

Pasi Loukkojärvi

**BIOKAASUN KÄYTÖN OPTIMOINTI RUSKON JÄTEKESKUK-
SESSA**

BIOKAASUN KÄYTÖN OPTIMOINTI RUSKON JÄTEKESKUK- SESSA

Pasi Loukkojärvi
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Energiatekniikka

Tekijä: Pasi Loukkojärvi

Opinnäytetyön nimi: Biokaasun käytön optimointi Ruskon jätekeskuksessa

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Optimization of Biogas Use at Rusko Waste Center

Työn ohjaajat: Jari Kangasniemi, Timo Kiviahde

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 49

Opinnäytetyö tehtiin Oulun Ruskossa toimivalle jätteenkierrätyslaitos Kiertokaari Oy:lle. Opinnäytetyössä oli tarkoitus optimoida biokaasun käyttö mahdollisimman kannattavaksi. Työssä tutkittiin erilaisten biokaasun käyttövaihtoehtojen kustannuksia ja myynnistä saatuja katteita. Työssä selvitettiin sähkön verotuslainsäädännön vaikutusta optimointiin. Optimoinnissa huomioitiin myös oman sähköntuotannon kannattavuus.

Työssä käytettyjä lähtötietoja saatiin Kiertokaari Oy:ltä. Osa tiedoista oli Excel-tiedostoina, osa taas syötettiin papereilta Excelliin laskentaa ja analysointia varten. Tietoja, joita työssä hyödynnettiin, olivat esim. pumppaamoiden, kaasunjalostuslaitoksen, kaasunjakosaman, tankkausaseman ja mikroturbiinilaitoksen sähkö- ja energiamittareiden lukeumat.

Biokaasun käyttötavoista kannattavimmaksi osoittautui teollisuuteen myytävä, jätepenkoista pumpattu biokaasu. Sen kate seuraavaksi parhaaseen käyttötapaan verrattuna oli 16,4 % suurempi. Toiseksi paras kate saatiin itse puhdistetun kaasun myynnistä liikennepolttoaineeksi. Oman mikroturbiinilaitoksen sähkön- ja lämmöntuotanto osoittautui 67 % halvemmaksi kun sitä verrattiin sähkön- ja lämmönhankinnan vertailukustannuksiin. Työn tärkeimmät taloudelliset tiedot on salattu toimeksiantajan pyynnöstä. Kaavioissa on pyritty kuitenkin esittämään laskennan suhteellisia osuuksia.

Näiden tulosten pohjalta havaittiin, että Kiertokaari Oy:n kannattaa tulevaisuudessakin jatkaa omaa sähköntuotantoa, jossa polttoaineena käytetään jätepenkoilta pumpattua biokaasua. Myytäväksi sähköä ei kannata silti tuottaa. Myös biokaasun tuotannon lisääminen osoittautui kannattavaksi vaihtoehdoksi. Varsinkin kaasun myynnillä liikennepolttoaineeksi on hyvät kasvumahdollisuudet nykyisen ilmastopolitiikan linjauksilla.

Asiasanat: biokaasu, CHP-laitos, energia, jätteet, mädätys, polttoaineet

ALKULAUSE

Kiitos Kiertokaari Oy:lle mielenkiintoisesta opinnäytetyöaiheesta. Kiitos myös Kiertokaaren kehittämispäällikkö Jari Kangasniemelle ja Oulun ammattikorkeakoulun lehtorille Timo Kiviahteelle tuesta ja ohjauksesta.

Oulussa 3.5.2021

Pasi Loukkojärvi

SISÄLLYS

| | |
|---|----|
| TIIVISTELMÄ | 3 |
| ALKULAUSE | 4 |
| SISÄLLYS | 5 |
| 1 JOHDANTO | 6 |
| 2 KIERTOKAARI | 7 |
| 2.1 Historia | 7 |
| 2.2 Nykyinen toiminta | 8 |
| 3 BIOKAASUN HYÖDYNTÄMINEN | 10 |
| 3.1 Biokaasun keräys | 11 |
| 3.2 Biokaasun tuotanto | 12 |
| 3.3 Kaasun puhdistus | 15 |
| 3.4 Biokaasun palaminen | 17 |
| 3.5 Päästöjen torjunta | 18 |
| 3.6 Biokaasun käyttökohteet Suomessa | 18 |
| 4 SÄHKÖVERO | 24 |
| 5 OMAKÄYTTÖSÄHKÖ | 25 |
| 6 MIKROTURBIINILAITOKSEN KANNATTAVUUS | 28 |
| 6.1 Kaatopaikkakaasun omakustannehinta | 28 |
| 6.2 Sähköntuotannon hyötysuhde | 33 |
| 6.3 Sähköntuotannon kokonaiskustannus | 34 |
| 6.4 Kokonaistuotannon kannattavuus | 35 |
| 6.5 Lisäsähkön tarve | 36 |
| 7 BIOKAASUN KATTEET | 39 |
| 7.1 Kaasua teollisuuteen | 41 |
| 7.2 Liikennepolttoaineeksi itse puhdistettu ja komprimoitu | 42 |
| 7.3 Liikennepolttoaineeksi yhteistyöyrityksen puhdistama ja komprimoima | 42 |
| 7.4 Turbiineille syötetyn kaasun katteet | 43 |
| 7.5 Katteiden vertailu | 44 |
| 8 YHTEENVETO | 46 |
| LÄHTEET | 47 |

1 JOHDANTO

Työ saatiin jätteenkierrätyslaitos Kiertokaari Oy:n toimeksiantona. Kiertokaari Oy on Oulussa toimiva jätteenkierrätyslaitos, joka toimii Ruskon jätekeskuksessa. Kiertokaari Oy käyttää mikroturbiini-CHP-laitosta oman sähkön- ja lämmöntarpeen täyttämiseen. Lisäksi alueella on lämmöntuotantoa varten kiinteistökattila. CHP-laitos ja kiinteistökattila käyttävät polttoaineena alueelta saatavaa biokaasua. Biokaasua myös myydään teollisuuden käyttöön sekä liikennepolttoaineeksi. Mikroturbiini CHP-laitoksen yhteyteen on sijoitettu myös aurinkosähkövoimala.

Työn ensimmäisenä tavoitteena on selvittää verotuslainsäädännöstä, onko mahdollista päästä sähköverosta kokonaan eroon, jos sähkön tuotanto ja käyttö saataisiin optimoitua niin, ettei sähköä tarvitsisi myydä yhtään valtakunnanverkkoon. Tämän alkuselvityksen pohjalta suunnitellaan biokaasun käytön optimointia taloudellisesti kannattavammaksi. Biokaasun käytön eri vaihtoehdoille laaditaan kustannuslaskelmat. Niiden avulla määritetään liikevoitto, joka kertoo, mihin biokaasun käytössä kannattaa tulevaisuudessa keskittyä.

Lisäksi tutkitaan, onko taloudellisempaa tuottaa sähkö omassa CHP-laitoksessa vai siirtä täysin ostosähkön varaan. Nykyään osa sähköstä ostetaan, koska CHP-laitos ei pysty täysin vastaamaan sähköntarpeeseen. Jos oma sähköntuotanto osoittautuu kannattavammaksi, määritellään tehontarve uudelle laitteistolle, joka pystyisi korvaamaan pääosan nykyään ostettavasta sähköstä. Työssä myös lasketaan CHP-laitoksen sähköntuotannosta omakäytösähkön osuus, joka otetaan huomioon verotuksessa.

Työssä käytetään hyväksi jätteenkierrätyslaitokselta saatavaa mittausdataa ja muita tietoja. Lisäksi hyödynnetään laitevalmistajilta saatavia tietoja ja käydään paikan päällä tutustumassa tuotantolaitteistoihin. Biokaasun käytön optimointia suunnitellaan Excel-taulukkolaskentaohjelman avulla.

2 KIERTOKAARI

Kiertokaari Oy on Oulussa, Ruskon jätekeskuksessa toimiva jätteenkierrätyslaitos. Oulun kaupunki omistaa Kiertokaari Oy:stä 91 % (1, s. 6). Lisäksi omistajina on 7 muuta kuntaa ja kaupunkia.

2.1 Historia

Vuonna 1995 laitoksella aloitettiin biojätteen erilliskeräys. Laitoksen nimenä oli tuolloin Oulun Jätehuolto, joka toimi liikelaitos-toimintamallilla. Biokaasun pumppaaminen jätekaasoista aloitettiin v. 1997. Biokaasua alettiin heti hyödyntää laitoksen omaan lämmöntarpeeseen. Samana vuonna biokaasua alettiin myös myymään asiakkaille, joista ensimmäinen oli Paroc Oy. 1999 biokaasuasiakkaiksi tulivat Oulun yliopistollinen sairaala ja Oulun Keskuspesula Cliini Oy. Vuonna 2006 laitoksen käyttöön hankittiin 4 mikroturbiini-CHP-koneistoa. Niiden avulla on saatu lämpöä ja sähköä laitoksen omaan käyttöön. Kuvassa 1 on Kiertokaaren laitosalue. Siinä on ympyröitynä mikroturbiinilaitos, jonka katolle on sijoitettu aurinkopaneelit vuonna 2019. (2.)



KUVA 1. Kiertokaaren laitosalue (3)

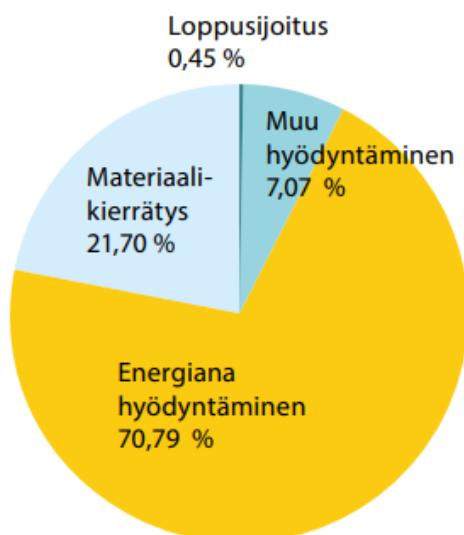
2008 alettiin käsittelemään nestemäisiä jätteitä. 2012 laitosalueelle rakennutettiin Lajitteluareena Lare. Siinä rakennus- ja sekajätteet lajitellaan materiaalikierrätykseen ja polttoaineeksi Laanilan ekovoimalaitokseen. 2013 poistettiin käytöstä vanha jätteiden sijoitusalue. Se maisemoitiin, minkä jälkeen se vuokrattiin yksityisyrittäjälle laskettelutoimintaa varten. 2015 toimintamalliksi muutettiin osakeyhtiö. Samana vuonna biojätettä alettiin käsitellä suljetussa prosessissa, kun laitoksen alueelle valmistui biokaasulaitos. 2017 alettiin käyttää raakakaasun puhdistuslaitosta ja otettiin myös käyttöön liikennebiokaasun tankkausasema. (2.)

2.2 Nykyinen toiminta

Kiertokaari huolehtii toimialueensa jätteenkäsittelystä, -kierrätyksestä ja hyötykäytöstä. Lisäksi Kiertokaari järjestää jäteneuvontaa esim. julkaisemalla jäteopaslehti Oiva Roinaa, joka jaetaan toimialueen kaikkiin kotitalouksiin kerran vuodessa.

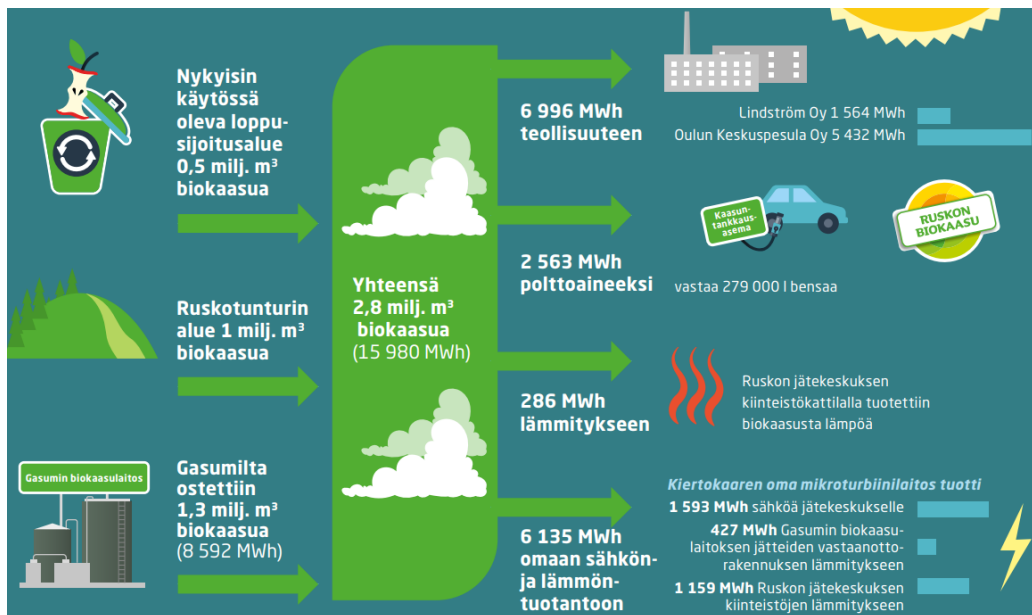
Kiertokaaren palveluksessa on 26 vakituista työntekijää. Toimialueen asukasmäärä on n. 280 000. (4.)

Kiertokaari Oy hallinnoi yhdeksää jätteiden vastaanottopistettä. Vuonna 2019 Kiertokaari Oy vastaanotti jätettä yhteensä 179 000 tonnia, josta 113 000 tonnia oli yhdyskuntajätettä. Kuvassa 2 on esitettyä yhdyskuntajätteiden hyödyntäminen. (1, s. 14.)



KUVA 2. Kiertokaaren yhdyskuntajätteiden hyödyntämssuhteet v.2019 (1, s. 14)

Vuonna 2019 Kiertokaarella käytettiin tai myytiin eteenpäin 2,8 miljoonaa kuutiometriä biokaasua. Se vastaa öljylitroihin suhteutettuna 1,6 miljoonaa litraa öljyä. Jätteen loppusijoituspaikoista kerättiin 1,5 miljoonaa kuutiometriä biokaasua. Loppu 1,3 miljoonaa kuutiometriä ostettiin laitosalueella sijaitsevalta biokaasulaitokselta, jossa tuotetaan biokaasua mädättämällä biojätteitä ja lietteitä. Kuvassa 3 on biokaasun tuotanto- ja kulutusvirrat. (1, s. 9.)



KUVA 3. Biokaasun tuotanto ja käyttö (1, s. 9)

Vuonna 2019 Kiertokaari teki huomattavan yhteistyösopimuksen Oulun Energian kanssa. Sovittiin, että Oulun Energia ottaa vastuulleen jätekeskuksen alueella olevan lajitteluareena Laren toiminnan. Lisäksi Oulun Energialle vuokrattiin alue lajitteluareenan läheisyydestä automatisoidun lajittelulaitoksen rakentamiseen. (1, s. 10,11.)

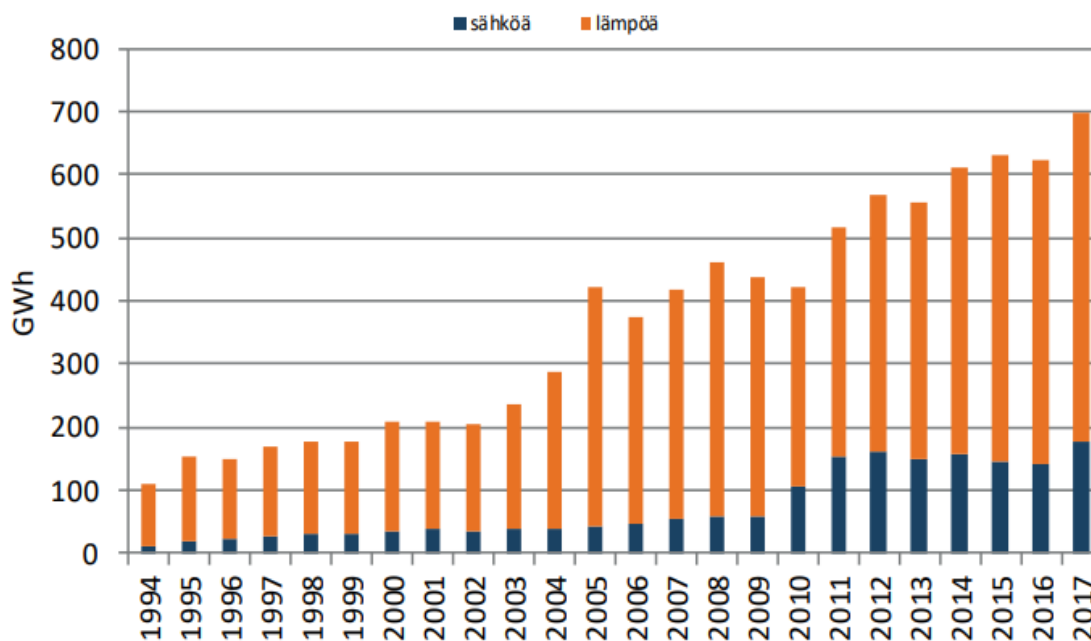
Kiertokaari tekee yhteistyötä myös muiden yritysten ja toimijoiden kanssa. Esimerkiksi Oulun yliopiston kanssa on ollut useita hankkeita. Yksi näistä on ollut vuoden 2021 maaliskuuhun jatkunut FLOW-hanke, jossa tutkittiin teollisuuden sivuvirtojen ja eristejätteen käyttömahdollisuuksia rakentamisessa. (1, s. 11,12.)

3 BIOKAASUN HYÖDYNTÄMINEN

Suurin biokaasun tuottaja Euroopassa on Saksa. Saksassa sijaitsee 60 % kaikista Euroopan biokaasulaitoksista. Saksan biokaasulla tuottaman sähkön määrä vastaa melkein tuplasti Suomen ydinvoimalaitosten tuottamaa sähkömäärää. (5.)

Pohjoismaisessa vertailussa Ruotsi ja Tanska ovat merkittävimmät biokaasun tuottajat. Vuonna 2015 Ruotsin biokaasun tuotanto oli melkein kuusinkertainen Suomeen verrattuna. Tanskan tuotanto on kirinyt viime vuosina voimakkaasti ja on tällä hetkellä samaa luokkaa Ruotsin kanssa. Norjan ja Suomen tuotantomäärät ovat lähellä toisiaan. (5.)

Biokaasun tuotanto Suomessa vuonna 2017 oli 172 milj. m³ (6, s. 8). Kuvassa 4 on havainnollistettu biokaasulla tuotetun sähkön ja lämmön tuotannon kehitystä vuosina 1994–2017.



KUVA 4. Suomen sähkön- ja lämmöntuotanto biokaasulla 1994–2017 (6, s. 9)

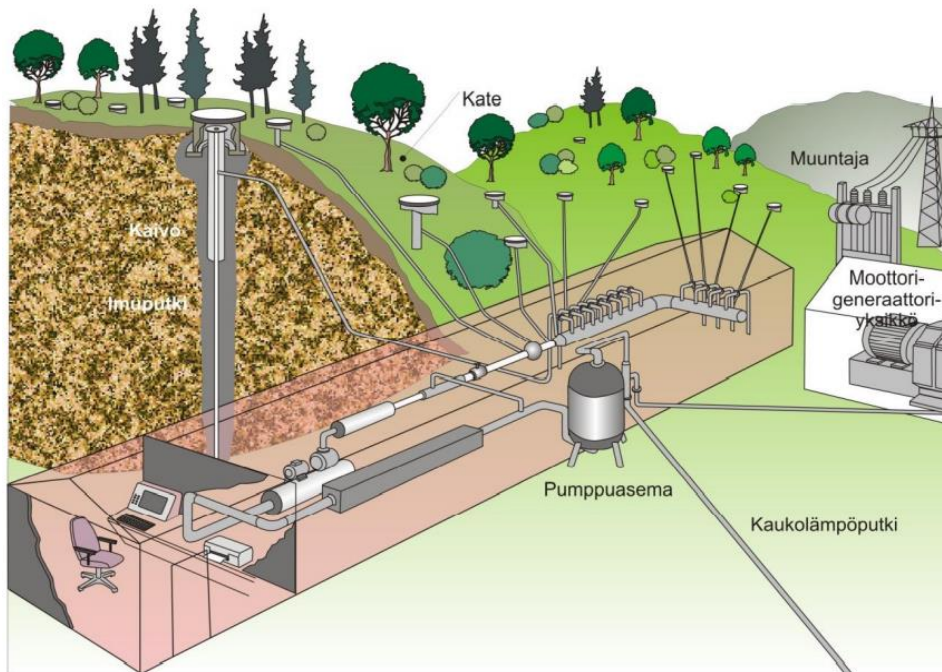
Kiertokaari käyttää sähkön- ja lämmöntuotannossaan kaatopaikan jätekasoista kerättyä biokaasua sekä alueella olevalta biokaasulaitokselta biohajoavista jätteistä mädättämällä

valmistettua biokaasua. Seuraavassa tarkastellaan, kuinka biokaasun keräys kaatopaikalla tapahtuu. Lisäksi tutkitaan, miten biokaasua tuotetaan anaerobisen mädättämisen avulla.

3.1 Biokaasun keräys

Kaatopaikoilla syntyy biokaasua merkittävän suurina määrinä edelleenkin huolimatta siitä, että vuodesta 2016 lähtien biojätteen vieminen kaatopaikkojen jätekasoihin on ollut kiellettyä. Kaatopaikoille läjitetystä biojätteestä syntyy biokaasua vielä useiden vuosikymmenten jälkeen. Tuottomäärä yhdestä tonnista yhdyskuntajätettä on 100–200 m³ biokaasua. Kaatopaikkojen jätekasosissa syntyvä biokaasu sisältää 25–64 % metaania, joka on biokaasun poltossa hyödynnettävä osa. Loppuosa on lähinnä hiilidioksidia. (7, s. 193.)

Kaatopaikkakaasua kerätään kaatopaikoilta joko siiviläputkien tai louhesalaojien avulla. Siiviläputket sijoitetaan vaak- tai pystysuuntaan. Suomessa jätekasojen korkeus on verrattain suuri, joten pystysuuntainen siiviläkaivo on toimiva tapa kerätä kaatopaikkakaasua. Kuvassa 5 on esitettyä pystysuuntainen kaasunkeräysmenetelmä. Kuvassa näkyvä pumppuasema saa aikaan alipaineen, jonka avulla kaasu saadaan kerättyä talteen. (7, s. 194.)



KUVA 5. Kaatopaikkakaasun kerääminen pystysuuntaisella putkella (7, s. 194)

Liikennepolttoaineena käytettäväksi kaatopaikoilta kerätty raakakaasu ei sellaisenaan sovellu. Pääasiallisena syynä on kaatopaikkakaasun sekaan päässyt ilma, joka sisältää typpeä. Typen poisto on erittäin haasteellista ja kallista. Sen sijaan mädättämällä tuotettua biokaasua voidaan käyttää liikennepolttoaineena sen jälkeen, kun siitä on poistettu hiilidioksidia ja epäpuhtauksia.

3.2 Biokaasun tuotanto

Biokaasua tuotetaan biokaasulaitoksilla. Tällainen on Ruskon jätekeskuksessa sijaitseva mädätyslaitos. Biokaasu tuotetaan biohajoavasta materiaalista, kuten kotitalouksien, kauppojen ja ravintoloiden biojätteestä. Tarvittaessa kaikesta eloperäisestä jätteestä, lukuun ottamatta puuta, voidaan mädättämällä tuottaa biokaasua. Tällaisen yhdyskuntabiojätteen metaanintuotto-osuus koko tuotetusta kaasumäärästä on 50–60 % (8, s.41). Biokaasun polttoaineena hyödynnettävä osa, metaani, syntyy anaerobisesti, biomassaa mikrobien avulla mädättämällä.

Mädätyksessä voidaan hyödyntää erilaisia mädättäjäbakteereja. Eri bakteerit toimivat eri lämpötiloissa. 10–20 °C:n lämpötilassa toimivaa prosessia kutsutaan psykrofiiliseksi. Sitä ei yleensä käytetä biokaasun tuotannossa hitaan reaktionopeuden takia. Sen sijaan yleisesti käytettyjä ovat 20–40 °C:ssa tapahtuva mesofiilinen prosessi ja 50–67 °C:ssa toimiva termofiilinen prosessi. Termofiilinen prosessi toimii 2–4 kertaa nopeammin kuin mesofiilinen. Termofiilisen prosessin biokaasun tuotto on lisäksi 8–10 % mesofiilistä suurempi. (9.)

Suomessa käytössä olevat biokaasuprosessit ovat yleensä mesofiilisiä. Mesofiilisesti toimii myös Kiertokaari Oy:n yhteistyökumppanina oleva Gasumin Oulun Ruskon biokaasulaitos (10). Mesofiilinen prosessi ei ole yhtä herkkä pH:n ja lämpötilan heilahteluille kuin termofiilinen (11, s. 34).

Yhdyskuntajätteestä on ennen mädätysprosessia poistettava erilaisia epäpuhtauksia, kuten muovia tai metallia, joka on päätenyt biojätteen sekaan esim. kotitalouksien huonojen kierrätystaitojen vuoksi. Biojätteen puhdistus aloitetaan laitoksella syöttämällä se altaaseen tai suppiloon, josta se menee esimurskaimeen. Seuraavaksi biojätteestä poistetaan metallit magneettien avulla. Sitten kevyemmät tuotantoon kelpaamattomat kappaleet

seulotaan pois tai puristetaan erilleen. Tämän jälkeen massaa puhdistetaan uudestaan magneettien avulla, jotta pienet metallin palat saadaan pois. Lopuksi voidaan käyttää hiekanerotussäiliötä, johon tippuu biojätettä raskaammat partikkelit. (8, s. 51, 52, 53)

Ennen mädätystä biomassaa voidaan vielä esikäsitellä. Esikäsitelyssä käytetyt menetelmät riippuvat biomassan sisällöstä. Myös biokaasun käyttötarkoitus on huomioitava, kun mietitään esikäsitelyn kannattavuutta. Esikäsitelyyn käytetty laitteisto voi olla iso investointi.

Esikäsitely voidaan tehdä murskaamalla biojäte entistä pienijakoisemmaksi massaksi. Murskaimessa biomassan koostumus paranee mädätysprosessia varten. Rasvojen, hiilihydraattien ja proteiinien hydrolyysivaihe on nopeampaa, kun isot kappaleet on murskattu pienemmiksi. Biomassan pinta-alan näin kasvaessa entsyymit pääsevät paremmin nopeuttamaan orgaanisen massan pilkkoutumista. (8, s. 56.)

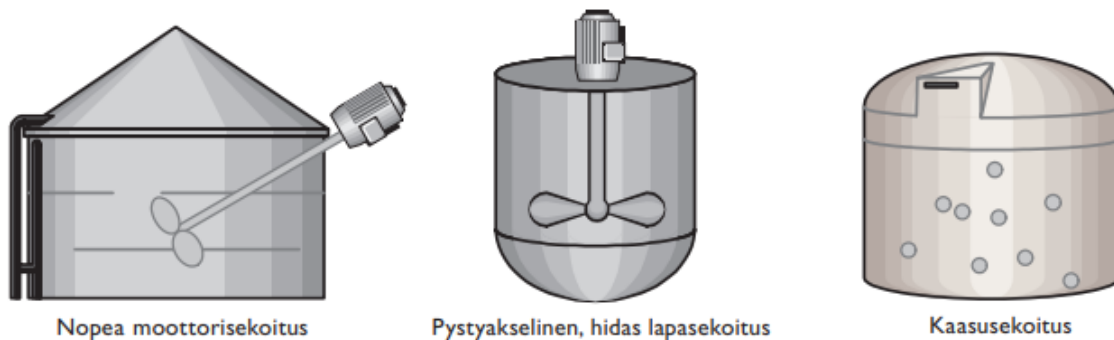
Esikäsitelyä voidaan lisäksi käyttää voimakasta paineen nostoa höyryn avulla tai lämpötilan nostoa välille 120–200 °C. Esikäsitelyä voidaan tehdä myös kemiallisesti esim. happojen avulla. Biologisesta esikäsitelystä puhutaan silloin, kun mädätysreaktorissa tapahtuva prosessi jaetaan kahteen osaan. Ennen mädätystä massan pH-arvo lasketaan arvoon 4–6. Tämä happamuus on ihanteellinen hydrolyysia varten. Tämän biologisen esikäsitelyn jälkeen massan pH-arvo nostetaan 7:ään, joka soveltuu mädätysprosessiin. (8, s. 56, 57.)

Kuivatyyppisessä laitoksessa biomassaa on nyt valmista mädätysreaktoriin syöttöä varten. Jos taas kyseessä on märkätyyppinen laitosprosessi, niin ennen mädätystä biomassaa joudutaan liettämään. Se tarkoittaa nesteiden lisäämistä massaan käsittelyn helpottamiseksi. Biojäte on laitokselle tullessa kuiva-ainepitoisuudeltaan 20–35 %. Liettämisen jälkeen kuiva-ainepitoisuus on 10–15 %. Jos märkäprosessin kuiva-ainepitoisuus jää liian korkeaksi, vaarana on pumppujen ja sekoittimien hajoaminen ja toiminnan häiriintyminen. (8, s. 52; 11, s. 24.)

Tämän jälkeen liete lämmitetään 37-asteiseksi. Varsinainen mädätysprosessi säiliöissä kestää noin kolme viikkoa. Tämä viipymäaika biokaasureaktorissa vaihtelee jonkin verran

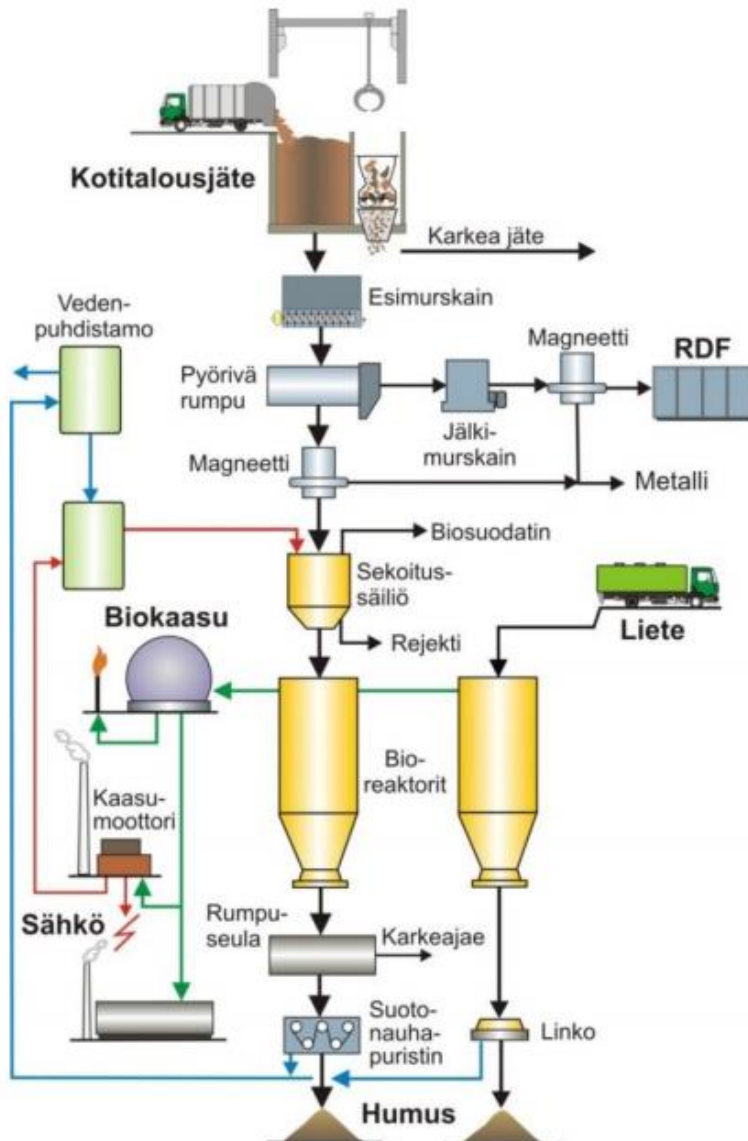
prosessityypistä ja syötteen laadusta riippuen. Termofiilinen prosessi on yleensä muutamia päiviä mesofiilistä nopeampi. (11, s. 35; 12.)

Reaktorissa tapahtuvan tuotantoprosessin laadun ylläpito edellyttää syötteen sekoittamista. Tällä huolehditaan lämmön tasaisesta jakaantumisesta syötteessä. Lisäksi näin varmistetaan mikrobien ja reaktoriin lisättävän biomassan kohtaaminen. Näin metaanin tuotanto pidetään mahdollisimman korkeana. Sekoitusmenetelmiä ovat esim. pystyakselinen lapasekoitin, nopea moottorisekoitin ja kaasusekoitus. Kaasusekoitus tarkoittaa sitä, että pumpataan reaktiossa syntynyttä biokaasua mädätysreaktorin alempiin osiin. Kaasun noustessa sieltä ylöspäin se samalla sekoittaa syötettä. Monesti eri sekoitusmenetelmiä yhdistetään keskenään. Kuvassa 6 on havainnollistettu eri sekoitusmenetelmiä. (11, s. 31.)



KUVA 6. Syötteen sekoitusmenetelmiä (11, s. 31)

Kuvassa 7 on esitettyä biokaasun mädätyslaitoksen toimintaperiaate. Kuvan yläosassa mädätettävä kototalousjäte tuodaan laitokselle, minkä jälkeen alkaa puhdistus ja esikäsitteily. Alhaalla kuvassa saadaan humusta eli tuotannossa hajoamatonta, hienoksi jauhunutta bioainesta, jota voidaan käyttää mullan raaka-aineena. Bioaines sisältää runsaasti esim. fosforia ja typpeä. Siksi siitä voidaan valmistaa lannoitteita.



KUVA 7. Biokaasulaitoksen toiminta (7, s. 191)

3.3 Kaasun puhdistus

Kaatopaikalta kerätty tai mädättämällä valmistettu raakakaasu ei sellaisenaan sovellu käytettäväksi polttoaineena. Ennen käyttöä polttoaineena biokaasu joudutaan puhdistamaan. Rikkiyhdisteet ja siloksaanit ovat yleisiä biokaasun osia, jotka tulee poistaa ennen kaasun käyttöä polttoaineena. Siloksaanit aiheuttavat käynnistysongelmia, kun ne palaessaan hapettuvat piidioksidiksi ja kertyvät mäntiin ja sytytystulppiin. Siloksaanien puhdistus voidaan tehdä aktiivihillisuodattimilla tai vesipesurilla (13). Puhdistusta voidaan tehdä jo mädättämön tuotantoprosessin aikana.

Rikkiyhdisteitä, kuten rikkivetyä, voidaan poistaa lisäämällä vähän ilmaa reaktorin kaasutilaan. Rikkivetyä voidaan vähentää myös lisäämällä biomassaan rautaa oksidimuodossaan. Rauta sitoo rikkivedyn. Tämän jälkeen rauta jää biomassan käsittelyjäännökseen. Kasvuston pinnalla elävät bakteerit käyttävät ilman hapen hyväkseen ja muuttavat rikkivetyä rikin alkuainemuotoon. Myös kaasussa oleva kosteus tulee poistaa vedenerottimilla. Puhdistamaton ja kostea biokaasu aiheuttaa, sitä polttoaineena käyttäville laitteille vaurioita. Puhdistus vähentää lisäksi ympäristön saastumista. (11, s. 41–43.)

Kaasua voidaan joutua myös jalostamaan. Jalostusta voidaan ja usein pyritäänkin teknisesti yhdistämään puhdistuksen kanssa (8, s. 126). Yleisin jalostusmenetelmä on vesipesu. Vesipesussa hyödynnetään hiilidioksidin metaania suurempaa vesiliukoisuutta (8, s. 140). Kuvassa 8 on Kiertokaari Oy:n kaasuaseman vesipesulaitteisto.



KUVA 8. Biokaasun vesipesuri

Jalostusta tehdään varsinkin silloin, jos biokaasua käytetään liikennepolttoaineena. Jalostuksessa raakakaasusta vähennetään aineita, jotka eivät reagoi kemiallisesti muuten kuin korkeassa lämpötilassa ja paineessa. Tällaisia ovat kaatopaikkakaasussa hiilidioksidi ja typpi. Niistä ei saada energiaa, mutta toisaalta kun kaasua käytetään sähkön- ja lämmöntuotantoon, niistä ei ole haittaakaan muuten kuin metaanipitoisuutta alentavana tekijänä. Mädätetyssä biokaasussa ei ole mainittavasti typpeä. Sen sijaan hiilidioksidia siinä on runsaasti, jopa puolet kaasun tilavuuskoostumuksesta.

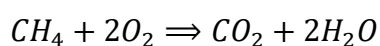
Lopuksi biokaasu paineistetaan eli komprimoidaan sen käytettävyyttä ja siirtämistä varten. Paineistuksen ansiosta kaasun kuljetus- tai varastointitila saadaan merkittävästi pienemmäksi. Paineen ansiosta kaasu myös siirtyy auton tankkiin tai muuhun käyttökohteeseen. Kuvassa 9 on Kiertokaari Oy:n kaasuaseman paineenkorotuskompressorin, jolla paineistetaan turbiineille menevä kaasu 6 baarin paineeseen.



KUVA 9. Kompressorin biokaasun paineistamiseen

3.4 Biokaasun palaminen

Biokaasusta hyödynnettävä palava osa on metaani. Metaanin palaessa syntyy lopputuotteina hiilidioksidia ja vettä. Lisäksi reaktio tuottaa lämpöä. Sen palamisreaktio ilman välivaiheita on merkittynä kaavassa 1.



KAAVA 1

Biokaasun tehollinen lämpöarvo on 14,4–21,6MJ/m³_n. Se on kilowattitunteina 4–6 kWh/m³_n. Lämpöarvo vaihtelee biokaasun sisältämän metaanin määrän mukaan. Maa-kaasun, joka sisältää metaania n. 98 %, tehollinen lämpöarvo on 35,6 MJ/m³_n. (7, s. 189; 14.)

3.5 Päästöjen torjunta

Biokaasun sisältämä metaani on voimakas kasvihuonekaasu. Metaanin palamistuotteet ovat hiilidioksidi ja vesi. Hiilidioksidin vaikutus kasvihuoneilmiöön on hyvin pieni metaaniin verrattuna; metaani aiheuttaa yli 20-kertaisen vaikutuksen kasvihuoneilmiöön. (7, s. 193.)

Mädätyslaitoksilla biokaasua tuotetaan jatkuvasti ja joskus tuotanto ylittää kulutuksen. Tällaisia tilanteita varten tuotantolaitoksilla on varastotilaa ylituotannolle. Jos varastotila ei riitä vastaamaan biokaasun ylituotantoon, kaasu joudutaan polttamaan soihdussa. (8, s. 133.)

Myös kaatopaikkakaasun osalta on otettu myönteisiä askelia vähentämään metaanipäästöjä. Metaanipäästöt kaatopaikoilta ovat olleet viime vuosikymmeninä jatkuvassa laskussa. Myönteinen kehitys johtuu suureksi osaksi kaatopaikoille laitettavan jätemäärän pienenemisestä. Merkittävä osa tätä suuntausta oli vuonna 1999 annettu Euroopan neuvoston direktiivi, jossa oli velvoitteet biojätteiden sijoituksen vähentämisestä vaiheittain vuosien 2006–2016 aikana. (15, s. 3.)

Metaanipäästöt kaatopaikoilta jatkuvat silti vielä yli 30 vuotta, vaikka sinne ei vietäisi uutta biohajoavaa ainesta. Siksi etenkin isoissa jätteen sijoituskohteissa kaasu on kerättävä talteen. Tämän jälkeen se hyödynnetään tai poltetaan soihdussa. (15, s. 11.)

3.6 Biokaasun käyttökohteet Suomessa

Kaatopaikkojen jätepenkoilta kerätyn biokaasun yleisin käyttökohde on lämmöntuotanto. Lämpöä voidaan tuottaa kaasukattilalla. Kaatopaikkakaasua hyödynnetään myös sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Tällöin puhutaan CHP-laitoksesta. Lyhenne CHP tulee englannin sanoista combined heat & power.

Yhteistuotanto on yleensä järkevin tuotantotapa, koska sillä saadaan merkittävästi parempi kokonaishyötysuhde kuin sähkön tai lämmön erillistuotannolla. Sähkön tuotannossa voidaan käyttää kaasuturbiineita tai -moottoreita, joissa on lämmöntalteenotto.

Pelkkä sähköntuotannon hyötysuhde on 25–40 %. Kaasuturbiineiden tai -moottoreiden lämmöntalteenoton tuoma lämmönsaannin hyötysuhde on enimmillään 60 %:n luokkaa. Kokonaishyötysuhde isoimmilla tuotantolaitoksilla on jopa 90 %. Kaatopaikoilla kaasuturbiineina käytetään yleensä mikroturbiineja. Niiden etuna on useimman turbiinin liittäminen yhteen. Turbiinien käytöstä ja huollosta tulevat kustannukset ovat pienemmät kuin kaasumoottoreilla. Toisaalta niiden investointi on kalliimpaa kuin kaasumoottoreiden. Taulukossa 1 on Suomessa kaatopaikoilta talteen kerätyn kaasun määrä ja käyttömäärät eri energiantuotanto muodoittain. (6, s. 19; 11, s. 46.)

TAULUKKO 1. Kaatopaikoilta kerätty ja hyödynnetty biokaasu v. 2017 (6, s. 20)

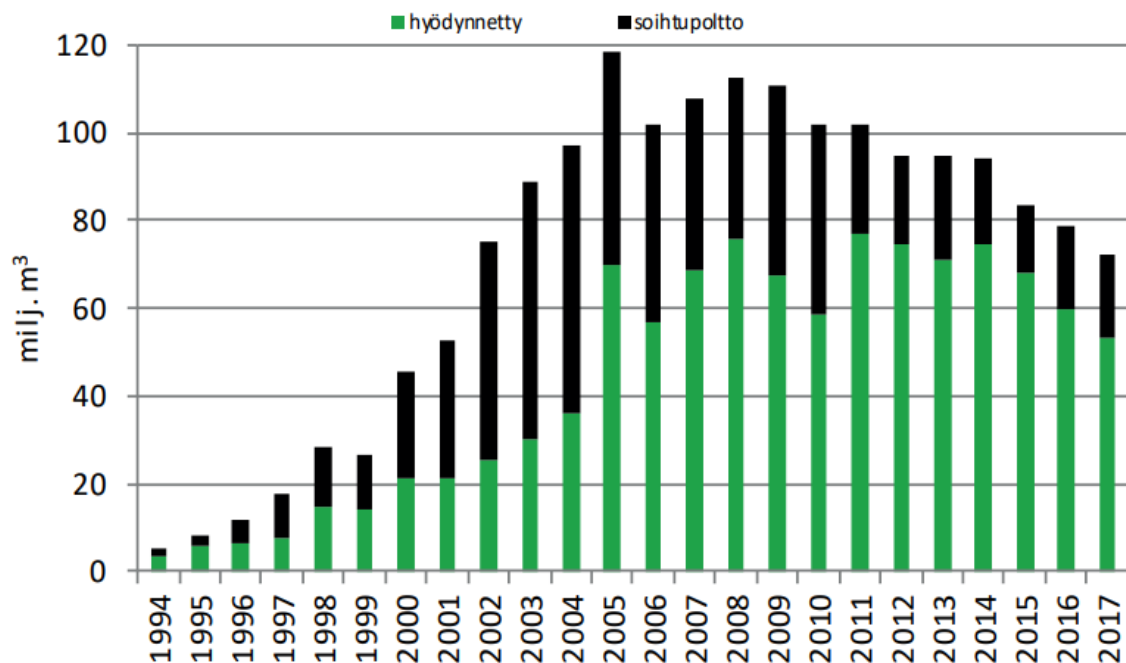
| | | |
|------------------------------|--------|----------------------|
| Biokaasun tuotanto | 72,344 | milj. m ³ |
| Hyödynnetty biokaasu | 53,028 | milj. m ³ |
| Sähkön tuotanto | 64,7 | GWh |
| Lämmön tuotanto | 138,1 | GWh |
| Mekaanisen energian tuotanto | 0 | GWh |

Myös biohajoavien aineiden mädätyslaitosten tuottamasta biokaasusta valtaosa menee lämmöntuotantoon. Sähköntuotantoon menee lähelle neljäsosaa mädättämällä tuotetusta biokaasusta. Loput käytetään liikennepolttoaineena. Taulukossa 2 on Suomen mädätyslaitosten tuottotiedot ja kaasun käyttömäärät vuodelta 2017. (6, s. 10.)

TAULUKKO 2. Mädätyslaitosten tuottama biokaasu v. 2017 (6, s. 10)

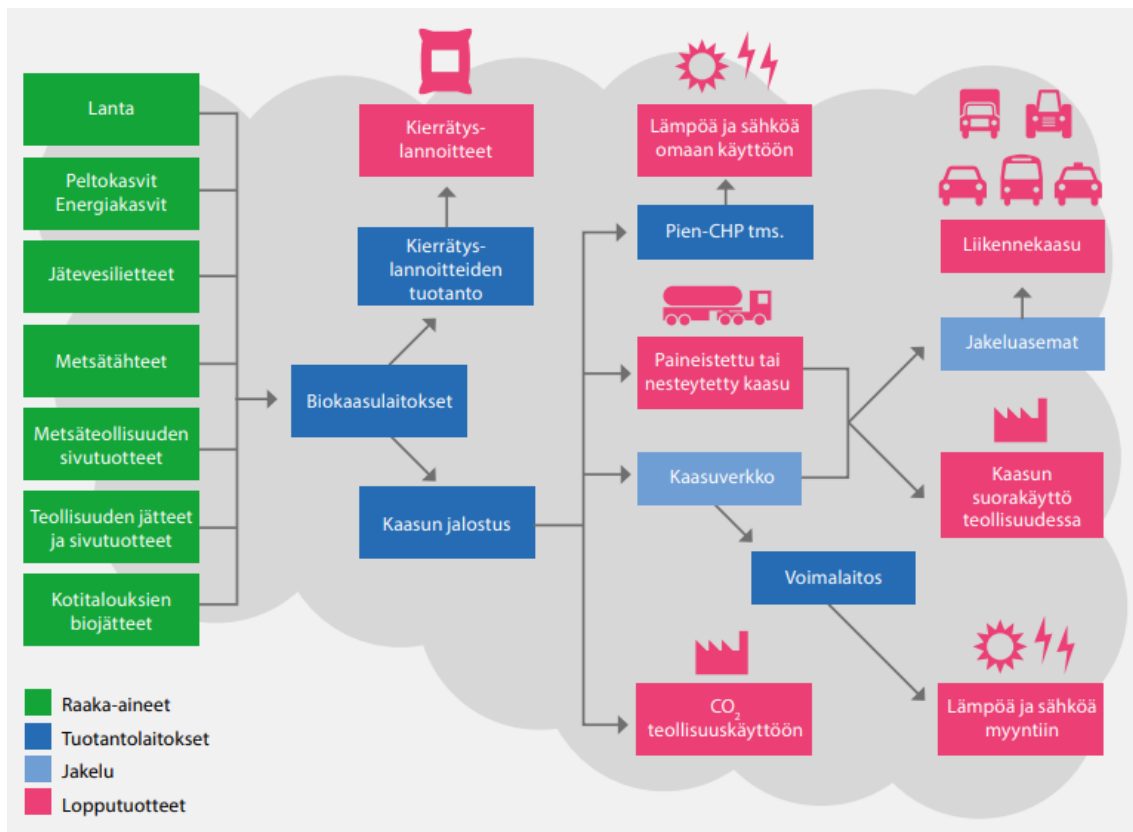
| | | |
|------------------------------|--------|----------------------|
| Biokaasun tuotanto | 99,871 | milj. m ³ |
| Hyödynnetty biokaasu | 90,994 | milj. m ³ |
| Sähkön tuotanto | 113,6 | GWh |
| Lämmön tuotanto | 367,2 | GWh |
| Mekaanisen energian tuotanto | 14,9 | GWh |

Iso osa biokaasusta tulee edelleen kaatopaikoilta. Sen osuus kuitenkin pienenee koko ajan, kun taas mädättämällä tuotetun biokaasun osuus kasvaa. Kuvassa 10 on kaatopaikoilta saadun biokaasun tuotanto ja hyödynnetyt määrät vuosina 1994–2017. Kaatopaikkakaasun määrät ovat olleet loivassa laskussa 2010-luvun alusta lähtien.



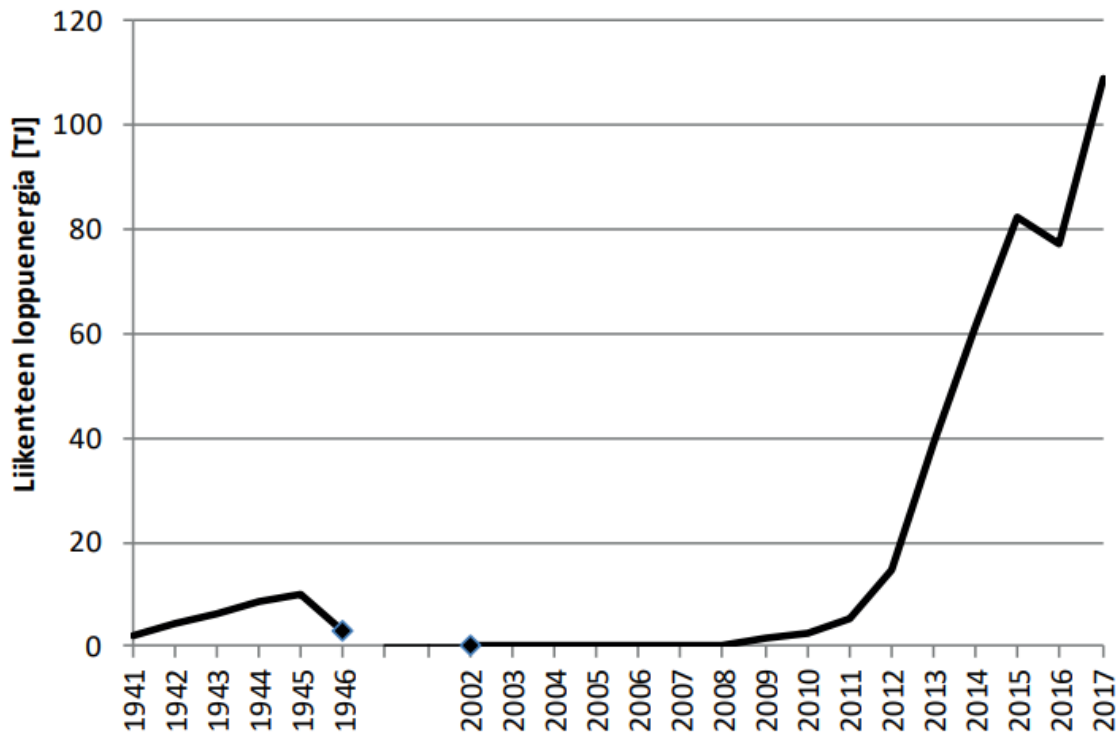
KUVA 10. Kaatopaikoilta kerätyt ja hyödynnetyt kaasumäärät v. 1994–2017 (6, s. 20)

Biokaasun käyttö lämmöksi ja sähköksi jakautuu erilaisiin loppukäyttäjiin. Esimerkiksi kaatopaikat hyödyntävät kaasua omaan sähkön- ja lämmöntarpeeseen. Kaasua myydään myös teollisuuteen ja voimalaitoksille. Kuvassa 11 on kokonaiskuva biokaasun käytöstä. Biokaasua voidaan kaasuverkon kautta myydä helposti loppukäyttäjille. Yksi vaihtoehto on paineistaa tai nesteyttää kaasu, jolloin sen tilavuus pienenee. Näin kaasu pystytään kuljettamaan taloudellisesti kannattavasti. (16, s. 22, 23.)



KUVA 11. Biokaasun hyödyntämisen kokonaiskuva (17, s. 52)

Biokaasua käytetään liikennepolttoaineeksi Suomessa vuosittain. Suomessa on 53 henkilöliikenteen kaasutankkausasemaa (18). Näistä 24 asemalla voi tankata biokaasua (19). Kuvassa 12 on kaasuautojen tankkausasemat Suomessa. Pohjoisimmat tankkausasemat sijaitsevat Oulun korkeudella. Kuvassa punaisella merkatut ovat tulevaisuudessa käyttöön otettavia asemia.



KUVA 13. Biokaasun käyttö liikennepolttoaineena Suomessa (6, s. 25)

Tulevaisuudessa biokaasumarkkinoita myllertää nesteytetyn maakaasun eli LNG:n lisääntyvä markkinaosuus. LNG:n markkinaosuuden kasvu on osa suurempaa energiamurrosta, jossa siirrytään pois öljyn käytöstä.

Pohjoismaissa on suunnitteilla monia LNG:n jakeluun liittyviä hankkeita. LNG:n tuontiterminaaleja on Suomessa tällä hetkellä 3. Poriin valmistui terminaali 2016 ja Tornioon 2017 (20). Kolmas terminaali on aloittanut toimintansa Haminassa vuoden 2021 alkupuolella (21). Vaasaan on tarkoitus valmistua syksyllä 2021 LNG-terminaali (22). Viime vuosina on ollut suuntaus rakentaa kaasuverkon ulkopuolella olevia biokaasulaitoksia. Biokaasua hyödynnetään paikallisesti sähkön- ja lämmöntuotantoon sekä liikennepolttoaineena. Tämä kehitys tulee LNG:n vaikutuksesta jatkumaan tulevaisuudessakin. (16, s. 31.)

4 SÄHKÖVERO

Työn alussa selvitettiin, mahdollistaako nykyinen sähköverolaki sen, että energiaverosta ja huoltovarmuusmaksusta päästäisiin kokonaan eroon, jos kaikki tuotettu sähkö käytettäisiin Ruskon jätekeskuksessa. Asiassa oli epäselvyyttä, koska verotusta käsittelevissä artikkeleissa oli jonkin verran ristiriitaista tietoa. Löytyi esimerkiksi maininta, että 2000 kVA:n tuotantotehoon asti kykenevät laitokset ovat vapaita sähköverosta, jos valtakunnanverkkoon ei siirretä yhtään sähköä (23, s. 19.)

Asiaa alettiin selvittämään ottamalla yhteyttä valtiovarainministeriön vero-osastolle. Kyselyjä tehtiin Tullin valmisteverotusosastolta. Lisäksi neuvontaa haettiin Verohallinnon valmisteveroneuvonnasta.

Lopputuloksena selvisi, että uusi, 8.11.2019 annettu syventävä valmisteverotusohje ei enää mahdollista sähkön omakäyttäjien verottomuutta, jos ohjeen kohdassa 2.1 olevat nimellisteho- ja vuosituotantorajat ylittyvät. Ohjeen mukaan nimellisteholtaan alle 100 kVA:n laitokset ovat verottomia. Yli 100 kVA:n nimellistehoiset laitokset, joiden vuosituotanto kuitenkin on alle 800 000 kWh välttyvät verolta, vaikkakin antavat silti ns. nollaveroilmoituksen kerran vuodessa. Nollaveroilmoituksesta verottaja näkee, onko vuotuinen sähkön tuotantomäärä pysynyt alle 800 000 kWh. (24.)

Kiertokaari Oy ei uuden valmisteverotusohjeen mukaan vapaudu verosta, koska laitoksen nimellistehosähköteho sekä vuosituotanto ylittävät reilusti ohjeen mukaiset rajat. Tältä osin alustavasti suunniteltu sähköakuston merkittävä hyödyntäminen omakäytön lisäämiseksi jätettiin pois. Biokaasun käytön optimointia lähdettiin näin ollen miettimään muihin säästö- ja käyttökohteisiin perustuen.

5 OMAKÄYTTÖSÄHKÖ

Työssä tehtiin laskelmat Kiertokaari Oy:n käyttämälle omakäyttösähkölle. Omakäyttösähkö tarkoittaa sitä sähkömäärää, joka käytetään laitoksen omassa sähköntuotannossa. Omakäyttösähköä ei siis ole kaikki se sähkö, joka käytetään laitoksen omassa toiminnassa ja joka on itse tuotettua.

Omakäyttösähkön määrä huomioidaan verotuksessa. Omakäyttösähkön laskentaa hyödynnettiin myöhemmin myös turbiinilaitoksen kannattavuutta arvioitaessa. Sen avulla saatiin laskettua turbiineilta hyötykäyttöön menevä sähkö.

Omakäyttösähkөөn oli tullut lisäyksenä uusia laitteita edellisen laskennan jälkeen. Lisäksi sähkönkulutuksesta sähköntuotantoon menevissä osuuksissa oli tapahtunut muutosta edellisen laskennan jälkeen. Omakäyttösähkөөn lasketaan mukaan kaasuaseman, mikroturbiinilaitoksen ja biokaasupumppaamo 1:n omaan tuotantoon käyttämä sähkö.

Ensin huomioitiin kaasuaseman sähkönkulutuksesta sähköntuotantoon käytetty osuus. Se oli kolmesta edellä mainitusta ainoa, jonka omakäyttösähkön kulutukseen ei tullut muutoksia verrattuna vuonna 2016 viimeksi tehtyyn omakäyttösähkön laskentaan. Kyseinen sähkönkulutus tulee kaasuaseman kompressorien käyttämästä sähköstä. Kaasu painistetaan 6 bar:n paineeseen ennen turbiineille syöttämistä.

Sitten selvitettiin %-osuus, jonka mikroturbiinilaitoksen turbiinit käyttävät biokaasupumppaamon talteen keräämästä kaasusta. Tämä osuus oli muuttunut merkittävästi edellisen laskennan jälkeen. Taulukossa 3 on biokaasupumppaamo 1:n keräämän kaasun energiamäärän kuukausittainen kertymä vuodelta 2020.

TAULUKKO 3. Biokaasupumppaamo 1:n keräämä energiamäärä

| 2020 | [kWh] |
|-----------------|----------------|
| tammi | 635517 |
| helmi | 425888 |
| maalis | 500000 |
| huhti | 550062 |
| touko | 489826 |
| kesä | 550062 |
| heinä | 489826 |
| elo | 524062 |
| syys | 431772 |
| loka | 529234 |
| marras | 426451 |
| joulu | 500000 |
| YHTEENSÄ | 6052700 |

Turbiinilaitoksen käyttämä osuus kaasusta saatiin jakamalla turbiinilaitoksen käyttämä kaasumäärä biokaasupumppaamon talteen keräämällä kaasumäärällä. Mikroturbiinilaitoksen v. 2020 käyttämän kaasun energiamäärä kuukausittain on esitettyinä taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Turbiinilaitoksen v. 2020 käyttämä energiamäärä

| 2020 | [kWh] |
|-----------------|----------------|
| tammi | 458992 |
| helmi | 472930 |
| maalis | 475288 |
| huhti | 428516 |
| touko | 450000 |
| kesä | 450000 |
| heinä | 450000 |
| elo | 450000 |
| syys | 450000 |
| loka | 450000 |
| marras | 450000 |
| joulu | 450000 |
| YHTEENSÄ | 5435726 |

Mikroturbiinilaitoksen hyödyntämää, pumpatun kaasun energian osuutta käytettiin laskettaessa pumppauksen kuluttamasta sähköstä sähköntuotantoon kuluva osuutta. Laskennan tulokseksi saatiin 89,81 %. Tällä luvulla kerrottiin biokaasupumppaamon sähkönkulutus, jotta saatiin sähköntuotantoon menevä määrä.

Lopuksi laskettiin kuinka paljon mikroturbiinilaitoksen puhaltimet, imurit ja valaistus käyttävät sähköä. Tässä laskennassa käytettiin kilpiarvoista saatuja nimellistehoja. Lisäksi huomioitiin puhaltimien, imureiden ja valaistuksen käyttöasteet. Kuvassa 14 on esimerkkinä pakokaasuventtiilien ylipainepuhaltimen kilpiarvot, josta näkyy nimellisteho 0,75 kW.



KUVA 14. Pakokaasuventtiilien ylipainepuhaltimen kilpiarvot

Lopuksi laskettiin kaikki omakäyttösähkö yhteensä. Omakäyttösähkön ja sähköverkkoon luovutetun sähkön määrä vähennetään tuotetun sähkön määrästä. Näin saadaan lasketua verolliset luovutukset, joiden mukaan maksetaan energiavero ja huoltovarmuusmaksu.

6 MIKROTURBIINILAITOKSEN KANNATTAVUUS

Työssä arvioitiin mikroturbiinilaitoksen kannattavuutta. Kannattavuutta arvioitiin ensin sähköntuotannon näkökulmasta, koska suuri osa lämmöstä menee hukkaan, varsinkin kesäaikana. Itse tuotetulle sähkölle laskettiin hinta, jota verrattiin ostosähkön hintaan. Turbiinilaitoksen kannattavuutta arvioitiin lisäksi kokonaistuotannon avulla eli ottamalla lämmöntuotanto mukaan laskuihin. Myös tuotannon hyötysuhteet laskettiin.

Kannattavuuden laskeminen aloitettiin kaatopaikkakaasun talteenoton kustannuksista. Sitten laskettiin kaasuaseman tuomat kustannukset. Kaasuasemalla kaatopaikkakaasu paineistetaan turbiineita varten. Lopuksi laskettiin turbiinilaitoksen kustannukset. Näiden kaikkien kustannusten sekä turbiinilaitokselta hyötykäyttöön menevän sähkön avulla saatiin kokonaiskustannus itse tuotetulle sähkölle.

Sähköntuotannon kokonaiskustannukset auttavat näkemään, onko taloudellisempaa tuottaa sähkö itse vai ostaa se. Jos oma tuotanto osoittautuu halvemmaksi vaihtoehdoksi, niin tarkastellaan biokaasun eri käyttövaihtoehtojen kustannuksia omakäyttösähkön hinnalla. Kustannuksien pohjalta lasketaan sitten katteet eri tavoille käyttää biokaasua.

6.1 Kaatopaikkakaasun omakustannehinta

Kaatopaikkakaasun omakustannehinta muodostuu sen talteenoton kustannuksista. Näihin sisältyvät pumppauslaitteiston huolto- ja korjauskustannukset sekä pumppauksen aiheuttama sähkönkulutus.

Pakollisia huoltoja kummallekin pumppaamolla tehdään 3 kertaa vuodessa. Huollon lisäksi arvioitiin vuoden aikana kertyvät korjauskustannukset. Pumppauskustannukset kerättyä energiayksikköä kohden saatiin jakamalla vuotuiset kustannukset vuoden aikana kerätyllä energiamäärällä.

Ruskon kaatopaikka-alueella sijaitsee 2 eri pumpppaamo. Biokaasupumpppaamo 1 kerää kaasua käytöstä poistetulta jätepenkalta. Biokaasupumpppaamo 2 kerää kaasua toiminnassa olevalta, uudemmalta penkalta. Molempien pumpppaamoiden keräämälle kaasulle laskettiin erikseen talteenottokustannukset.

Pumpppaamoiden sähkönkulutukset saadaan sähkömittareista, jotka käydään lukemassa pumpppaamoissa paikan päällä kerran kuukaudessa. Mittarit mittaavat kumulatiivista arvoa. Tämä tarkoittaa, että esim. maaliskuun kulutus saadaan vähentämällä huhtikuun alussa mitatusta arvosta maaliskuun arvo. Lisäksi sähkömittareille täytyy huomioida mittarikerhoimet, joilla kunkin kuun arvo kerrotaan. Sähkömittarien kertoimena on käytetty arvoa 40. Taulukossa 5 on laskettuna BKP-1000:n eli biokaasupumpppaamo 1:n vuotuisen sähkönkulutus.

TAULUKKO 5. Biokaasupumpppaamo 1:n sähkönkulutus

| PVM / KK | | BKP-1000 sähkömittari | |
|-----------------|-----------|-----------------------|--------------|
| | | Lukema | Määrä (40 ×) |
| 2020 | | [kWh] | [kWh] |
| 31.12.2019 | joulukuu | 83185 | |
| 3.2.2020 | tammikuu | 83559 | 14960 |
| 2.3.2020 | helmikuu | 83855 | 11840 |
| 1.4.2020 | maaliskuu | 84150 | 11800 |
| 4.5.2020 | huhtikuu | 84447 | 11880 |
| 29.5.2020 | toukokuu | 84650 | 8120 |
| 1.7.2020 | kesäkuu | 84920 | 10800 |
| 31.7.2020 | heinäkuu | 85162 | 9680 |
| 1.9.2020 | elokuu | 85446 | 11360 |
| 1.10.2020 | syyskuu | 85691 | 9800 |
| 2.11.2020 | lokakuu | 85976 | 11400 |
| 1.12.2020 | marraskuu | 86251 | 11000 |
| 31.12.2020 | joulukuu | 86547 | 11840 |
| YHTEENSÄ | | 134480 | |

Samoilla laskentaperiaatteilla saatiin laskettua myös uudemman pumpppaamon sähkönkulutus. Pumpppaamoiden kulutuksia verrattiin keskenään. Lisäksi uuden pumpppaamon

tietoja tarvitaan, kun lasketaan jalostuslaitoksen kannattavuutta. Taulukossa 6 on BKP-500:n eli biokaasupumppaamo 2:n vuotuinen sähkönkulutus.

TAULUKKO 6. Biokaasupumppaamo 2:n sähkönkulutus

| PVM / KK | | BKP-500 sähkömittari | |
|------------|-----------|----------------------|---------------|
| | | Lukema | Määrä (40 ×) |
| 2020 | | [kWh] | [kWh] |
| 31.12.2019 | joulukuu | 52774 | |
| 3.2.2020 | tammikuu | 52985 | 8440 |
| 2.3.2020 | helmikuu | 53224 | 9560 |
| 1.4.2020 | maaliskuu | 53483 | 10360 |
| 4.5.2020 | huhtikuu | 53731 | 9920 |
| 29.5.2020 | toukokuu | 53919 | 7520 |
| 1.7.2020 | kesäkuu | 54176 | 10280 |
| 31.7.2020 | heinäkuu | 54582 | 16240 |
| 1.9.2020 | elokuu | 54996 | 16560 |
| 1.10.2020 | syyskuu | 55387 | 15640 |
| 2.11.2020 | lokakuu | 55743 | 14240 |
| 1.12.2020 | marraskuu | 56011 | 10720 |
| 31.12.2020 | joulukuu | 56249 | 9520 |
| | | YHTEENSÄ | 139000 |

Biokaasupumppaamoiden keräämä energia- ja kaasumäärä käydään myös lukemassa kerran kuussa paikan päällä pumppaamoilla. Samoin kuin pumppausaseman sähkömittarit, nekin mittaavat kumulatiivista arvoa. Taulukossa 7 on biokaasupumppaamo 1:n vuoden aikana kerätty kaasumäärä, sen energiamäärä sekä niiden perusteella laskettu lämpöarvo. Lopullisten keräyskustannusten laskennassa käytetään vuoden aikana kerättyä energiamäärää.

TAULUKKO 7. Vanhan pumppaamon keräämä kaasu ja sen sisältämä energia

| | BKP-1000 / VANHA BIOKAASUPUMPPAAMO | | | | |
|------------------------|---|--------------------|--------------|----------------|------------------------|
| PVM. | KAASUMÄÄRÄ | | ENERGIAMÄÄRÄ | | LÄMPÖ- |
| KUUKAUSI | LUKEMA | MÄÄRÄ | LUKEMA | MÄÄRÄ | ARVO |
| | [Nm ³] | [Nm ³] | [kWh] | [kWh] | [kWh/Nm ³] |
| 31.12.2019 (joulukuu) | 3397332 | | 690712 | | |
| 31.1.2020 (tammikuu) | 3517024 | 119692 | 1326229 | 635517 | 5,31 |
| 29.2.2020 (helmikuu) | 3601536 | 84512 | 1752117 | 425888 | 5,04 |
| 31.3.2020 (maaliskuu) | 3276613 | 100000 | 395 | 500000 | 5,00 |
| 30.4.2020 (huhtikuu) | 3390769 | 114156 | 550457 | 550062 | 4,82 |
| 31.5.2020 (toukokuu) | 3495314 | 104545 | 1040283 | 489826 | 4,69 |
| 30.6.2020 (kesäkuu) | 3601829 | 106515 | 1564345 | 550062 | 5,16 |
| 31.7.2020 (heinäkuu) | 3687573 | 85744 | 1996117 | 489826 | 5,71 |
| 31.8.2020 (elokuu) | 3795866 | 108293 | 2525351 | 524062 | 4,84 |
| 30.9.2020 (syyskuu) | 3885575 | 89709 | 2951802 | 431772 | 4,81 |
| 31.10.2020 (lokakuu) | 3983248 | 97673 | 3439922 | 529234 | 5,42 |
| 30.11.2020 (marraskuu) | 4082013 | 98765 | 3982251 | 426451 | 4,32 |
| 31.12.2020 (joulukuu) | 4166525 | 84512 | 4408139 | 425888 | 5,04 |
| YHTEENSÄ / KA: | | 1194116 | | 5978588 | 5,01 |

Taulukossa 8 on biokaasupumppaamo 2:n keräämän kaasun tilavuudet ja energiamäärät kuukausittain. Näiden tietojen ja kustannusten avulla lasketaan lopulliset kokonaiskulut MWh:a kohden.

TAULUKKO 8. Uuden pumppaamon keräämä kaasu ja sen sisältämä energia

| | BKP-500 / UUSI BIOKAASUPUMPPAAMO | | | | |
|------------------------|---|--------------------|--------------|----------------|------------------------|
| PVM. | KAASUMÄÄRÄ | | ENERGIAMÄÄRÄ | | LÄMPÖ- |
| KUUKAUSI | LUKEMA | MÄÄRÄ | LUKEMA | MÄÄRÄ | ARVO |
| | [Nm ³] | [Nm ³] | [kWh] | [kWh] | [kWh/Nm ³] |
| 31.12.2019 (joulukuu) | 508400 | | 2956350 | | |
| 31.1.2020 (tammikuu) | 558782 | 50382 | 3214824 | 258474 | 5,13 |
| 29.2.2020 (helmikuu) | 606655 | 47873 | 3455813 | 240989 | 5,03 |
| 31.3.2020 (maaliskuu) | 654398 | 47743 | 3684834 | 229021 | 4,80 |
| 30.4.2020 (huhtikuu) | 712014 | 57616 | 3854290 | 288080 | 5,00 |
| 31.5.2020 (toukokuu) | 771678 | 59664 | 4118942 | 298320 | 5,00 |
| 30.6.2020 (kesäkuu) | 835860 | 64182 | 4433367 | 314425 | 4,90 |
| 31.7.2020 (heinäkuu) | 897402 | 61542 | 4735113 | 301746 | 4,90 |
| 31.8.2020 (elokuu) | 960458 | 63056 | 5044090 | 308977 | 4,90 |
| 30.9.2020 (syyskuu) | 1031776 | 71318 | 5369170 | 325080 | 4,56 |
| 31.10.2020 (lokakuu) | 1087116 | 55340 | 5654956 | 285786 | 5,16 |
| 30.11.2020 (marraskuu) | 1141176 | 54060 | 5898341 | 243385 | 4,50 |
| 31.12.2020 (joulukuu) | 1189049 | 47873 | 6139330 | 240989 | 5,03 |
| YHTEENSÄ / KA: | | 680649 | | 3335272 | 4,91 |

Kaatopaikkakaasun lopullisia talteenoton kustannuksia laskettiin sekä osto- että omakäytösähkön hinnalla. Ostosähkön hintana käytettiin 150 €/MWh. Omakäytösähkön hinnaksi laskettiin 62,18 €/MWh. Omakäytösähkön hinta jouduttiin iteroimaan Excelillä. Tämä johtui siitä, että omakäytösähkön hinta vaikuttaa kaasun talteenoton kustannuksiin. Talteenoton kustannus taas vuorostaan muuttaa omakäytösähkön hintaa. Iterointia jatkettiin, kunnes saatiin talteenoton kustannusten ja omakäytösähkön laskentaan käytetyn talteenoton kustannusten erotukseksi alle 10 senttiä.

Biokaasupumppaamo 1:n kustannukset ostosähkön hinnalla olivat 4,46 €/MWh ja biokaasupumppaamo 2:n kustannukset 8,20 €/MWh. Omakäytösähkön hinnalla kustannukset olivat BKP-1:lle 2,49 €/MWh ja BKP-2:lle 4,54 €/MWh. Omakäytösähköllä pumpatulle kaasulle laskettiin myös suhteellinen hinta, joka on 3,22 €/MWh. Suhteellista hintaa käytettiin, kun laskettiin teollisuuteen menevän kaatopaikkakaasun kustannuksia.

Suurin tekijä biokaasupumppaamo 2:n huomattavasti korkeampiin kustannuksiin saatua energiamäärää kohden oli sen talteen ottaman kaasun merkittävästi pienempi määrä. Sen sijaan ero pumppaamoiden vuotuisissa kokonaiskustannuksissa oli vähäinen. Yhteenveto kustannusten muodostumisesta ja energiamääristä omakäytösähkön hinnalla on taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Omakustannehinnan muodostuminen kaatopaikkakaasulle

| | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|
| Omakäytösähkön hinta | 62,18 | €/MWh | |
| | BKP-1 | BKP-2 | |
| Huolto | 1500 | 1500 | €/a |
| Korjaus | 5000 | 5000 | €/a |
| Sähkö | 8362 | 8643 | €/a |
| Yhteensä | 14862 | 15143 | €/a |
| Kustannus | 2,49 | 4,54 | €/MWh |

6.2 Sähkötuotannon hyötysuhde

Mikroturbiinilaitoksen sähkötuotannolle laskettiin hyötysuhde. Se saatiin jakamalla laitoksen vuoden aikana tuottama sähköenergia laitokselle vuodessa syötetyn biokaasun energiamäärällä. Taulukossa 10 on laskettuna vuoden 2020 aikana syötetty energiamäärä.

TAULUKKO 10. Mikroturbiinilaitokselle v. 2020 syötetty energia

| BIOKAASU | MWh |
|-----------------|-------------|
| tammikuu | 459 |
| helmikuu | 473 |
| maaliskuu | 475 |
| huhtikuu | 429 |
| toukokuu | 450 |
| kesäkuu | 450 |
| heinäkuu | 450 |
| elokuu | 450 |
| syyskuu | 450 |
| lokakuu | 450 |
| marraskuu | 450 |
| joulukuu | 450 |
| Yhteensä | 5436 |

Laitoksen vuodessa tuottama energia saatiin sähkömittarin lukemien avulla. Mitatut lukemat ja tuotettu sähkö kuukausittain sekä kokonaistuotto vuodessa ovat taulukossa 11.

TAULUKKO 11. Mikroturbiinilaitoksen tuottama sähkö

| ENERGIA ULOS SÄHKÖ | | Lukema kWh | Tuotto MWh |
|-----------------------|-----------|---------------|---------------|
| 31.12.2019 | joulukuu | 728310 | |
| 3.2.2020 | tammikuu | 863943 | 136 |
| 2.3.2020 | helmikuu | 989887 | 126 |
| 1.4.2020 | maaliskuu | 120802 | 131 |
| 4.5.2020 | huhtikuu | 290352 | 170 |
| 29.5.2020 | toukokuu | 404633 | 114 |
| 1.7.2020 | kesäkuu | 533027 | 128 |
| 31.7.2020 | heinäkuu | 642079 | 109 |
| 1.9.2020 | elokuu | 765537 | 123 |
| 1.10.2020 | syyskuu | 879932 | 114 |
| 2.11.2020 | lokakuu | 6599 | 127 |
| 1.12.2020 | marraskuu | 139025 | 132 |
| 31.12.2020 | joulukuu | 295429 | 156 |
| Yhteensä | | | 1567 |

Sähköntuotannon hyötysuhteeksi saatiin 28,8 % kaavalla 2.

$$\eta_{sähkö} = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$

KAAVA 2

$$\eta_{sähkö} = \frac{1567MWh}{5436MWh} = 0,288 = 28,8\%$$

Seuraavaksi turbiineilta uloslähtevästä sähköstä vähennettiin turbiinilaitoksen puhaltimien, valaistuksen yms. sähkönkulutus sekä turbiineille menevän kaasun paineistukseen kuuluva sähkö. Näin saatiin turbiinilaitokselta hyötykäyttöön menevän sähkön määrä. Kun hyötysuhteen laskennassa käytetään sitä arvoa, sähköntuotannon hyötysuhteeksi saadaan 23,47 %.

6.3 Sähköntuotannon kokonaiskustannus

Lopuksi laskettiin mikroturbiinilaitoksen sähköntuotannon kokonaiskustannus tuotettua MWh:a kohden. Se saatiin jakamalla kaikki sähköntuotannon vuotuiset kustannukset hyötykäyttöön vuodessa menevän sähkön energiamäärällä. Tätä lukemaa verrataan sitten ostosähkön hintaan.

Sähköntuotannon vuotuisiin kustannuksiin sisältyvät turbiinilaitoksen kaasuntalteenotosta käyttämä osuus, kaasuaseman paineistuskustannukset sekä mikroturbiinilaitoksen kustannukset.

Kaatopaikkakaasun talteenoton kustannuksina käytetään osuutta, jonka turbiinilaitos käyttää biokaasupumppaamo 1:sen pumppaamasta kaasusta. Tämä osuus on 89,81 %. Mikroturbiinilaitoksen ja kaasuaseman kustannukset saatiin laitoksen tilitietojen perusteella. Vuosilta 2018–2020 laskettiin maksujen ja tulojen avulla kustannus. Siitä otettiin keskiarvo vuotta kohti, jota käytettiin laskennassa.

Lopulliset kustannukset sähkölle pystytään laskemaan myös jakamalla kaikki tuotannosta aiheutuneet kustannukset energiamäärällä, joka on mennyt turbiinilaitokselle vuodessa ja jakamalla tulos vielä sähköntuotannon hyötysuhteella. Omakäyttösähkön hinnaksi saatiin sama kuin aiemmin lasketulla tavalla. Kaava 3:n perässä on esitettyä numeroarvot

sijoitettuna sekä lopullinen kustannus. Se osoittaa, että sähkö on kannattavampaa tuottaa itse kuin ostaa.

$$\text{Sähkön kustannus} = \frac{\frac{\text{Tuotanto kustannus}}{\text{Käytetty energia}}}{\eta_{\text{sähköntuotanto}}} \quad \text{KAAVA 3}$$

$$\text{Sähkön kustannus} = \frac{\frac{79310 \text{ €/a}}{5436 \text{ MWh/a}}}{0,2347} = 62,18 \text{ €/MWh}$$

6.4 Kokonaistuotannon kannattavuus

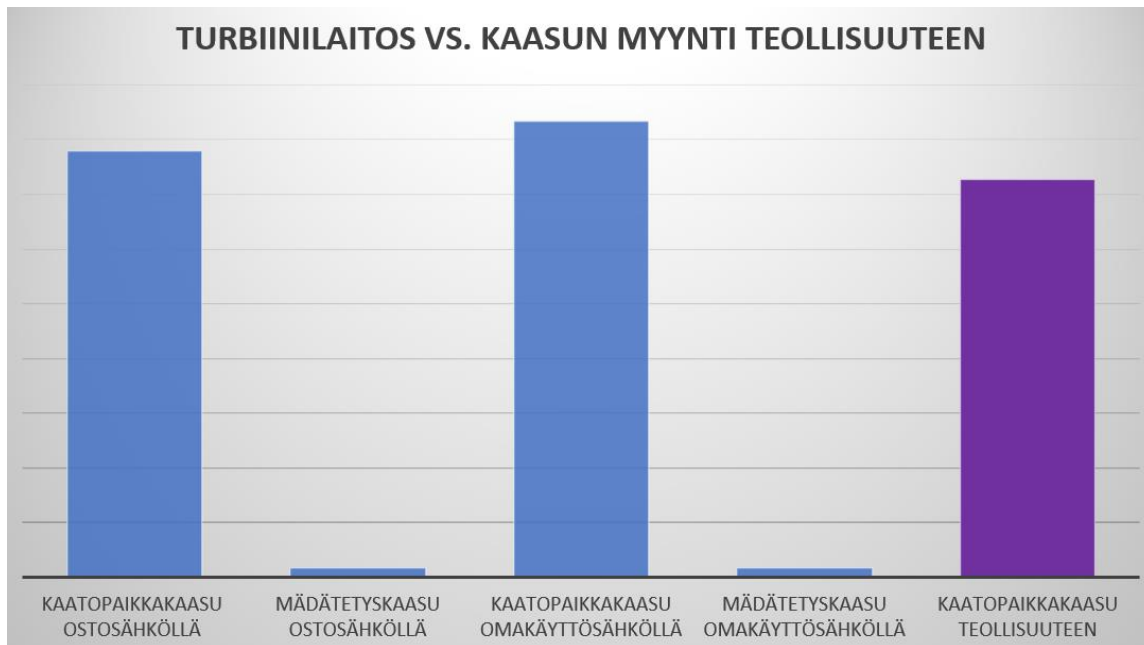
Mikroturbiinilaitokselle laskettiin kokonaiskannattavuus. Siinä huomioitiin kaikki turbiinilaitoksen aiheuttamat kustannukset. Kustannuksia verrattiin laitoksella vuodessa tuotetun lämmön ja sähkön arvoon. Lämmön arvoksi laskuissa otettiin 50 €/MWh ja sähkön arvoksi 150 €/MWh.

Mikroturbiinilaitoksen tuoton arvo euroissa saatiin, kun kerrottiin vuodessa tuotettu sähkömäärä sähkön arvolla ja lämmöntuotto lämmön arvolla. Nämä summattiin yhteen ja niistä vähennettiin turbiinilaitoksen aiheuttamat vuotuiset kustannukset. Säästöä verrattiin erikseen tilanteissa, kun kustannukset lasketaan ostosähköllä tai omakäyttösähköllä. Lisäksi tehtiin vertailut säästöstä tilanteessa, jossa turbiineille ajettaisiin mädätyskaasua.

Kaikissa vaihtoehtoissa turbiinilaitos osoittautui kannattavaksi. Mädätyskaasun käyttö oli yhtä kannattavaa osto- ja omakäyttösähkön hinnalla, koska mädätyskaasua käytettäessä pumppauksen aiheuttama sähkönkulutus jää pois. Tosin mädätyskaasulla säästö oli suhteellisen pieni. Omakäyttösähkön hintaa käytettäessä turbiinilaitoksen säästö oli mädätyskaasulla vain 2 % verrattuna kaatopaikkakaasun tuomaan säästöön.

Turbiinilaitoksen kannattavuutta arvioitiin myös eri näkökulmasta. Laskettiin, kuinka suuri olisi kate, jos turbiinilaitosta ei olisi ja kaikki sinne nyt ajettava kaatopaikkakaasu saataisiin myytyä teollisuuteen. Tässä tilanteessa kaatopaikkakaasun pumppaus- ja puhdistuskustannukset tulisivat ostosähkön hinnalla, kun omaa sähköntuotantoa ei olisi. Näin saatu kate osoittautui pienemmäksi kuin turbiinilaitoksen tuotto käytettäessä kaatopaikkakaasua omakäyttösähkön kustannuksilla. Turbiinilaitoksella kannattaa siis edelleenkin jatkaa

omaa sähkön- ja lämmöntuotantoa. Kuvassa 15 on verrattuna turbiinilaitoksen tuotto kaa-
topaikkakaasun myyntiin teollisuuteen.



KUVA 15. Turbiinilaitoksen kannattavuusvertailu

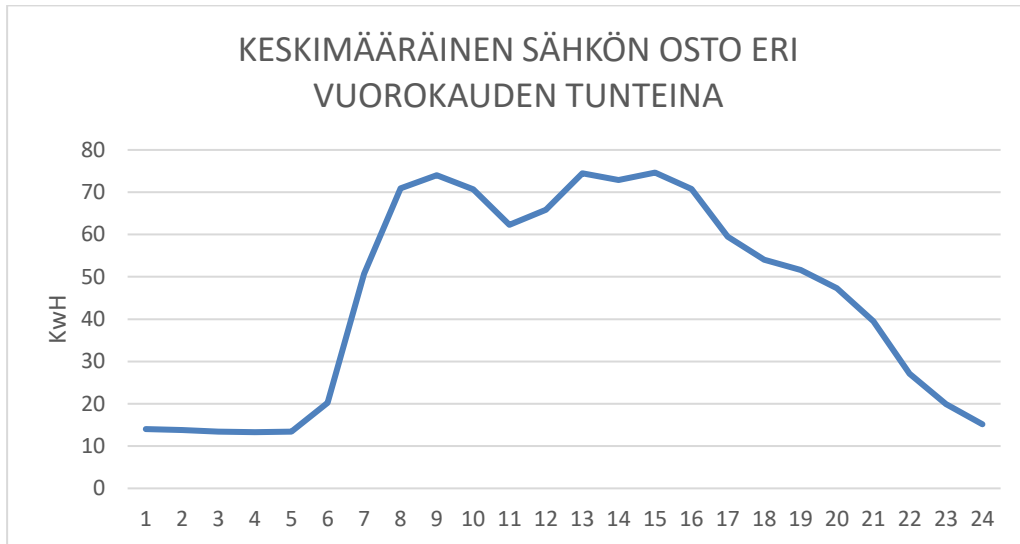
6.5 Lisäsähkön tarve

Koska oma sähköntuotanto osoittautui kannattavaksi, alustavasti suunniteltiin uuden tuotantolaitteiston hankintaa, joka pystyttäisiin liittämään yhteen vanhan laitteiston kanssa. Tässä opinnäytetyössä ei keskitytty laskemaan lisälaitteiston hankinnan kannattavuutta, mutta tutkittiin sähkön ostomäärien perusteella, mitä suuruusluokkaa uusi laitteiston pitäisi olla, jotta se korvaisi suurimman osan ostosähköstä.

Uuden laitteiston tehontarpeen määrittelyssä käytettiin hyväksi v. 2021 tammikuun ostetun sähkön tuntisia tietoja. Tänä aikana yksikään neljästä turbiinista ei ollut huolto-
seisokissa. Lisäksi sähkönkulutus talvikuukausina on jonkin verran suurempaa kuin muulloin.

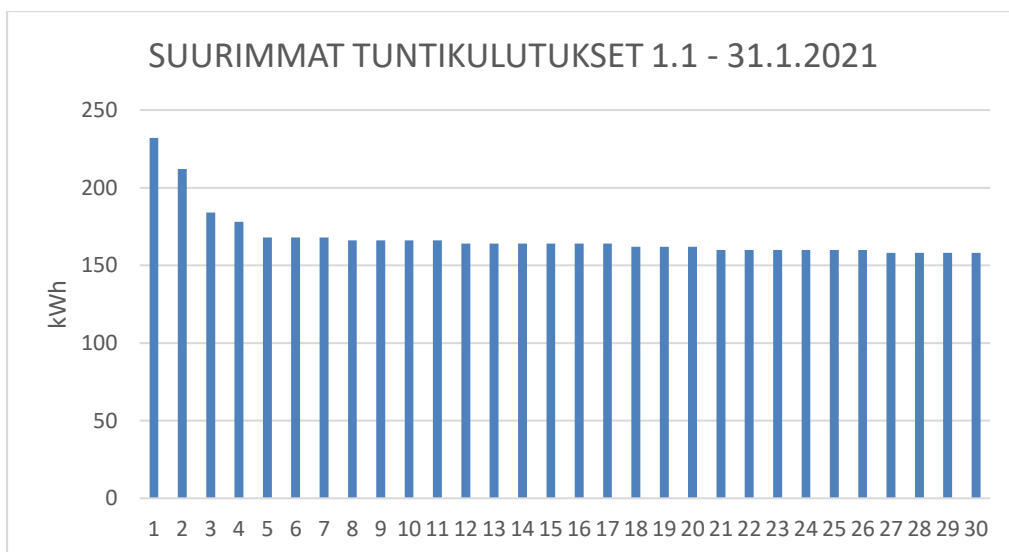
Ensin tarkasteltiin ostetun sähkön määrän jakautumista eri vuorokauden tunneille. Tarkasteltavana ajanjaksona oli 1.1–31.1.2021. Ensin summattiin jokaisen 31 vuorokauden tuntitiedoista saman kellonajan tunnit. Sitten ne jaettiin 31:llä, jotta saatiin keskimäärin ostettu sähkö eri vuorokauden tunteina. Kuvassa 16 on tulokset. Siitä havaitaan ostetun

sähkön määrän kasvavan jyrkästi kello 6:n jälkeen ja lähtevän tasaiseen laskuun myöhään iltapäivällä. Keskimääräiset ostot tuntia kohden olivat enimmillään 70–80 kWh:n välillä.



KUVA 16. Sähkön oston jakautuminen vuorokauden tunneille

Seuraavaksi tutkittiin, mitkä ovat sähkön oston 30 suurinta tuntia. Excelin avulla poimittiin 744:n tuntitiedon joukosta 30 suurinta arvoa tammikuulta 2021. Ne ovat kuvassa 17. Kuvasta huomataan, että muutaman suurimman kulutushuipun jälkeen arvot vakiintuvat 160 kWh:n tietämille.



KUVA 17. Sähkön oston 30 suurinta arvoa

Näiden lisäksi laskettiin Excelin KESKIARVO.JOS-toiminnolla kaikkien muiden tuntien keskiarvo paitsi niiden, jolloin sähkön osto oli 0 kWh. Keskiarvoksi saatiin 79,8 kWh. Tavoitteena olisi pystyä kattamaan suurin osa ostetusta sähköstä omalla tuotannolla. Kuitenkaan ylimääräistäkään sähköä ei kannata tehdä. Myöskään ylitehokkaisiin tuotantolaitteisiin ei kannata turhaan investoida, koska sähkönkulutukselle ei ole odotettavissa suurta lisäystä lähivuosina.

Edellä tehtyjen laskujen perusteella voidaan päätellä, että uuden tuotantolaitteiston pitäisi pystyä tuottamaan vähintään 80 kW:n teho, jos tuotannolla halutaan korvata suurin osa ostosähköstä. Toisaalta yli 160 kW:n tehoa tarvitaan niin vähän, että tehokkaampaa laitetta ei kannata hankkia. Tällä hetkellä laitoksella on käytössä 4 mikroturbiinia. Niiden jokaisen nimellissähköteho 65 kW. Laitoksen yhteisteho on 260 kW.

Vanhojen mikroturbiinien korvaamista tai lisätuotantoa suunniteltaessa pitäisi huomioida useita seikkoja. Esimerkiksi tällä hetkellä turbiineille pumpataan kaatopaikkakaasua käytöstä poistetusta jätepenkasta. Koska sinne ei enää tuoda biohajoavaa jätettä, siitä saatavan kaasun metaanipitoisuus pienenee vähitellen. Tämä lisää pumppauskustannuksia kaasusta saatavaa energiayksikköä kohden. Kaasun energiatiheys pienenee ja sitä joudutaan pumppaamaan enemmän, jotta saadaan sama energiamäärä turbiineille. Toisaalta kun metaanipitoisuus tippuu huomattavan paljon, kaasu voidaan joutua jalostamaan ennen turbiineille ajoa. Tämä toisi merkittävän lisäkustannuksen.

Myös muiden kustannuksien kehityksestä pitäisi tehdä jonkinlainen arvio. Niiden avulla pystyttäisiin laskemaan uusien turbiinien takaisinmaksuaika. Vaikka lisätuotantoa ei hankittaisikaan, vanhan laitteiston uusiminen on joka tapauksessa edessä lähivuosina. 3 vanhin turbiinia on otettu käyttöön jo vuonna 2006 ja 1 uusi turbiini 2014.

7 BIOKAASUN KATTEET

Työssä selvitettiin, miten biokaasua olisi järkevintä käyttää. Biokaasusta saatu taloudellinen hyöty riippuu sen tuotantokustannuksista ja siitä, millä tavalla sitä hyödynnetään. Esim. liikennepolttoaineena myytävän kaasun myyntitulot ovat korkeammat kuin teollisuuden myytävän. Toisaalta sen tuotanto on kalliimpaa, koska liikennepolttoaine joudutaan komprimoimaan eli paineistamaan 300 baarin paineeseen, mikä tuo osaltaan lisäkuluja. Paineistaminen ja puhdistaminen voidaan tehdä itse tai ostaa yhteistyöyritykseltä. Eri vaihtoehtojen kustannuksia myös verrattiin.

Eri tavoin käytetyn biokaasun kate laskettiin vähentämällä myyntituloista kaasun hankintaan ja käsittelyyn menneet kulut. Katteet laskettiin biokaasun energiasisältöä kohden. Se antaa totuudenmukaisen vertailun, koska energiasisältö kaasun massayksikköä kohden vaihtelee. Tämä selittyy kaasun sisältämän metaanin määrän vaihteluilla. Yksi kg teollisuuden myytävää kaasua sisältää vähemmän energiaa kuin liikennepolttoaineeksi myytävä kaasu.

Kaatopaikkakaasun pumppauskustannusten laskennasta kerrottiin jo turbiinilaitoksen kannattavuuslaskennan yhteydessä. Seuraavaksi käsitellään puhdistus- ja paineistuskustannusten laskentaa. Puhdistuskustannusten laskenta aloitettiin laskemalla ensin tilavuusosuudet jalostuslaitokselle menevälle kaatopaikkakaasulle ja mädätyskaasulle. Ne saatiin vuodelta 2020 olevien jalostuslaitokselle menevän kaasun kokonaistilavuuden tuntitiedoista. Tuntitietojen rinnalle Excelliin syötettiin laitokselta lähtevän kaasun metaanipitoisuuden tuntitiedot koko vuoden ajalta.

Laskenta jouduttiin suorittamaan näin johtuen jalostuslaitokselle menevän kaasun mitaustavasta. Käytetty mittari huomioi samalla mittauksella kaiken jalostukseen menevän kaasun. Se ei siis erittele sitä, milloin sinne menee kaatopaikkakaasua ja milloin mädätyskaasua.

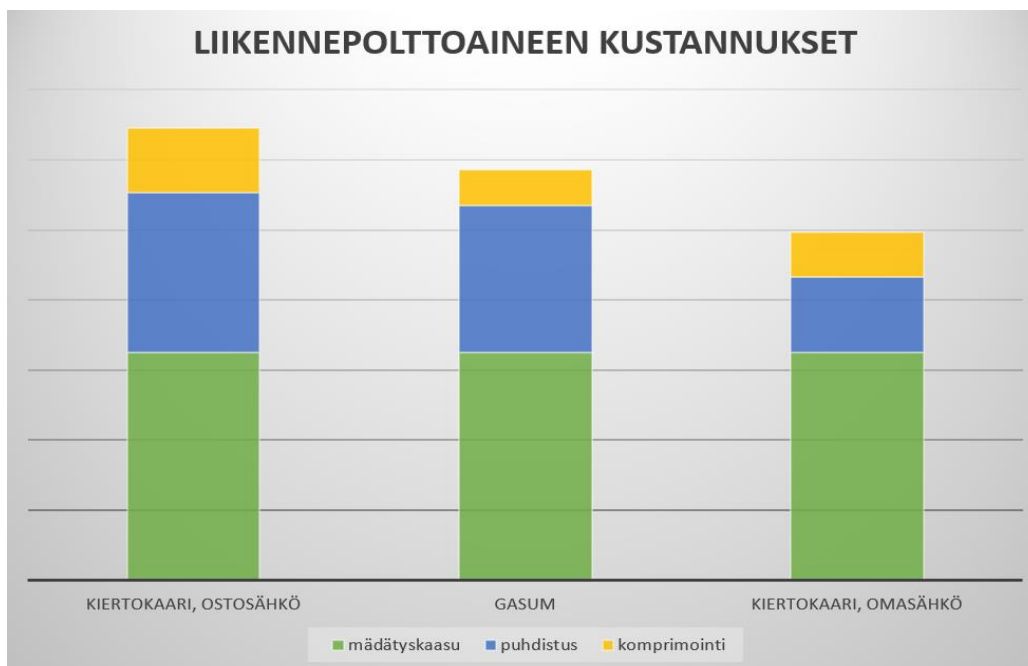
Metaanipitoisuuden avulla saatiin määritettyä, milloin laitokselle on mennyt kaatopaikkakaasua ja milloin mädätyskaasua. Raja-arvona metaanipitoisuudelle käytettiin 90 %. Kun

lähtevän kaasun metaanipitoisuus oli 90 % tai enemmän, voitiin päätellä, että on puhdistettu mädätyskaasua liikennepolttoaineeksi. Excelin SUMMA.JOS-funktiota käyttämällä saatiin sitten laskettua molemmille kaasuille vuoden aikana laitokselle menneet tilavuudet. Näin saatujen tilavuuksien avulla laskettiin tilavuusosuudet prosentteina. Puhdistukseen käytetyn sähkön sekä veden kokonaiskustannukset kuukausitasolla olivat tiedossa. Näiden kustannuksien ja tilavuusosuuden avulla saatiin puhdistuskustannukset molemmille kaasuille vuodessa.

Näistä kertyneet vuosikustannukset jaettiin vuodessa kerätyn kaatopaikka- tai mädätyskaasun tilavuudella ja kerrottiin kaasun energiasisällöllä. Kun tähän lukuun lisättiin vielä puhdistuslaitteiston kunnossapitokustannukset, saatiin lopulliset puhdistuskustannukset kaatopaikkakaasulle ja mädätyskaasulle. Puhdistuskustannukset on salattu työn julkisessa versiossa.

Liikennepolttoaineen paineistuksen kustannukset koostuivat sähkön kulutuksen aiheuttamista käyttökuluista sekä kompressorien huoltokustannuksista. Ensin laskettiin sähkön aiheuttama kustannus kaasun MWh:a kohden. Se saatiin jakamalla moottorin tunnissa kuluttaman sähkön hinta kompressorin paineistaman kaasun energian maksimituotolla. Kompressorin maksimituotto kWh:na tunnin aikana saatiin kertomalla kuutiometreinä saatu tuotto liikennepolttoaineen energiasisällöllä kuutiometriä kohden. Kompressorin sähkönkulutuksen kustannus tunnissa saatiin kertomalla kompressorin moottorin nimellistehon aiheuttama sähkönkulutus sähkön hinnalla.

Kompressorin huoltokustannukset laskettiin ensin tuntia kohden vuosikustannustiedoista. Tämä kustannus jaettiin sitten kompressorin paineistaman kaasun energian tuotantomäärällä tunnin aikana. Kuvassa 18 on eriteltyä liikennepolttoaineen tuotannosta aiheutuvat kustannukset omakäyttö- ja ostosähkön hinnalla sekä tilanteessa, jossa puhdistus ja paineistus ostetaan. Kuvassa on suhteelliset osuudet ilman euromääriä.



KUVA 18. Liikennepolttoaineen kustannukset

7.1 Kaasua teollisuuteen

Teollisuuteen myytävänä kaasuna voidaan käyttää mädätyslaitokselta ostettavaa kaasua sellaisenaan tai kaatopaikkakaasua puhdistettuna. Tässä luvussa ilmausta ”puhdistettu kaasu”, käytetään kaasusta, joka on sekä puhdistettu että myös jalostettu. Tämä siksi, että Kiertokaareissa puhdistus ja jalostus on teknisesti yhdistetty yhdeksi kokonaisuudeksi. Lisäksi Kiertokaaresta saadussa kulutusdatassa nämä on samoin yhdistetty.

Teollisuuteen myytävän mädätyskaasun kate saatiin suoraan vähentämällä myyntituloista kaasun ostohinta. Teollisuuteen myytävän kaatopaikkakaasun kate laskettiin kaavalla 4.

$$Kate = Myyntitulot - ((e + H_2O) + Pumpp.) \quad \text{KAAVA 4}$$

jossa

e = sähkön kustannus omassa puhdistuksessa, €/MWh

H_2O = veden kustannus omassa puhdistuksessa, €/MWh

$Pumpp.$ = raakakaasun pumppaus kustannukset

7.2 Liikennepolttoaineeksi itse puhdistettu ja komprimoitu

Liikennepolttoaineeksi myytävä kaasu joudutaan ostamaan jätekeskuksen alueella toimivalta biojätteen mädätyslaitokselta. Kaatopaikkakaasua ei voida käyttää liikennepolttoaineen valmistukseen, koska se sisältää runsaasti typpeä ja epäpuhtauksia. Mädätetty kaasu puhdistetaan ja komprimoidaan 300 baarin paineeseen, ennen kuin se on kelvollista tankkausasemalle. Puhdistus ja komprimointi voidaan tehdä itse. Vaihtoehtoisesti puhdistus ja komprimointi voidaan ostaa yhteistyöyritykseltä. Seuraavaksi vertailtiin liikennepolttoaineen myynnistä saatua katetta kyseisillä vaihtoehdoilla. Kate liikennepolttoaineelle, joka on itse komprimoitua ja puhdistettua, saadaan kaavalla 5.

$$Kate = Myyntitulot - (Mäd. kaasu + Oma. komp. + e + H_2O) \quad \text{KAAVA 5}$$

jossa

Mäd.kaasu = Mädätyslaitokselta ostetun kaasun hinta

Oma.komp. = Oman komprimoinnin kustannukset

e = sähkön kustannus omassa puhdistuksessa, €/MWh

H₂O = veden kustannus omassa puhdistuksessa, €/MWh

7.3 Liikennepolttoaineeksi yhteistyöyrityksen puhdistama ja komprimoitu

Seuraavaksi tarkasteltiin katetta liikennepolttoaineelle, jonka puhdistus ja komprimointi on ostettu yhteistyöyritykseltä. Sen kate saatiin kaavalla 6.

$$Kate = Myyntitulot - (Mäd. kaasu + Ost. komp. + Ost. puhd.) \quad \text{KAAVA 6}$$

jossa

Ost.komp = ostetun komprimoinnin kustannukset

Ost.puhd. = Ostetun puhdistuksen kustannukset

7.4 Turbiineille syötetyn kaasun katteet

Teollisuuteen ja liikenteeseen menevien kaasujen rinnalle otettiin vielä vertailuun mikro-turbiinilaitokselle menevä kaasu. Myös sille laskettiin kate käytettyä kaasun MWh:a kohden. Rahallisen katteen tilalla käytettiin laitoksella tuotetun sähkön ja lämmön arvosta saatua katetta. Sähkön- ja lämmönarvoina käytettiin samoja lukemia kuin aiemmin turbiinilaitoksen kannattavuutta laskettaessa: 150 €/MWh ja 50 €/MWh.

Oma sähkön- ja lämmöntuotanto aiheuttaa kustannuksia muutenkin kuin turbiinilaitoksella. Näihin kustannuksiin sisältyvät kaasun talteenoton tai oston kustannukset. Lisäksi tulevat komprimoinnin aiheuttamat kustannukset. Kaasu joudutaan komprimoimaan 6 bar:n paineeseen ennen sen syöttämistä turbiineille.

Tällä hetkellä turbiineille ajetaan vain kaatopaikkakaasua, mutta kate lasketaan myös mädätyskaasulle. Ensin lasketaan tuotetun sähkön- ja lämmönarvo laitokselle syötetyn kaasun MWh kohden kaavalla 7. Katteet laskettiin sen jälkeen kaavalla 8.

$$\textit{Tuotetun energian arvo} = S.\textit{ arvo} \times S.\% + L.\textit{ arvo} \times L.\% \quad \textit{KAAVA 7}$$

jossa

$$S.\textit{ arvo} = \textit{laitoksella tuotetun sähkön arvo}$$

$$S.\% = \textit{tuotetun sähkön suhde laitokselle syötetyn kaasun energiasta}$$

$$L.\textit{ arvo} = \textit{laitoksella tuotetun lämmön arvo}$$

$$L.\% = \textit{tuotetun lämmön suhde laitokselle syötetyn kaasun energiasta}$$

$$\textit{Kate} = \textit{Tuotetun energian arvo} - \textit{Talt.} - \textit{Komp.} - \textit{Turb. laitos} \quad \textit{KAAVA 8}$$

jossa

$$\textit{Talt} = \textit{Turbiinilaitoksen aiheuttama osuus talteenottokustannuksista}$$

$$\textit{Komp.} = \textit{Komprimoinnin kustannukset}$$

$$\textit{Turb. asema} = \textit{Turbiinilaitoksen kustannukset}$$

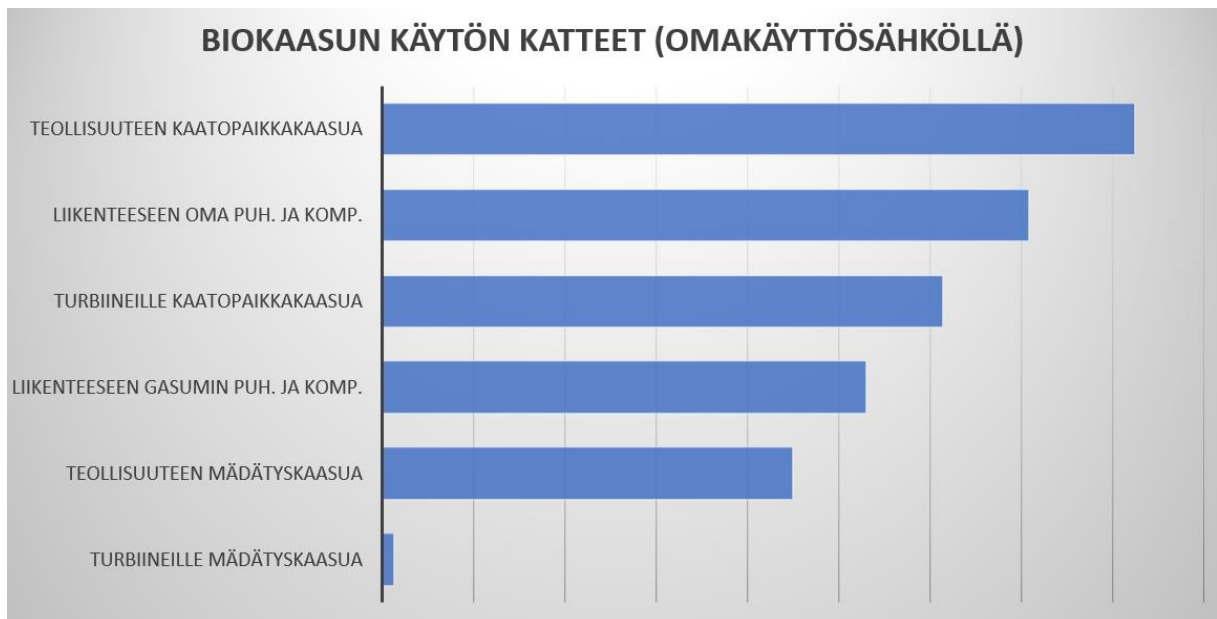
7.5 Katteiden vertailu

Lopuksi vertailtiin biokaasun katteita eri vaihtoehdoissa. Teollisuuteen myytävästä kaatopaikkakaasusta saatiin parempi kate kuin liikenteeseen myytävästä mädätyskaasusta. Tulos oli sama sekä osto- että omakäytösähkön hinnoilla kuluja laskettaessa. Toinen selkeä tulos oli, että mädätyskaasua ei kannata syöttää turbiineille. Kuvassa 19 on katevertailu ostosähkön hinnalla eli tilanteessa, jossa ei olisi lainkaan omaa sähköntuotantoa.



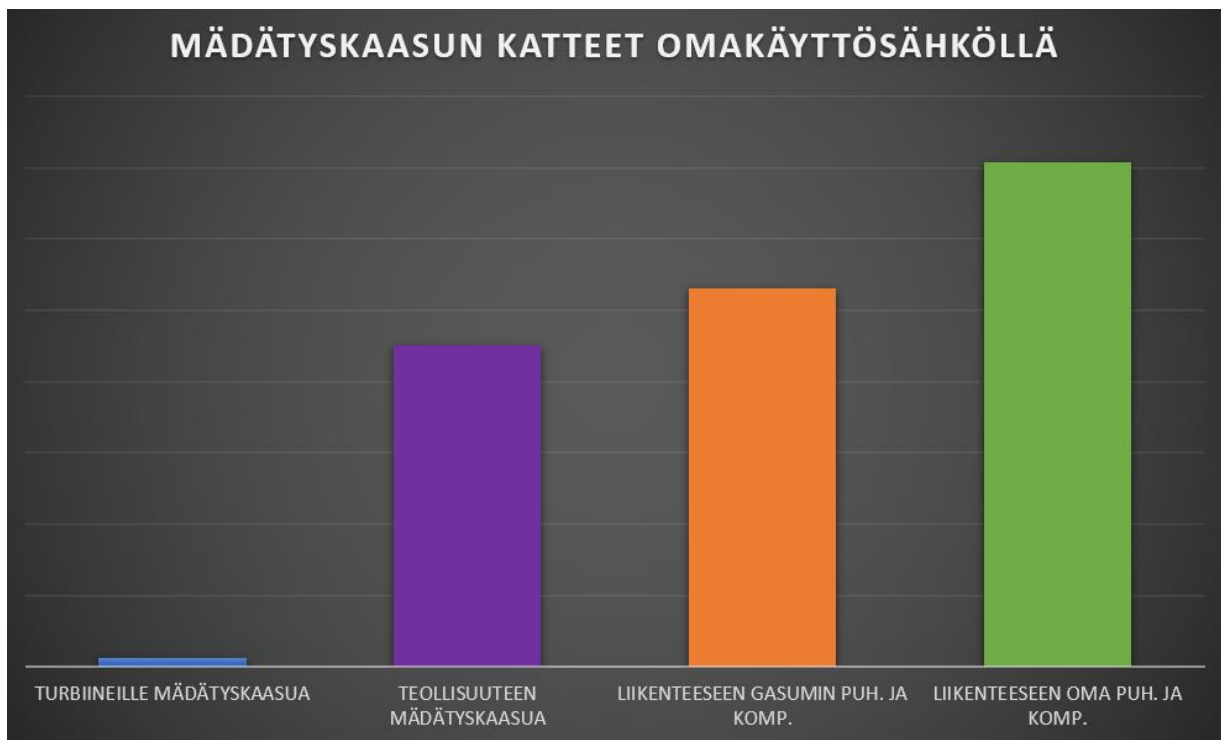
KUVA 19. Biokaasun katteet ostosähköllä

Seuraavaksi tehtiin vertailu nykytilannetta vastaavalla kulujen laskennalla. Kulut laskettiin mikroturbiinilaitoksen tuottaman sähkön hinnalla. Kuvassa 20 on katteet omakäytösähkön hinnalla.



KUVA 20. Biokaasun katteet oman sähköntuotannon hinnalla

Sitten vertailtiin, mihin yhteistyöyritykseltä ostettava mädätyskaasu kannattaa käyttää. Vertailu tehtiin nykyisen tilanteen mukaisesti omakäyttösähkön hinnalla. Kuvassa 21 on mädätyskaasun katteet eri vaihtoehdoilla.



KUVA 21. Mädätyskaasusta saatavat katteet

8 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli saada optimoitua Kiertokaari Oy:n biokaasun käyttö mahdollisimman taloudelliseksi. Tavoitteena oli selvittää, miten biokaasu kannattaa käyttää. Työssä huomioitiin myös sähköverolainsäädännön vaikutus optimointiin sekä biokaasulla tuotetun sähkön kannattavuus verrattuna ostosähkön käyttöön.

Biokaasulle saadaan paras kate myymällä kaatopaikkakaasua teollisuuteen. Jatkossa kannattaa panostaa ennen kaikkea teollisuuteen myytävän kaasun markkinointiin. Kiertokaari Oy:n hyvä sijainti sekä Oulu kasvavana kaupunkina ovat otollinen lähtökohta kaasun käytölle. Hyvän markkinoinnin kautta laajasta asiakaspotentiaalista voidaan saada uusia biokaasusta kiinnostuneita asiakkaita.

Myös liikennepolttoaineen lisääntyvään myyntiin kannattaa varautua. Kaasuautoilu tällä hetkellä on vähäistä, varsinkin henkilöautoissa. Kuitenkin raskaassa liikenteessä kaasun käyttö polttoaineena lisääntyy jatkuvasti. Esim. linja-autoyritykset ovat siirtyneet kaasun käyttöön enenevässä määrin.

Sähkön tuottaminen omassa CHP-laitoksessa osoittautui huomattavasti kannattavamaksi kuin sähkön ostaminen. Tämän perusteella omasta tuotannosta kannattaa pitää kiinni ja suunnitella uuden laitteiston hankintaa lähivuosina vanhenevien mikroturbiinien tilalle. Myös sähköntuotannon lisääminen tulevaisuudessa olisi aihe, josta voisi tehdä jatkotutkimusta. Lisätuotannon tavoitteena voitaisiin pitää nykyisen sähkön oston korvaamista. Myytäväksi sähköä ei kannata tuottaa. Sähköntuotannon lisälaitteiston hankinnalle voisi laskea takaisinmaksuajan.

Työn tuloksia pystytään hyödyntämään sellaisenaan lähivuosina. Kuitenkin pidemmällä tähtäimellä kuvaan tulee mukaan erilaisia muuttuvia tekijöitä, jotka on syytä huomioida. Biokaasun pumppaus- ja puhdistuskustannukset tulevat kasvamaan, koska suljetulta kaatopaikka alueelta pumpattavan kaasun metaanipitoisuus vähenee tulevaisuudessa. Myös muihin kustannuksiin ja hintoihin tulee muutoksia. Nesteytetyn maakaasun lisääntyvä tuleminen markkinoille voi vaikuttaa biokaasun hintakehitykseen ja kysyntään.

LÄHTEET

1. Kiertokaaren vuosikertomus 2019. Kestävän kiertotalouden edistäjä. 2020. Kiertokaari Oy. Saatavissa: [Vuosikertomus 2019 issuu.pdf \(kiertokaari.fi\)](#). Hakupäivä 23.1.2021.
2. Vuosikertomus ja historia. 2021. Kiertokaari Oy. Saatavissa: <https://kiertokaari.fi/kiertokaari-oy/vuosikertomus/>. Hakupäivä 24.1.2021.
3. Oulun Energia mukaan kiertotaloustalkoisiin. 2019. Kiertokaari Oy. Saatavissa: <https://kiertokaari.fi/oulu-energia-mukaan-kiertotaloustalkoisiin/>. Hakupäivä 24.1.2021.
4. Kiertokaari Oy:n tehtävä. 2021. Kiertokaari Oy. Saatavissa: <https://kiertokaari.fi/kiertokaari-oy/tehtava/>. Hakupäivä 22.1.2021.
5. Biokaasu osana kiertotaloutta. 2021. Gasum. Saatavilla: <https://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasu/>. Hakupäivä 17.2.2021.
6. Huttunen, Markku J. – Kuittinen, Ville – Lampinen, Ari 2018. Joensuu: Itä-Suomen yliopisto. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 21. Saatavissa: https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/20186/urn_isbn_978-952-61-2856-6.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Hakupäivä 17.2.2021.
7. Alakangas, Eija – Hurskainen, Markus – Korhonen, Jaana – Laatikainen-Luntama, Jaana 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Tampere: Juvenes Print. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>. Hakupäivä 27.1.2021.
8. Kymäläinen, Maritta – Pakarinen, Outi 2015. Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://issuu.com/hamkuas/docs/hamk_biokaasun_tuotanto_2015_ekirja. Hakupäivä 2.2.2021.

9. Termofiilinen vs. mesofiilinen. 2021. Eneferm. Saatavissa: <http://eneferm.fi/teknologia/termofiilinen/>. Hakupäivä 12.2.2021.
10. Oulun Ruskon biokaasulaitos. 2021. Gasum. Saatavissa: <https://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasulaitokset/oulun-biokaasulaitos/>. Haettu 12.2.2021.
11. Latvala, Markus 2009. Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37998/SY_24_2009.pdf. Hakupäivä 12.2.2021.
12. Miten biokaasua tuotetaan? 2021. Gasum. Saatavissa: <https://www.gasum.com/kaasusta/biokaasu/biokaasu/miten-biokaasua-tuotetaan/>. Hakupäivä 30.1.2021.
13. Kaasun puhdistus. 2021. Aktiivihilli. Saatavissa: [Kaasun puhdistus aktiivihillillä - Aktiivihilli.fi](#). Hakupäivä 31.1.2021.
14. Biopolttoaineiden lämpöarvoja. 2020. Motiva. Saatavissa: [Biopolttoaineiden lämpöarvoja - Motiva](#). Hakupäivä 25.2.2021.
15. Pfister, Klaus 2013. Ehdotus valtioneuvoston asetukseksi kaatopaikoista. Ympäristöministeriö.
16. Biokaasuohjelmaa valmistelevan työryhmän loppuraportti. 2020. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: [Biokaasuohjelmaa valmistelevan työryhmän loppuraportti \(valtioneuvosto.fi\)](#). Hakupäivä 24.2.2021.
17. Haikonen, Turo – Mutikainen, Mirja – Paavola, Heli – Sormunen, Kai – Väisänen, Mirva 2016. Biokaasusta kasvua Biokaasuliiketoiminnan ekosysteemien mahdollisuudet. Sitra. Saatavissa: <https://media.sitra.fi/2017/02/27175150/Selvityksia111-2.pdf>. Hakupäivä 23.2.2021.
18. Kaasutankkausasemien sijainnit. 2021. Gasum. Saatavissa: <https://www.gasum.com/yksityisille/tankkaa-kaasua/tankkausasemat/>. Hakupäivä 23.2.2021.

19. Biokaasun tankkausasemat Suomessa. 2019. EnvorGroup. Saatavissa: <https://envor.fi/biokaasun-tankkausasemat-suomessa/>. Hakupäivä 23.2.2021.
20. Viisi faktaa Tornion LNG-terminaalista. 2019. Gasum. Saatavissa: <https://www.gasum.com/ajassa/energia--teollisuus/2018/viisi-faktaa-tornion-lng-terminaalista/>. Hakupäivä 24.2.2021.
21. Haminan satamasta viedään pian nesteytettyä maakaasua Kajaaniin – uusi terminaali koekäyttöön syksyllä. 2020. Yle. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11436294>. Hakupäivä 24.2.2021.
22. Vaasan satamaan aiotaan rakentaa LNG-terminaali mahdollisesti jo kevään aikana. 2021. Yle. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11731924>. Hakupäivä 24.2.2021.
23. Hagström, Markku – Hakala, Laura – Karttunen, Ville – Larvus, Lauri – Pesola, Aki – Vanhanen Juha – Vehviläinen, Iivo 2014. Sähkön pientuotannon kilpailukyvyyn ja konkonaistaloudellisten hyötyjen analyysi. Gaia Consulting Oy. Saatavissa: http://www.heikaikkitoimii.fi/files/9439/Sahkon_pientuotannon_kilpailukyvyyn_ja_kononaistaloudellisten_hyotyjen_analyysi_Loppuraportti.pdf. Hakupäivä 29.4.2021.
24. Jokinen, Mika – Saastamoinen, Antti 2019. Energiaverotus. Saatavissa: <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotus/>. Hakupäivä 27.1.2021