1063/2012 mukaisesti. Tukihakemus
tulee jättää alueelliselle ELY –keskukselle. Hankekohtaisen harkinnan perus-
teella myönnettävän tuen osuus hyväksyttävistä kustannuksista voi investointi-
hankkeessa olla enintään 30 prosenttia ja selvityshankkeessa enintään 40 pro-
senttia. Investointihankkeessa energiatukea voidaan korottaa kymmenen pro-
senttiyksikköä siltä osin kuin hanke sisältää uutta teknologiaa. (Valtioneuvoston
asetus 1063/2012 7 §.)

Ilmastusjärjestelmän uusimiselle ei ole käytännössä mahdollista saada valtion tu-
kea.

Mahdollisesti hankkeille saatava tuki on otettu huomioon liitteenä olevissa kehit-
tämistoimenpiteitä koskevissa laskelmissa (VE 1 ja VE 2) 25 %:n tukena (Vähä-
rautio 2015).

9 Energiataseet ja kustannuslaskelmat

Energiataseiden laskennassa käytetyt kertoimet ovat kevyen poltto-öljyn lämpöarvon osalta 10,02 kWh/l (Motiva 2010). Biokaasun lämpöarvona on käytetty 6,5 kWh/m³ (mm. Haimila 2015).

CO₂ –päästöt on laskettu tilastokeskuksen tilastovuoden 2012 (Motiva 2014) mukaisesti. Käytetty arvo ostosähkölle on 223 kg/CO₂/MWh ja kevyen poltto-öljyn osalta 261 kg/ CO₂/MWh. Biokaasun osalta CO₂ –päästöt on katsottu nollassi, koska kysymys on uusiutuvalla energialähteellä tuotetusta energiasta.

Jätevedenpuhdistuksessa ilmekehään vapautuvaa hiilidioksidia ei ole otettu näissä laskemissa huomioon, vaan päästöt on laskettu ainoastaan energiankulutuksen osalta. Tukiaisen (2009, 84) mukaan muiden muodostuvien kasvihuonekaasujen määrä on niin vähäinen, ettei niiden huomioon ottaminen laskennallisesti ole järkevää.

9.1 Energiatase lähtötilanteessa

Prosessikaavio (Liite 1) kuvaa energiataseen lähtötilannetta ennen lämpöpumpuinvestointia vuosien 2010-2013 energiankulutus- ja tuotantotiedoista keskiarvoina laskettuna. Laitoksen kokonaissähkön tarve on 4278 MWh ja lämpötarve 6375 MWh (sisältäen termisen kuivauksen öljyllä tuotetun lämpöenergian (2642 MWh). Biokaasun kokonaistuotanto on 6185 MWh. CHP -laitoksen hyötysuhde sähkölle on 21 % ja lämmölle 19 %. Kaasukattilan hyötysuhteeksi tulee 92 %. Laitoksen energiaomavaraisuus on sähkön suhteen 19 %, lämmön (tilat) suhteen 62 %, lämmön (sis. terminen) 31 % ja koko laitos yhteensä 41 %. Lämmitystarveluku 2010-2013 on keskiarvona laskettuna 4857.

9.2 Energiatase nykytilanteessa

Prosessikaavio (Liite 2) kuvaa energiatasetta lämpöpumppulaitoksen valmistuksen jälkeen (=nykytilanne). Lähtöarvoina on käytetty jakson 1.4.2014 - 31.3.2015 energiankulutus - ja tuotantotietoja. Laitoksen kokonaissähkön tarve on 4256 MWh ja lämpötarve 6260 MWh (sisältäen termisen kuivauksen biokaasulla tuotetun lämpöenergian kulutuksen). Biokaasun kokonaistuotanto on 6968 MWh. CHP -laitoksen hyötysuhde sähkölle on 20 % ja lämmölle 33 %. Kaasukattilan hyötysuhteeksi tulee 92 % ja termisen kuivaimen kaasupolttimen hyötysuhteeksi 92 %. Laitoksen energiaomavaraisuus on sähkön suhteen 6 %, lämmön (tilat) suhteen 92 %, lämmön (sis. terminen) 96 % ja koko puhdistamon osalta yhteensä 59 %.

Huomioina voi mainita sen, että oma sähköntuotannon määrä on edelleen hiipunut, mikä johtuu siitä, että CHP -laitokselle johdetun biokaasun määrä on ollut aikaisempia vuosia merkittävästi pienempi. Laitoksen hyötysuhteet ovat lämmön-tuotannon omavaraisuuden osalta parantuneet lähinnä sen takia, että termisen kuivauksen lämpö on tuotettu täysin biokaasulla öljyn sijasta. Toimenpide on vähentänyt CO₂ -päästöjä laskennallisesti 689 tonnia. Soihdun polton osuus on edelleen kasvanut. Muutoin energiavirrat ovat kutakuinkin edellisen energiataseteen mukaiset. Lämpöpumppulaitoksen käyttöaste on jäänyt noin 20 %:n osuuteen suunnittelun lähtötiedoista. Lämpöpumpuilla (LP1 ja LP2) on saavutettu COP arvot 3,1 ja 3,2.

Lämmitystarveluku laskentajaksole on 4419 (taulukko 8.), eli lämmitystarve on ollut hieman edellistä jaksoa vähäisempi.

9.3 Energiatase kehittämisvaihtoehdossa VE 1

Prosessikaavio (Liite 3) kuvaa energiatasetta, jossa ilmastusjärjestelmä (VE 1a) ja CHP -laitteisto (VE 1b) on uusittu nykyaikaisemmaksi. Ilmastusenergian alemana on käytetty arvoa -25 %, CHP -laitteiston sähköntuotannon hyötysuh-

teenä 40 % ja lämmön tuotannon hyötysuhteena 45 %. CHP -laitteiston hyötysuhteina on käytetty HSY:n Viikinmäen jätevedenpuhdistamon tuoreimpien käytökokemusten perusteella uusimmalla kaasumootorilla saavutettuja hyötysuhteita (Korhonen 2015). Pohjana laskentatiedoissa on edellisen kohdan energiankulutus- ja tuotantotiedot jaksolta 1.4.2014 - 31.3.2015.

Ilmastimien uusimisen (VE 1a) jälkeen puhdistamon kokonaissähkönkulutus alenee laskennallisesti arvoon 3906 MWh. Tämä tekee poistettua BOD kiloa kohden vuoden 2013 arvoilla laskettuna 2,3 kWh/poistettu BOD_{kg}. Jätevesivirtaamaa (vuosi 2013) kohden laskettuna sähkönkulutus on 0,61 kWh/m³. Kun näitä arvoja vertaa edellä olevaan taulukkoon 1, ovat arvot laskeneet aiemmasta siten, että ne ovat lähestyneet muiden suurempien kaupunkien vastaavia arvoja.

Vaihtoehdossa (VE 1b) on lähdetty siitä, että CHP -laitokselle johdetaan yli puolet muodostuvasta biokaasusta, mikä lämpöarvona on 4000 MWh. Tällä pystyttäisiin edellä mainituilla hyötysuhteilla tuottamaan sähköä 1600 MWh ja lämpöä 1800 MWh. Soihtupoltolle ei pitäisi käytännössä olla tarvetta kuin mahdollisten laitehuoltojen varalle. Näissä tilanteissa voitaisiin hyödyntää entistä CHP -laitteistoa.

CHP -laitteiston mitoittaminen on tässä tapauksessa kohtuullisen helppoa, koska laitoksella on lämmöntarvetta myös kesäaikaan (mädättämöiden lämmitys) ja sähkön ylituotannosta ei käytännössä ole vaaraa. Mitoittamisen hyvänä lähtökohdana voisi olla se, että CHP-laitoksella pystyttäisiin tuottamaan pääosin mädättämöiden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia huhti-syyskuun aikana, joka mitaustietojen mukaan on tälle jaksolle ollut keskimäärin 163 MWh kuukaudessa. Taseessa kuvatulla laitoksella pystyttäisiin tuottamaan lämpöä noin 150 MWh kuukaudessa, eli lähes mädättämöiden tarvitsema lämpöenergia lämpimänä kautena. Lisäenergia saataisiin kaasukattilalta tai lämpöpumppulaitokselta. Lämpöpumppulaitoksen COP -arvona on käytetty arvoa 3,1 ja laitoksen koko lämpötarpeena 6300 MWh/a edellisten energiataseiden pohjalta. CHP -laitosta ajettaisiin vakioteholla läpi vuoden. Uusi CHP-laitteisto parantaisi merkittävästi energiatehokkuutta käytettyyn kaasumäärään suhteutettuna.

Laskennallisesti uuden CHP -laitteiston käyntiaika olisi 8500 h/a, jossa on otettu huomioon tarvittavat huollot. Laitoksen mitoitus olisi lämpötehon osalta seuraava:

$$P=Q/t, \text{ jossa} \quad (2)$$

P= teho

Q= lämpömäärä (4000 MWh)

t= aika (8500 h)

Kaavaan (2) sijoittamalla saadaan polttoainetehoksi 470 kW, joka laskennallisella hyötysuhteella 45 % pystyisi tuottamaan vuoden aikana energiataseessa esitetyn 1800 MWh:n lämpömäärän ja hyötysuhteella 40 % energiataseessa esitetyn 1600 MWh:n sähkömäärän.

Kaavaan (2) sijoittamalla saadaan uusittavan CHP -laitoksen mitoistehoksi lämmön osalta 210 kW ja sähkön osalta 180 kW. Uusittavan CHP -laitoksen mitoitus olisi käytännössä aivan samalla tasolla kuin olemassa olevan laitteiston. Yhtenevä mitoitus helpottaa vanhan laitteiston käyttöä huoltoseisokkien aikana.

Mikäli puhdistamalla käytössä olevasta lietteen termisestä kuivauksesta aiotaan lähitulevaisuudessa luopua, tulee tämä ottaa huomioon kaasumoottorin mitoituksessa, koska silloin biokaasua vapautuu noin 2200 MWh vuodessa kaasumoottorikäyttöön.

Lämpöpumppulaitoksen lämmöntuotantoa on energiataseessa hieman lisätty (noin 250 MWh/a), mikä on lisännyt myös sähkönkulutusta. Lämpöpumppulaitoksen tuotantoa on mahdollista lisätä reilusti edelleenkin, mikäli laitoksella tarvitaan lämmitystä normaalia enemmän.

CO₂ -päästöt ovat lähes puolittuneet, koska ostosähkön määrä on pienentynyt ja öljyn käytöstä on pystytty luopumaan. Puhdistamon energiaomavaraisuus on sähköntuotannon osalta noussut merkittävästi arvoon 39 %. Lämmön suhteen puhdistamo on täysin omavarainen. Omavaraisuusaste energian osalta on tässä vaihtoehdossa kokonaisuudessaan 76 %.

9.3.1 Kustannuslaskelma VE 1a

Kehittämisvaihtoehto VE 1a, kustannukset ilmastusjärjestelmän uusiminen

Ilmastusaltaan pinta-ala yhteensä	1300 m ²
Yksikkökustannus hienokuplailmasti- met + altaan putkistot	150 €/ m ²
Kustannus yhteensä	195 000 €
Vuodessa saavutettava energian- säästö (-25 %)	350 MWh
Energiansäästö vuodessa energian hinnalla 80 €/MWh	28 000 €
Pitoaika	15 vuotta
Korko	5 %
Huolto - ja kunnossapitokustannus	2 % investoinnin hinnasta

Vuotuiseksi kustannukseksi tulee 21 792 euroa. Investoinnin takaisinmaksuajaksi tulee nykyisellä energian hinnalla (80 €/MWh) 6,96 vuotta ja energianhinnalla 120 €/MWh 4,64 vuotta. Investointia voi pitää kannattavana. Investointikustannukset eivät sisällä altainen ulkopuolisia töitä, kuten esim. kompressoreiden uusimisia.

9.3.2 Kustannuslaskelma VE 1b

Kehittämisvaihtoehto VE 1b, kustannukset kaasumoottorin uusiminen

Kaasumoottori-generaattori + silok- saanien poisto aktiivihiliabsorptiolla	450 000 € (ilman tukea) 337 500 € (tuettu 25 %)
Johdettava kaasumäärä	620 000m ³ (metaanipitoisuus 65 %)
Johdettava energiamäärä	4000 MWh
Laskennallisesti saatava lämpömäärä	1800 MWh (45 %)
Laskennallisesti saatava sähkömäärä	1600 MWh (40 %)
Pitoaika	15 vuotta
Korko	5 %
Huolto - ja kunnossapitokustannus	2 % investoinnin hinnasta

Vuotuiseksi kustannukseksi tulee 37 717 euroa. Laitoksella tuotetun sähkön arvo olisi nykyisellä energian hinnalla 80 €/MWh laskettuna 128 000 €/vuodessa. Investoinnin takaisinmaksuaika olisi erittäin lyhyt, noin 2,8 vuotta Sähkön hinnalla 120 €/MWh laskettuna sähkön arvo olisi 168 000 euroa vuodessa, mikä lyhentäisi investoinnin takaisinmaksuajan vajaaseen kahteen vuoteen. Investointi olisi erittäin kannattava.

Mikäli hanke ei saisi valtion avustusta, muodostuisi takaisinmaksuaika siinäkin tapauksessa lyhyeksi.

9.4 Energiatase kehittämisvaihtoehdossa VE 2

Kehittämisvaihtoehdossa VE 2 (Liite 4) suurin osa tuotetusta biokaasusta (noin 70 %) valmistetaan liikennebiokaasuksi. Lämpöpumppulaitoksella tuotetaan tilojen lämmityksen tarvitsema lämpömäärä, noin 4300 MWh vuodessa. Biokaasua käytetään lietteen termiseen kuivaukseen noin 2200 MWh. Omasta sähköntuotannosta luovutaan ja tarvittava sähköenergia ostetaan täysimääräisesti. Edellä kuvattu ilmastusjärjestelmän uusiminen on ehditty jo suorittaa. Liikennebiokaasun jalostukseen käytettävä energiamäärä on siten 4768 MWh, mikä kaasumääränä on noin 733 000 m³. Biometaani jalostetaan puhdistamon yhteyteen rakennettavalla jalostuslaitoksella käyttäen vesipesua. Biometaanin arvioitu määrä on laskettu käyttäen 65 % metaanipitoisuutta ja 5 % metaanihöviötä. Jalostusmäärä on siten ollen noin 440 000 m³ biometaania vuodessa ja 8000 käyttötunnin perusteella laskettuna 55 Nm³/h. Jalostettu biometaani siirretään putkisiirrolla (n. 1300 metriä, PE100 DIN160 PN16) Penttilän teollisuusalueelle.

Energiataseesta on huomattavissa, että laitos olisi edelleen lämmön suhteen energiaomavarainen (mikäli lämpöpumpuilla tuotettu lämmitysenergia lasketaan täysin omaksi tuotannoksi) myöskään öljyä ei tarvitsisi normaalitilanteessa käyttää lämmitykseen tai termiseen lietteen kuivaukseen. Laitoksen CO₂ -päästöt kasvaisivat oman sähköntuotannon lopettamisen takia, mutta biometaanin myynnistä saatavilla tuloilla olisi mahdollista ostaa esim. lähes hiilidioksidivapaata tuulisähköä. Biometaanimäärällä pystyisi laskennallisesti toteuttamaan 362 diesel

henkilöauton (6 l/100, 20 000 km/a) polttoainehuollon. (Haimila 2015, 50). Tällä liikennöinnillä olisi saavutettavissa (160 g CO₂/km) 1158 tonnin alenema CO₂ -päästöihin vuodessa.

Jalostuslaitos lisää puhdistamon sähkönkulutusta noin 365 MWh vuodessa (0,5 kWh/m³ raakakaasua), mikä on otettu energiataseessa huomioon kasvattaen muun sähkön kulutuksen arvoon 2605 MWh.

Jalostuslaitoksen kustannustaso on noin 440 000 euroa ja putkisiirron kustannus noin 52 000 euroa (40 €/m, 1,3 km).

9.4.1 Kustannuslaskelma VE 2

Kehittämisvaihtoehto VE 2, kustannukset (jalostaminen + putkisiirto) osalta

Vuotuinen kaasumäärä (raaka-kaasu)	733 000 Nm ³ (91,6 Nm ³ /h, 8000 h)
Korkokanta	5 %
Pitoaika	15 v
Jalostuslaitoksen + kaasuputken hinta	492 000 € (ilman tukea)
sis. kuivaus + pumppaus	369 000 € (tuettu 25 %)
Kapasiteetti	100 Nm ³ /h raakakaasua
Sähkönkulutus	0,5 kWh/ Nm ³ /h raakakaasua
Sähkön hinta	0,12 €/kWh
Veden kulutus	2 l/ Nm ³ /h raakakaasua
Veden hinta	0,0014 €/l
Huolto- ja kunnossapitokustannus	2 % investoinnin hinnasta

Vuotuiseksi jalostuksen ja putkisiirron hinnaksi saadaan em. arvoista laskettuna 87 269 €. Tästä investointikustannuksen osuus on noin 38 % ja energiakustannuksen noin 50 %. Loppu on huolto- ja kunnossapitokustannuksia.

Raakakaasusta (metaanipitoisuus 65 %, metaanihävikit jalostuksessa 5 %) saataisiin biometania 440 000 Nm³ vuodessa, mikä energiamääränä olisi 4400 MWh. 1 kg biometania = 13,5 kWh, eli kaasumäärä olisi 325 926 kg.

Kaasun täysimääräinen jalostuksen ja siirron kustannus olisi vuosikustannuksella (täysi tuotanto) 87 269 € laskettuna 0,26 €/kg tai 19,8 €/MWh. Kustannus on hyvin linjassa edellä esitetyn kuvion 11. kanssa.

Mikäli kysyntää olisi toiminnan alkuvaiheessa vain 50 %:lle kaasusta (162 963 kg tai 2200 MWh), muodostuisivat kustannukset noin 0,39 €/kg tai 29,2 €/MWh. Laskenta on tehty sillä olettamalla, että vuotuiset kustannukset olisivat noin 64 253 € (sähkön ja veden kulutus suhteutettu tuotantoon ja huolto- ja kunnossapitokustannukset em. taulukon mukaisena).

Suuntaa-antava hintataso myytävälle biometaanille olisi jalostettuna Penttilän alueelle toimitettuna noin 0,55 euroa/kg, mikä täysimääräisellä tuotannolla (4400 MWh) tekisi noin 179 260 euroa ja puolella tuotannolla (2200 MWh) noin 89 629 euroa vuodessa. Koko tuotannon myynnillä ostaisi tuulisähköä (125 €/MWh) 1434 MWh ja puolituotannolla 717 MWh. Ostosähkön CO₂ -päästöissä tämä tarkoittaisi kokotuotannon osalta 305,4 tonnin alenemaa ja puolen tuotannon osalta 152,7 tonnin alenemaa (10 g/kWh Suomen tuulivoimayhdistys).

Tankkauspisteen (nopea tankkaus fast fill) sisältäen kompressoinnin hinta olisi tälle kaasumäärälle suhteutettuna noin 250 000 € (Haimila 2015, 35).

Yleisesti käytetty biometaanin loppukäyttäjähinta on ollut 1,2 €/kg (alv=0).

10 Pohdinta

10.1 Laadullisen tutkimuksen luotettavuus

Numeerisen lähtöaineiston luotettavuus perustuu puhdistamalla mitattuihin tietoihin ja niiden suuruusluokkatarkastelu sekä oikeellisuus on arvioitu työn tekemisen yhteydessä. Aineisto ei ole sisältänyt merkittäviä puutteita tai epäluottamusta herättäviä lukuja. Ne numeeriset tiedot, joita ei aineistosta ole ollut saatavilla, perustuvat eri kirjallisuuslähteistä saataviin tietoihin tai arvioihin. Energiankulutus-

tiedot ovat tarkentuneet vuosien 2014 ja 2015 aikana, koska näitä koskevia mittaristoja on lisätty puhdistamolle useisiin eri kulutuskohteisiin. Tarkentuneen mittauksen tiedot ovat olleet hyvin linjassa aiemmin mitattuihin tietoihin. Nämä tiedot on otettu huomioon mm. energiataseiden laskennassa.

Dokumenttiaineisto koostui suurelta osin alan kirjallisuudesta sekä Kuhasalon puhdistamosta tehdyistä konsulttitöistä, suunnitelmista ja opinnäytetöistä. Näiden luotettavuutta olen pyrkinyt arvioimaan mm. oman vesihuoltoalaan liittyvän kokemukseni sekä dokumenttien kirjoittajien asiantuntemuksen ja kokemuksen perusteella.

Laadullisessa tutkimuksessa reliabiliteetilla tarkoitetaan Anttilan (1998) mukaan aineiston käsittelyn ja analyysin luotettavuutta. Realibiteettikysymykset liittyvät ensisijaisesti siihen tutkimuksen vaiheeseen, jossa siirrytään empiriasta teoriaan eli empiirisestä aineistosta analyysin kautta tulkintaan. Realibiteetin kannalta on tärkeää, että tutkimusaineisto muokataan sellaiseen muotoon, että se on tutkimuksen kommentoijien saatavilla ja tarkastettavissa. Tutkimusraportin kirjoittamisessa olen pyrkinyt ottamaan huomioon kaksi kvalitatiivisen tutkimuksen realibiteettikysymyksiin liittyvää kriteeriä: analyysin arvioitavuus ja uskottavuus.

Arvioitavuus tarkoittaa Anttilan (1998) mukaan sitä, että lukijalle tarjotaan mahdollisuus seurata tutkijan päättelyä ja kritisoida sitä. Uskottavuudella viitataan siihen, että tutkimusraportin pohjalta on uskottavaa, että kuvatulla tavalla on päädytty esitettyihin tulkintoihin.

Tutkimuksen validiteetilla Hirsjärvi ym. (2005) puolestaan tarkoittaa sitä, että tutkimusmenetelmien tai esimerkiksi kyselylomakkeen kykyä mitata juuri sitä, mitä sen on tarkoituskin mitata. Tutkimustulosten tulee antaa totuudenkuvainen kuva tutkimuskohteesta ja oleellista on myös se, kuinka tutkija on onnistunut käsitteen rajauksessa ja määrittelyssä.

Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta ei Hirsjärven ym. (2005) mukaan voi useinkaan arvioida yhtä selkeiden kriteerien avulla kuin määrällistä tutkimusta.

Laadullisessa tutkimuksessa tutkimuksen luotettavuutta kuvaavat käsitteet saavat usein erilaisia tulkintoja verrattuna määrälliseen tutkimukseen. Laadullisen tutkimuksen tutkija joutuu luotettavuuden näkökulmasta pohtimaan sellaisia kysymyksiä kuin uskottavuus, tutkimusraportin ja tulosten vakuuttava kirjoittaminen ja selityksen uskottavuus, aineiston rikkaus ja värikkyys, käsitteiden selkeys ja tutkijan oma rooli tutkimuksessa. Laadullisen tutkimuksen yksi keskeinen luotettavuutta kohentava tekijä on tutkijan kirjoittama tarkka ja vaihe vaiheelta etenevä tutkimusraportti.

10.2 Opinnäytetyön eettisyys

Karelia-ammattikorkeakoulu on sitoutunut noudattamaan toiminnassaan Tutkimuseettisen neuvottelukunnan laatimaa ohjeistusta hyvästä tieteellisestä käytännöstä (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2002). Opinnäytetyöhön liittyviä eettisyyttä ohjaavia säädöksiä on myös ammattikorkeakoululaissa (351/2003).

Edellä mainitut ohjeet ja määräykset sitovat luonnollisesti myös opinnäytetyön tekijää, joten olen ottanut ne huomioon työssäni.

Opinnäytetyöhön ei oman arvioni mukaan liity sellaisia erityisiä eettisiä näkökohtia ja kysymyksiä, jotka pitäisi ottaa erityisesti huomioon (Hirsjärvi ym. 2009, 23-27).

Opinnäytetyö on kaikilta osilta omaa työtä ja uskon, että työni osoittaa sen, että hallitsen työssä käytettävät tutkimukselliset menetelmät ja kirjoittamisen.

10.3 Kehittämistoimet osana alueellista viitekehystä

Pohjois-Karjala ja etenkin Joensuu on profiloitunut voimakkaasti biotalouden edistäjäksi mm. valtakunnallisen INKA -ohjelman (Innovatiiviset kaupungit) biotalouden vetovastuun myötä. INKA ohjelma on käynnistynyt vuoden 2014 alussa

ja ohjelmasta vastaa Tekes yhdessä Työ- ja elinkeinoministeriön kanssa. Ohjelman perusrahoituksen arvioidaan olevan vuosittain noin 30 miljoonaa euroa, josta valtion osuus on 10 miljoonaa euroa. (Pölönen 2013.) Mielestäni Kuhasalon jätevedenpuhdistamon energiaomavaraisuuden parantamiseen tähtäävät, biokaasun kokonaisvaltaiseen käyttöön liittyvät kehittämistoimet ovat merkittävä osa INKA -ohjelman sekä Pohjois-Karjalan bioenergiaohjelman vuoteen 2020 paikallista toteutusta.

Kalevi Pölösen (2014) blogissa INKA, INKA, INKA on tuotu esille ohjelman mukanaan tuomia rahoitusmahdollisuuksia ja Penttilän alueen rakentamista, jonka läheisyyteen Kuhasalon jätevedenpuhdistamokin sijoittuu. Blogissa Pölösen totea mm., että olisi luotava mahdollisuus monipuolisten ja innovatiivisten energiaratkaisujen liittämiseen helposti lämpöverkostoon. Mielestäni Kuhasalon puhdistamoa ja sen energiantuotantopotentiaalia ei pidä unohtaa tässäkään mielessä. Puhdistamo olisi kohtuullisin kustannuksin liitettävissä kaukolämpöverkostoon, jolloin biokaasulla tuotettua lämpöä pystyttäisiin myymään kaukolämmöstä vastaavalle toimijalle. Sinällään myynti ei parantaisi juurikaan uusiutuvalla energialla tuotetun energian osuutta lämmöntuotannossa, koska kaukolämpö tuotetaan alueelle jo merkittävin osin bioenergialla. Mikäli myytävä energiamäärä olisi suurempi kuin Kuhasalon puhdistamon oma lämmöntarve, jouduttaisiin energia tuottamaan sitten ulkopuolelta tuotavalla energialla ja tämä huonontaisi luonnollisesti puhdistamon energiaomavaraisuutta.

Jätevedenpuhdistamo on todettu Hirvosen (2010, 48) opinnäytetyössä todelliseksi energiakeitaaksi monessa mielessä. Potentiaalisimmiksi energianlähteiksi tunnistettiin raakajätevesi, puhdistettu jätevesi, termisesti kuivattu liete sekä biokaasu. Edelleen Hirvonen (2010, 49) on todennut, että mädätyskammioissa muodostunut biokaasu on erinomainen polttoaine ja se hyödynnetäänkin pien-CHP -laitteistolla puhdistamon omassa energiantuotannossa tehokkaasti. Täten biokaasua ei voida hyödyntää tarkoituksenmukaisesti Penttilänrannan rakennusten lämpöenergiahuollossa.

Kuhasalon osalta asiaa on tarkemmin tarkasteltu kytkeytyen toteutettuun lämpöpumppulaitokseen ja sillä tuotetun lämmön käyttämistä Penttilän alueen kaukolämmitykseen. Hanke kaatui kuitenkin mm. siihen, että lämpöpumpuilla tuotettu kaukolämpövesi ei sinällään ollut riittävän lämmintä ja se olisi edellyttänyt tulistusta ennen käyttökohteisiin johtamista. Hirvosen (2010) tutkimuksessa ei ole tarkasteltu syvällisemmin muita Kuhasalon puhdistamon energiantuotantotapoja, joilla olisi voitu tuottaa lämpöenergiaa Penttilänrannan kaukolämpöverkostoon.

10.4 Vaikuttavuus

Uskon, että työstä on hyötyä toimeksiantajalle, eli Joensuun Vedelle sekä muille jätevedenpuhdistamoiden käytöstä vastaaville tahoille, joilla on suunnitelmissa toteuttaa investointeja energiatehokkuuden parantamiseksi.

Vaikka opinnäytetyö räätälöity case –tyyppisesti Joensuun Kuhasalon jätevedenpuhdistamoon, on sillä luonnollisesti vaikuttavuutta myös laajemmin, koska ainakin suurimmilla jätevedenpuhdistamoilla käytössä oleva prosessitekniikka (energianäkökulmastakin tarkasteltuna) on hyvinkin samanlaista. Mädättämöt ovat kaikkien suurkaupunkien puhdistamoilla jo olemassa ja lämpöpumppujakin on viime vuosina otettu useilla laitoksilla käyttöön.

Joensuun osalta uskoisin työllä olevan kosketuspintoja myös biotalouden osalta aikanaan tehtäviin selvityksiin ja kehittämishankkeisiin, koskien esim. INKA –hanketta ja mahdollisesti Suomen ympäristökeskuksen hallinnoimaa Life IP -hanketta, jonka yhtenä osiona on yhdyskuntajätevedenpuhdistamot erilliskerätyn biojätteen käsittelyssä.

Mahdollisimman energiatehokkaalla ja energiaomavaraisella jätevedenkäsittelyllä varmistetaan myös se, että veden hinta voidaan Joensuun Veden toiminta-alueella pitää kilpailukykyisenä. Tällä uskon olevan myönteisiä vaikutuksia esim. elinkeinoelämän sijoittumiselle alueelle.

10.5 Työhön liittyviä näkökulmia ja pohdintaa

Energiansäästötoimet ja ilmastonmuutos kulkevat rinnastusten, joten työn tarkastelulähtökohta on luonnollisesti painottunut ilmastonmuutos teemaa tukevaksi, kuitenkin vesiensuojelunäkökulmaa unohtamatta. Jätevedenpuhdistamon energiaomavaraisuutta on käsitelty viime aikoina useissa artikkeleissa osana vesihuoltoa. Puhdistamoiden energiatehokkuutta on tarkasteltu lähinnä keskittyen jonkin yksittäisen prosessin osan toiminnan kehittämistarpeiden tarkasteluun. Opinnäytetyö tuo tältä osin ehkä hieman laajemman näkökulman matkalle energiaomavaraiseen jätevedenpuhdistukseen.

Lähtökohtaisesti on kuitenkin muistettava, että kysymys on jätevedenpuhdistamosta, jonka ensisijaisena toiminnan lähtökohtana tulee luonnollisestikin olla mahdollisimman tehokas jätevedenpuhdistus. Energiaomavaraisuuden parantamiseen tähtäävät toimenpiteet tulee aina miettiä ja toteuttaa siten, että niillä ei vaaranneta jätevedenpuhdistamon toimintaedellytyksiä ydinprosessin, eli jätevedenpuhdistuksen osalta.

Biokaasun kokonaisvaltaisessa hyödyntämisessä merkittävä tarkastelulähtökohta on oltava myös lietteenkäsittelyn rejektivesien käsittely siten, että puhdistamon toiminta on tasapainoista ja vesistökuormituksen kehityksen osalta vesiensuojelua tukevaa. Sisäisen kuormituksen hallinta etenkin typpikuormituksen epäsuotuisan kehityksen osalta on yksi selkeä puhdistamon kehittämistoimenpide lähitulevaisuudelle. Tällä voidaan varmistaa, että puhdistamon kehittäminen on kokonaisuudessaan kestäväällä pohjalla vesiensuojelu ja oma energiantuotanto huomioon ottaen.

Kuhasalon puhdistamon energiaomavaraisuus on noussut huomattavasti paremmalle tasolle lämpöpumppulaitoksen käyttöönoton myötä. Merkittävä asia tämän seurauksena on ollut termisen lietteenkuivauksen lämpöenergian tuottaminen biokaasulla. Öljyn käytöstä on jo lähes luovuttu, mikä tukee tavoitetta öljyvaapaasta maakunnasta vuoteen 2020. Uutena selkeänä investointitarpeena voi nähdä ilmastuksen saneerauksen/tehostamisen lisäksi nykyisen CHP -laitteiston

uusimisen nykyaikaisemmaksi, jolloin biokaasun sisältämä energiasisältö on nykyistä tehokkaammin hyödynnettävissä.

Joensuun kaupungin kestävän energian toimintasuunnitelmassa (SEAP) esitetään ne käytännön toimet, joilla suunnitelmassa esitetyt tavoitteet voidaan saavuttaa. Tavoitteet liittyvät merkittävästi tilojen lämmitykseen sekä liikenteen päästöjen vähentämiseen. Kuhasalon jätevedenpuhdistamon energiaomavaraisuutta tehostavilla toimilla on mahdollisuus vastata hyvin näihin haasteisiin. Liikennebiokaasun tuottamisella olisi myös merkittävä puhdistamoalueen ulkopuolelle ulottuva alueellinen vaikutus.

Matka energiaomavaraiseen jätevedenpuhdistukseen on edennyt Kuhasalon puhdistamon osalta reilusti yli puolen välin. Tässä opinnäytetyössä esitetyllä kehittämistoimenpiteellä (VE1) se on nostettavissa vielä seuraavalle tasolle, eli viimeiselle neljännekselle suhteellisen selkeillä ja toisaalta vielä kohtuullisilla investoinneilla, joiden takaisinmaksuaika on lyhyehkö. Selkeänä lähtökohtana tulee olla biokaasun täysimääräinen hyödyntäminen, jolloin soihutupolton osuus on mahdollisimman vähäinen.

Syvällisempi jatkotutkimus olisi ehdottomasti tarpeen liikennebiokaasun tuottamisen taloudellisista edellytyksistä ja siihen liittyvistä erilaisista toimintamalleista. Tämä edellyttää kuitenkin päätöksentekijöiltä sitoutumista pitkän aikavälin suunnitelmiin ja toisaalta kunnianhimoisiin tavoitteisiin, mille Joensuun kaupungin kestävän energian toimintasuunnitelma (SEAP) ja Joensuun kaupungin vetovastuu INKA -ohjelman biotalousosiossa antaa kieltämättä hyvä pohjan.

Kuhasalon puhdistamon lähialueen (Penttilänrannan) rakentaminen tulee luomaan edelleen paineita Kuhasalon puhdistamon sijainnille ja sen vaikutuksille lähiympäristöön. Liikennebiokaasun tuottaminen toisi mielestäni puhdistamolle selkeää lisäarvoa, jonka myötä sen toiminnan hyväksyminen jatkossakin nykyisellä (hyvinkin edustavalla) joenvarsipaikalla olisi mahdollista. Puhdistamon liittäminen kaukolämpöverkostoon ja siinä yhteydessä mahdollinen lietteen polttovaihtoehto olisivat myös tarkemman selvityksen tarpeessa olevia kehittämistoimia.

Omaa oppimisprosessia ajatellen työ täydensi omaa vesihuoltosektorin osaamista energianäkökulmasta. Vaikka lähtöajatus oli pitkälti pidättäytyä energiatehokkuutta tarkastelevassa lähtöasetelmassa, huomasin työni edistyessä kuitenkin sen, ettei vesiensuojelunäkökulmaa sovi unohtaa. Tämä johtuneee siitä, että olen tehnyt työtä vesiensuojelutehtävissä yli 20 vuotta. Tämän tapaustutkimuksen kohteena oli itselleni tutuksi tullut jätevedenpuhdistamo, jonka aine- ja energiataseita olen laskeskellut jo kauan sitten. Oli mielenkiintoista verestää siltä osin muistoja hieman erilaisesta lähtöasetelmasta.

Lähteet

- Aakko-Saksa, P & Nylund, N-O. 2007. TEC TransEnergy Consulting Oy Liikenteen polttoainevaihtoehtot. Kehitystilanneraportti. Laaja versio. 31.10.2007. 124 s. Tutkimuksen tilaaja: VTT saatavilla <http://www.motiva.fi/files/954/liikenteenpolttoainevaihtoehtot-kehitystilanneraportti.pdf>
- Ammattikorkeakoululaki 351/2003.
- Anttila, P. 1998. Tutkimisen taito ja tiedonhankinta.
- Anttonen, K. 2010. Biokaasu pienen kokoluokan sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Energiatekniikan kandinaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- Alkhleel, F. 2013 WaterplanFinland (ilmastinjuttu)
- Fiter, M., Güell, D., Comas, J., Colprim, J., Poch, M. & Rodriguez Roda, 2005. Energy Saving in a Wastewater Treatment Process: an Application of Fuzzy Logic Control. Environmental Technology. 026. S. 1263-1270.
- Federley, J. 2009. Energiatehokas pumppausjärjestelmä. Koulutusmateriaali. Teknillinen korkeakoulu. Motiva Oy. [Verkkodokumentti]. 15 s. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas_pumppaus_j_rjestelm_.pdf
- De Baere, L. 2000. Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art. Water Science and Technology, 41(3): 283-290.
- De Hullu, J., Maassen J.I.W., van Meel, P.A., Shazad, S., Vaessen, J.M.P. 2008. Comparing different biogas upgrading techniques, Final report. Eindhoven University of Technology. [Verkkodokumentti]. Viiattu 9.3.2015. Saatavissa:

<http://students.chem.tue.nl/ifp24/interim%20report%20biogas.pdf>

Deuplein, D. & Stenhauser, A 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources An introduction. Viley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN:978-3-527-31841-4.

Europump and Hydraulic Institute. 2001. Pump life cycle cost: a guide to LCC analysis for pumping systems. Executive Summary. 16 s.

Energiateollisuus 2014. Ilmastonmuutos
<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/ilmastonmuutos> 27.3.2015

Haberkern, B., Maier, W.D. & Schneider, U. 2006. Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen. DessauRoslau: Umweltbundesamt. Forschungsbericht 20526 307 UBAFB 001075. 222 s.

Haimila, P. 2015. Liikennebiokaasun jakelu Mikkelinseudulla: teknologia-, kustannus- ja kannattavuustarkastelu. Diplomityö. Lappeenranta teknillinen oppilaitos, tuotantotalouden koulutusohjelma.

Heikkinen, M. 1999. Typenpoisto Joensuun Kuhasalon puhdistamolla. Diplomityö Oulun yliopiston rakentamistekniikan osasto.

Heinonen, M. 2001. Kriittiset parametrit ilmastuksen energiataloudessa. Helsinki:Teknillinen korkeakoulu. Diplomityö

Heinonen-Tanski, H & Poutiainen, H. 2012. Modernit menetelmät yhdyskuntien jätevedenkäsittelyn tehostamisessa. Itä-Suomen yliopiston ympäristötieteen laitoksen julkaisusarja. Kuopio. ISSN 1799-1676.

Heiskanen, A. 1998. Viemärit 2020 –projekti Pohjois-Karjalassa. Alueelliset ympäristöjulkaisut 109. Joensuu. 57 s. ISBN 952-11-0429-5.

Heiskanen, A. 1998. Jäteveden puhdistamon ainetaselaskelma Joensuun Kuhasalon puhdistamolla vuonna 1997. Mikkelin ammattikorkeakoulu 25.2.1998. 13 s.

Hirsjärvi, S, Remes, P, Sajavaara, P. 2005. Tutki ja kirjoita. ISBN 97895113148362.

Hirvonen, M. 2010. Uudisrakennusalueen lämmitysratkaisujen valinta – tulevaisuuden haasteet ja niihin vastaaminen. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenranta teknillinen yliopisto.

HSY:n vuosikertomus 2012. HSY:n julkaisuja 8/2013. ISBN 978-952-6604-74-9

Huttunen, M. & Kuittinen, V. 2014. Suomen biokaasurekisteri n:o 17. Joensuu. 58 s. ISBN 978-952-61-1566-5.

Hytönen, J. 2013. Biokaasu liikennepolttoaineena. Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto. Fysiikan laitos. Uusiutuvan energian koulutusohjelma. 67 s.

- livari, P.2013. Ramboll Oy. Kuhasalon jätevedenpuhdistamon lämpöpumppu-hanke -energiaa jätevedestä.21.10.2013.
- Joensuun kaupunginhallitus 2.3.2015. SEAP Joensuu. Kaupunginjohtajien yleiskokouksen kestävän energian toimintasuunnitelma. 43 s.
- Joensuun kaupunkiseudun hakemus 25.2.2013. INKA-Innovatiiviset kaupungit – ohjelma 2014-2020.
- Joensuun ilmasto-ohjelma 2013. Joensuun kaupunginvaltuusto 27.1.2014.
- Kjellen, B.J. & Andersson, A. 2002. Energihandbok för avloppsrening verk. Stockholm: VAForsk Svenskt Vatten. 82 s.
- Kaloinen, J. 2015. Yli-insinööri Ympäristöministeriö. Haastattelu 15.2.2015 koskien jätevedenpuhdistuksen BAT-ohjeistusta
- Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle. 20.3.2013 VNS 2/2013 vp.
- Kangas, A. Lund, C. Liuksia, S. Arnold, M. Merta, E. Kajolinna, T. Carp'en, L. Koskinen, P. Ryhänen, P. 2011. Energiatehokas lietteenkäsittely. Helsinki. 96 s. ISBN 978-952-11-3907-9.
- Kangas, A. 2004. Jätevedenpuhdistamoiden toiminta ja toteutukset. Helsinki: Vesi- ja viemärilaitosyhdistys. Vesi- ja viemärilaitosyhdistyksen monistesarja Nro 15.
- Kangas, A. 2002. Helsingin Veden jätevesilietteen käsittelyn ja loppusijoituksen mahdollisuudet. Helsinki: Helsingin Vesi. 158 s.
- Kannisto, M, Kymäläinen, M & Salmela, M. 2014. Lietemädättämöjen tehostaminen lietesakeutta nostamalla. Artikkelit vesitalous -lehdessä 6/2014.
- Karttunen Erkki. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto 2. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL R.Y. 683 s. ISBN 951-758-438-5.
- Kiuru, H. Rautiainen, J. 1995. Typenpoiston toteuttaminen Kuhasalon jätevedenpuhdistamolla.
- Kiviluoma-Leskelä, J. 2010. Biokaasun tuottaminen ja hyödyntäminen Lappeenrannassa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Lappeenranta. 122 s.
- Konttinen, J. 2011. Pien CHP:stä voimaa vientiin ja maakuntaan. Jyväskylän yliopisto/Uusiutuvan energian ohjelma 2.2.2011.
<http://www.micre.eu/fi/energiantuotanto/chp/>
- Korhonen, R.2015. HSY käyttöpäällikkö. Haastattelu 24.3.2015 koskien Viikinmäen jätevedenpuhdistamon kaasumoottori-investointia.

- KTM 2005. Uusiutuvan energian lisäysmahdollisuudet vuoteen 2015. saatavilla: [http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/E5063805F1B754D5C22570190028414D/\\$file/34642005.pdf](http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/E5063805F1B754D5C22570190028414D/$file/34642005.pdf). Viitattu 28.2.2015.
- Kuittinen, V., Huttunen, M. J & Leinonen, S. 2006. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 10. Tiedot vuodelta 2006. Joensuun yliopisto. Ekologian tutkimusinstituutin raportteja N:o 3. 74 s.
- Kuittinen, V.; Huttunen, M. J. & Leinonen, S. 2008. Suomen biokaasurekisteri n:o 11. Tiedot vuodelta 2007. Joensuu: Joensuun Yliopisto, Ekologian tutkimusinstituutti. 78 s. ISBN: 978-952-219-191-5.
- Laitinen, J. Nieminen, J. Saarinen, R. Toivikko S. 2014. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT). Helsinki. Ympäristöministeriö. ISBN 978-952-11-4285-7. 81 s.
- Latvala, M. 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT). Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristö 24/2009. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. 114 s.
- Laakkonen, A. 2011. Kaatopaikkakaasun jalostaminen liikennebiokaasuksi. Liiketoimintasuunnitelman teknologinen oheismateriaali. Joensuu. 12 s.
- Laakkonen, A. & Lampinen, A. 2010. Kunnat liikennebiokaasun tuottajina ja käyttäjinä. Joensuu. ISBN 978-952-92-6842-9. 104 s. Lampinen, A. 2012. Seminaariesitys. Biokaasun tuntematon ansiokas menneisyys. http://biokaasuyhdistys.net/docs/semin2012/Lampinen_Ari_historia.PDF
- Lampinen, A. 2014. Biokaasua tarjolla joka toiselle suomalaiselle. Bioenergia – lehti. Nro 5. 23.10.2014.
- Lavaste, K. 2015. Johtava asiantuntija, Energiavirasto. Haastattelu 10.3.2015.
- Lehtinen, E. & Urho, A. 2014. Jätevedenpuhdistus pääkaupunkiseudulla 2013. Viikinmäen ja Suomenojan puhdistamot. Helsinki.. ISBN 978-952-6604-83-1. s. 62.
- 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. Jyväskylä innovation Oy. ISBN 978-951-39-3076-9. 64 s.
- Lingsten, A. & Lundkvist, M. 2008. Nulägesbeskrivning av VÄverken energianvändning. Svenskt Vatten Utveckling. 36 s.
- Lähde, J. 2008. Ammoniumtyppi ilmastuksen ohjausparametrinä yhdyskuntajäteveden puhdistuksessa. Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 41 s.

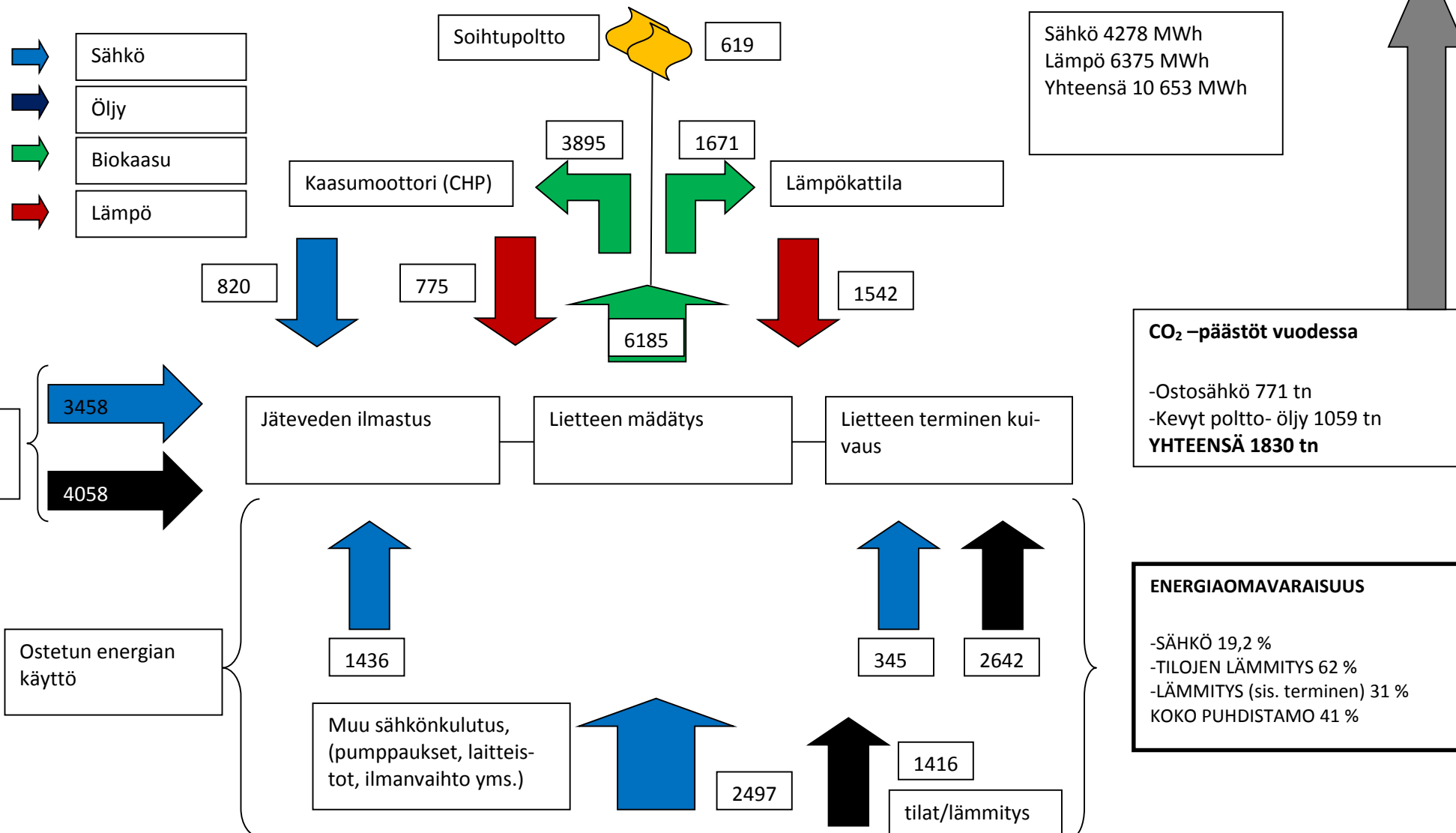
- Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Isoaho, S., Zevenhoven, M., Ollikainen, M. & Dahlbo, H. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitukset ja kustannukset. Inventaarioraportti. Suomen ympäristö 39/2008. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 119 s.
- Müller, E.A., Kobel, B., Künti, T., Pinnekamp, J., SeibertErling, G. & Böcker, K. 1999. Energie in Kläranlagen Handbuch. 21. ed. Düsseldorf: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NordrheinWestfalen. 369 s.
- Mämmelä, A. 2015. Mämmelä Oy. Haastattelu 2.3.2015 koskien ilmastusjärjestelmien kustannuksia.
- Okkonen, L. 2014. Laadullinen tutkimus. Koulutusaineisto Karelia ammattikorkeakoulu.
- Ojasalo, K., Moilanen, T., Ritalahti, J. 2009. Kehittämistyön menetelmät. Uudella osaamista liiketoimintaan. Helsinki. 181 s. ISBN 978-951-0-32671-8.
- Olsson, G. 2008. Effektivare reningsverk. Några steg mot bättre energioch resursutnyttjande. Rapport Nr 200819. Svenskt Vatten. 56 s.
- Penttinen, M. 2015. Käyttöinsinööri. Kuopion Vesi. Haastattelu (sähköposti) 13.3.2015.
- Poutiainen, H & Heinonen-Tanski, H. 2012. Modernit menetelmät yhdyskuntien jätevedenkäsittelyn tehostamisessa. Itä-Suomen yliopiston ympäristötieteen laitoksen julkaisusarja. Kuopio. 106 s.
- Pohjois-Karjalan liitto. 2010. Pohjois-Karjalan maakuntaohjelma POKAT 2014.
- Pohjois-Karjalan liitto. 2010. Pohjois-Karjalan strategia 2030. Maakuntasuunnitelma. Joensuu. Kopijyvä Oy.
- Pölönen, K. 2013. INKA, INKA, INKA Blogikirjoitus 4.11.2013. Pohjois-Karjalan ELY-keskus
- Pöyry, 2009. Raportti. Biokaasun hyödyntäminen sähköntuotannossa Lahden Ali-Juhakkalan jätevedenpuhdistamolla.
- Rautio, K. 2012. Vesihuollon energiatehokkuuden kehittämismahdollisuudet tuotannonohjausjärjestelmää hyödyntäen. Ympäristötekniikan kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 59 s.
- Reinikainen, K. 2014. Hankesuunnitelma. Viikinmäen jätevedenpuhdistamon biokaasumootoreiden uusiminen ja pakokaasulämmön hyötykäytön tehostaminen. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä.

- Rulkens, W. 2008. Sewage Sludge as a Biomass Resource for the Production of Energy: Overview and Assessment of the Various Options. *Energy & Fuels*(22): 9-15.
- Saarinen, V. 2015. Product Group Manager, Engine power plants. Sarlin. Haastattelu 7.4.2015.
- Salmela, M. & Kylmäläinen, M. 2014. Lietemädättämöselvitys. Suomen lietemädättämöiden kuormitustarkastelu. Hämeenlinna. 29 s.
- Schmid, F. 2009. Sewage Water: Interesting Heat Source for Heat Pumps and Chillers. *EnergieSchweiz*
- Soares, C. 2007. Microturbines: Applications for Distributed Energy Systems. 1. painos. Butterworth Heinemann. 320 s.
- Stasta, P., Boran, J., Bebar, L., Stehlik, P. & Oral, J. 2006. Thermo Thermal processing of sewage sludge. *Applied Thermal Engineering*(26): 1420-1426.
- Tchobanoglous, G. & Burton, F. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse International edition Metcalf & Eddy, Inc. Fourth Edition. ISBN 0-07-112250-8. 1819 s.
- Tilastokeskus. 2010a. Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2008. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 25.5.2010.
- Tukiainen, T. 2009. Vesihuoltolaitosten kasvihuonepäästöt Suomessa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Rakennus- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma. Espoo. 139 s.
- Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). 2014. Innovatiiviset kaupungit –ohjelma (INKA). <http://www.tem.fi/inka> 3.12.2014
- Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). 2013. Kuulemistilaisuus EU:n energiansäästötavoitteista säätytalo 26.4.2013
- Ulkoasianministeriö. 2015. Eurooppatiedotus. <http://www.eurooppatiedotus.fi/public/default.aspx?contentid=315002&contentlan=1&culture=fi-FI#.VRkbW3byXIV>. 28.3.2015.
- Valtioneuvoston asetus yhdyskuntajätevesistä 888/2006
- Valtioneuvoston asetus energiatuen myöntämisen yleisistä ehdoista 1063/2012
- Valtioneuvoston periaatepäätös kestävien ympäristö- ja energiaratkaisujen (cleantech-ratkaisut) edistämisestä julkisissa hankinnoissa 13.6.2013.

- Vartiainen, E., Luoma, P., Hiltunen, J. & Vanhanen, J. 2002. Hajautettu energiantuotanto: teknologia, polttoaineet, markkinat ja CO₂päästöt. Helsinki: Gaia Group. 90 s.
- Vesanto, P. 2006. Jätteenpolton parhaan käytettävissä olevan tekniikan (BAT) vertailuasiakirjan käyttö suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristö 27/2006. Helsinki. Suomen ympäristökeskus. 101 s.
- Viitasaari, M., Peltokangas, J., Heinänen, J. 1994. Vesihuoltotekniikan yksikköoperaatiot ja yksikköprosessit, osa 2 jätevedenkäsittely. Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu, vesi- ja ympäristötekniikan laitos No. A 48
- Vähärautio, E. 2015. Pohjois-Karjalan ELY-keskus. 25.3.2015 haastattelu koskien energiahankkeiden investointitukia.
- Willberg, E. Laadullisen aineiston luotettavuus. Kasvatustieteiden laitos. 16.2.2008. Diasarja.
- Ympäristöministeriön tiedote 19.12.2013. Valtioneuvosto hyväksyi esityksen uudeksi ympäristönsuojelulaiksi.
- Ympäristönsuojelulaki 27.6.2014/527

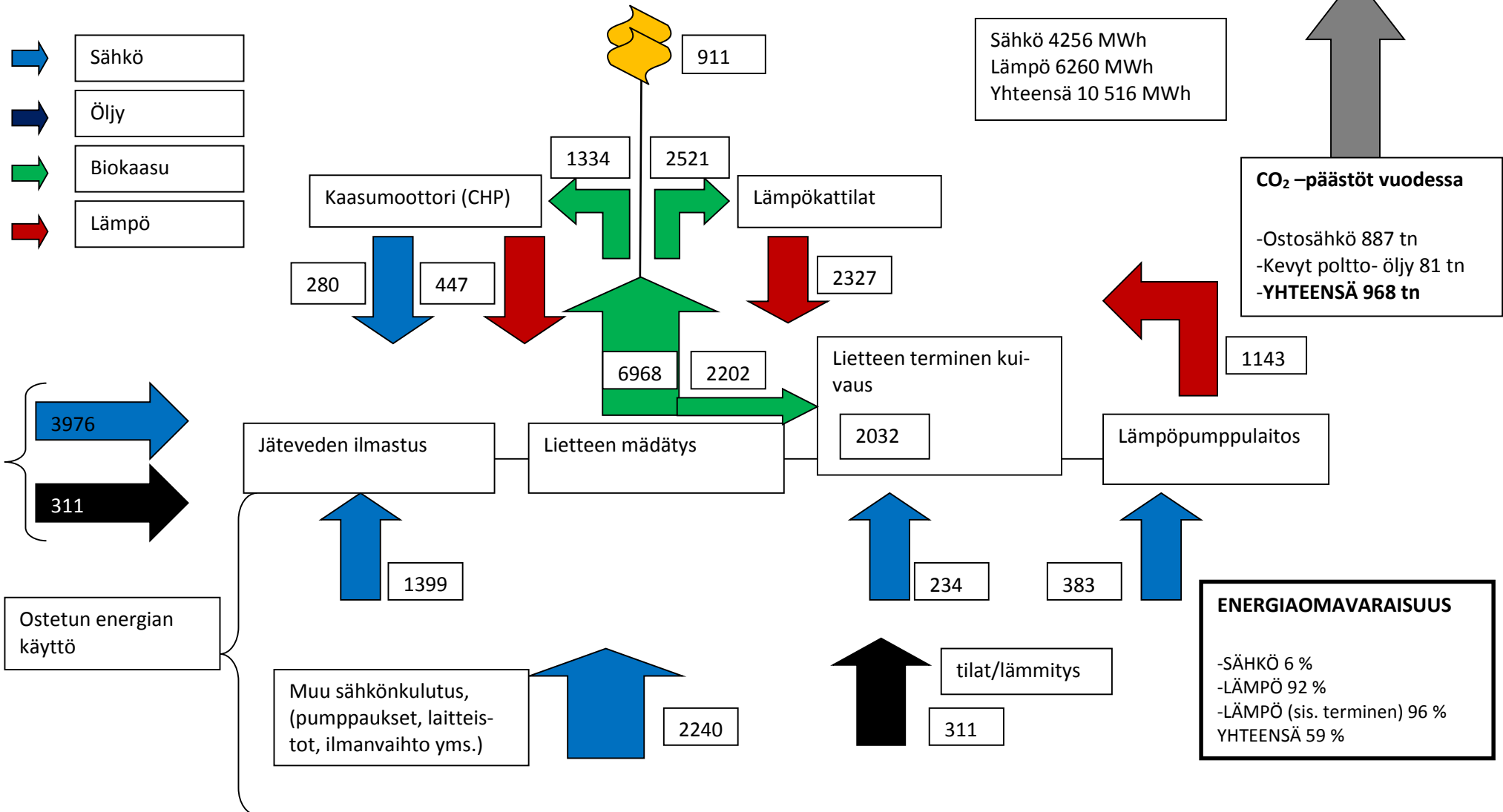
Lämmitystarveluku 4857

Puhdistamon energiatase (MWh) vuosien 2010-2013 keskiarvoina

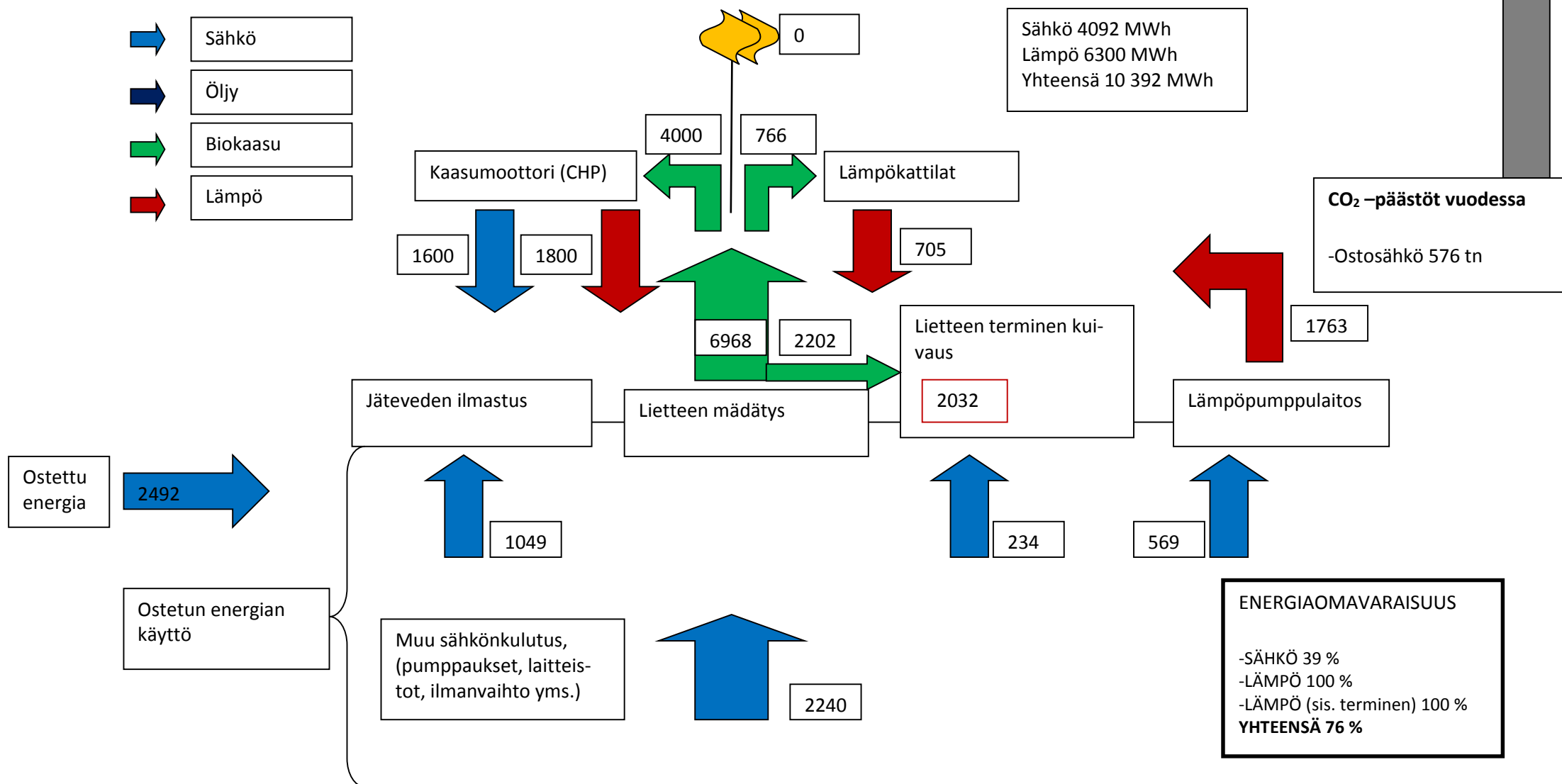
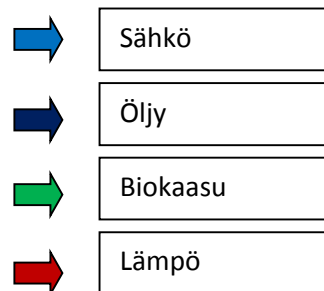


Lämmitystarveluku 4419

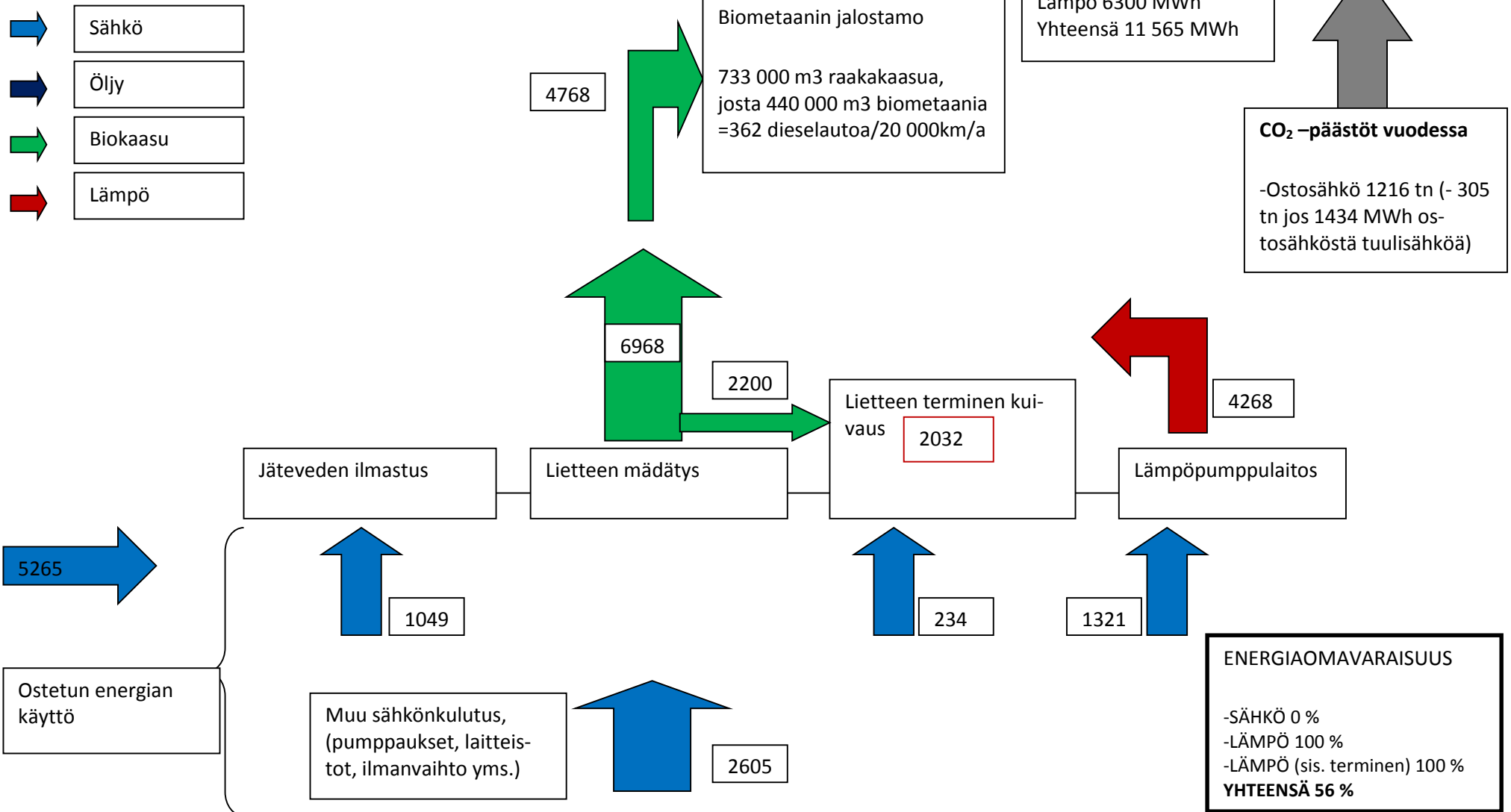
Puhdistamon energiatase (MWh), lämpöpumppulaitoksen käyttöönoton jälkeen 04/2014-03/2015 jaksolta



Puhdistamon energiatase (MWh), kehittämisvaihtoehto 1



Puhdistamon energiatase (MWh), kehittämisvaihtoehto 2



	KAASU	m3				SÄHKÖ	kWh				
	Tuotto	Poltto				Kulutus	Osto	Tuotto	Kulutus	Kulutus	Kulutus
Vuosi	Mädättämö	Kattila	Moottori	Terminen	Ylijäämä	Kokonais		Kaasumoottori	Ilmastus	Lämpöpumput	Terminen
2000	568028	236497	253189	0	78341	3788621	3371054	417567	1504208	0	1300
2001	594367	15351	563936	0	15080	3836510	2983218	853292	1324480	0	296970
2002	649200	73205	565218	0	10777	3919200	3057640	861560	1397528	0	261037
2003	712085	62794	642965	0	6325	4001944	3044524	957420	1301477	0	315345
2004	781281	31657	732537	0	17087	4135940	3030404	1105536	1215502	0	362255
2005	800660	12652	777503	0	10504	4244552	3059044	1185508	1421263	0	344875
2006	811916	2218	777814	0	31884	4010568	2863972	1146596	1216367	0	363406
2007	821911	25093	760154	0	36663	3982993	2828033	1154960	1242426	0	365251
2008	814264	38806	716825	0	58633	4298125	3229741	1068384	1522654	0	383592
2009	864758	169747	651554	0	43457	4300555	3292503	1008052	1471169	0	357530
2010	917072	307608	548351	0	61112	4207025	3442377	764648	1294969	0	347436
2011	988039	265280	647066	0	75693	4312432	3395616	916816	1477281	0	364020
2012	981668	238711	669819	0	73139	4338847	3444339	894508	1451654	0	352678
2013	919488	216686	531748	0	171053	4252366	3548890	703476	1520708	0	317138
2014	1060523	388551	189210	237669	245093	4088819	3841299	247520	1384193	200257	217833
2015	336268	130230	50286	145280	10471	1514310	1439894	74416	480359	197760	93244

Vuoden 2015 tiedot ajalta 1.1 - 31.3.

Vuosi	LÄMPÖ	kWh			ÖLJY	I
	Kaasusta				Kulutus	
	Kattila	Moottori	Terminen	Lämpöpumput	Kattilat	Terminen
2000	1418984	665000	0	0		
2001	92105	1497980	0	0		
2002	439228	1212880	0	0		
2003	376765	1151440	0	0		
2004	189942	1252830	0	0		
2005	75913	1221820	0	0		
2006	13310	1362000	0	0		
2007	150560	1380850	0	0		
2008	232836	1527310	0	0		
2009	1018480	1006920	0	0		
2010	1845651	754650	0	0	141 307 (x)	245310
2011	1591681	902755	0	0	168605	266895
2012	1432264	804870	0	0	143612	275688
2013	1300118	636010	0	0	111704	266696
2014	2331303	316399	1426016	606214	61120	37000
2015	781378	167393	871683	167393	0	0

(x) tietoa ei ollut, käytetty vuosien 2011-2013 keskiarvoa

Vuoden 2015 tiedot ajalta 1.1.2015 - 31.3.2015

2014

	Lämmön keruu	Lämmön keruu	Lämmön keruu	Lämmön keruu	Lämmön ke- ruu	Lämmön kulutus	Lämmön kulutus	Lämmön kulutus	Lämmön kulutus	Lämmön kulutus
	Lämpöpumppu 1	Lämpöpumppu 2	Kaasumoottori	Kattilat	YHTEENSÄ	Mädättämö	Kaasukello	Vesias.huoltor.	Korjaamo	YHTEENSÄ
kuukausi	LP1 [kWh]	LP2 [kWh]	QM10 [kWh]	QM9 [kWh]	[kWh]	QM7 [kWh]	QM6 [kWh]	QM5 [kWh]	QM4 [kWh]	[kWh]
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	3156	153605	0	68191	249	26196	11732	0
4	64463	89674	5277	197077	0	175927	1790	79985	33766	0
5	75679	88823	7607	117889	79913	179255	1922	61816	17778	145306
6	17418	13909	6698	173120	230930	173069	1160	18311	7635	198052
7	685	347	11696	213860	241059	158804	1816	21316	2739	184571
8	799	521	9455	206673	230852	139456	703	19591	6840	166592
9	4067	2992	47644	190539	251700	153738	809	47457	12866	214872
10	51949	73647	110167	124395	362927	213221	2304	105340	36251	357117
11	39597	54065	96965	202657	395979	243329	3419	117916	44126	408791
12	100018	91825	34919	210641	433339	260963	6456	134090	48529	450040
MINIMI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAKSIMI	100018	91825	110167	213860	433339	260963	6456	134090	48529	450040
KA	29556	34650	27799	149205	185558	147163	1719	52668	18522	177112
SUMMA	354679	415807	333588	1790462	2226703	1765959	20633	632022	222268	2125345

2015

	Lämmön keruu	Lämmön keruu	Lämmön keruu	Lämmön keruu	Lämmön ke- ruu	Lämmön kulutus	Lämmön kulutus	Lämmön kulutus	Lämmön kulutus	Lämmön kulutus
	Lämpöpumppu 1	Lämpöpumppu 2	Kaasumoottori	Kattilat	YHTEENSÄ	Mädättämö	Kaasukello	Vesias.huoltor.	Korjaamo	YHTEENSÄ
kuukausi	LP1 [kWh]	LP2 [kWh]	QM10 [kWh]	QM9 [kWh]	[kWh]	QM7 [kWh]	QM6 [kWh]	QM5 [kWh]	QM4 [kWh]	[kWh]
1	141561	90164	13246	250328	491566	268286	6384	147897	64218	486786
2	97909	33823	117432	186272	433987	269974	4847	124538	50355	449716
3	141953	87118	7266	232134	466836	279569	4228	135310	48835	467944
4	466	125	18146	410899	429045	235426	4798	121369	38409	400002
5	209	52	0	168341	168341	108580	1819	39659	10277	160336
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MINIMI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAKSIMI	141953	90164	117432	410899	491566	279569	6384	147897	64218	486786
KA	76420	42257	31218	249595	397955	232367	4415	113755	42419	392957
SUMMA	382100	211285	156090	1247976	1989777	1161836	22078	568775	212095	1964786

2014

2015

	xx	x	x	x			xx	x	x	x
	Sähköenergia	Sähköenergia	Sähköenergia	Sähköenergia			Sähköenergia	Sähköenergia	Sähköenergia	Sähköenergia
	JVP-PK Analys.	10RK1 Analys.	10LP1 Analys.	10LP2 Analys.			JVP-PK Analys.	10RK1 Analys.	10LP1 Analys.	10LP2 Analys.
kuukausi	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]		kuukausi	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
1	0	0	0	0		1	366565,4	83697,3	47218,9	32763,4
2	0	0	0	0		2	304257,3	53284,3	32434	12427,3
3	68847,9	4435,3	367	366,4		3	406167,5	91713,4	49905,6	30617,3
4	367470,4	67259,4	21322,2	33268,1		4	301467	7709,8	528,4	521,8
5	392819,1	70700,7	23632,4	32830,4		5	108623,2	2923,6	204,4	201,6
6	205586,7	14219,4	5318,2	5160		6	0	0	0	0
7	292837,7	10241,4	545,1	539,3		7	0	0	0	0
8	279277,4	9739,6	579	594,8		8	0	0	0	0
9	289711,4	10229,2	1396,8	1298,3		9	0	0	0	0
10	329996,2	52784,2	15862,5	24909,5		10	0	0	0	0
11	305279,1	41904,6	12690,2	19018,6		11	0	0	0	0
12	319700,8	66644,1	32287,9	26658,7		12	0	0	0	0
MINIMI	0	0	0	0		MINIMI	0	0	0	0
MAKSIMI	392819,1	70700,7	32287,9	33268,1		MAKSIMI	406167,5	91713,4	49905,6	32763,4
KA	237627,2	29013,2	9500,1	12053,7		KA	297416,1	47865,7	26058,3	15306,3
SUMMA	2851526,6	348157,9	114001,3	144644,1		SUMMA	1487080,4	239328,4	130291,3	76531,3

x lukemat ainoastaan lämpöpumpuilta, xx koko laitos