

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö

**POLTTOKENNOJEN MAHDOLLISUUDET JA
RAJOITTEET JÄTTEISTÄ TUOTETUN BIOKAASUN
HYÖDYNTÄMISESSÄ SÄHKÖKSI JA LÄMMÖKSI**

**Possibilities and limitations of fuel cells in utilizing waste-derived gas to
produce electricity and heat**

Työn tarkastaja: Professori, TkT Mika Horttanainen

Työn ohjaaja: TkT Jouni Havukainen

Lappeenrannassa 20.1.2016

Hanna Österman

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Hanna Österman, op. 0401864

Polttokennojen mahdollisuudet ja rajoitteet jätteistä tuotetun biokaasun hyödyntämisessä sähköksi ja lämmöksi

Kandidaatintyö
2016
29 sivua, 1 taulukko ja 4 kuvaa

Tarkastaja: Professori, TkT Mika Horttanainen
Ohjaaja: TkT Jouni Havukainen

Hakusanat: polttokenno, polttokennovoimala, kaatopaikkakaasu, biokaasu
Keywords: fuel cell, fuel cell plant, landfill gas, biogas

Kandidaatintyön tavoitteena on ollut selvittää, kuinka hyvin biokaasu soveltuu käytettäväksi polttokennon polttoaineena. Tarkoituksena on ollut tutkia, millaisia rajoitteita ja haasteita biokaasun käyttäminen polttokennossa saattaa aiheuttaa. On myös otettu selvää siitä, millaisia hyötyjä biokaasun ja polttokennoteknologian yhdistämisellä voidaan saavuttaa.

Työ on tehty kirjallisuuslähteitä tutkimalla. Tutkimuksesta selviää, että ainakin SOFC- ja PAFC-polttokennotyypeissä biokaasu on mahdollinen polttoaine. Kaatopaikkakaasun käyttö polttokennoissa olisi vähäpäästöistä, ja polttoaine olisi uusiutuvaa sekä kotimaista. Jätteistä tuotetun kaasun käytössä polttoaineena haasteeksi muodostuu polttokennolle haitallisten epäpuhtauksien poistaminen kaasusta.

Työssä käy ilmi, että polttokennojen tekniikka on vielä kehitysvaiheessa. Olemassa olevat kaatopaikkakaasua käyttävät polttokennovoimalat ovat vielä melko pieniä korkeiden kustannusten ja monimutkaisen tekniikan vuoksi. Suuret voimalasovellukset lienevät mahdollisia tulevaisuudessa polttokennotekniikan kehittyessä.

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO	2
1 JOHDANTO	3
2 POLTTOKENNOT	4
2.1 Toimintaperiaate	4
2.2 Polttokennotyytit	6
2.3 Sovellukset	9
3 BIOKAASU	11
3.1 Määtys	12
3.2 Vertailu muihin polttoaineisiin	13
4 YHDISTÄMISMAHDOLLISUUDET	15
4.1 Sovelluksia maailmalla	15
4.2 Sovellukset Suomessa	17
5 HAASTEET	18
5.1 Biokaasun käsittely	18
5.3 Kilpailevat teknologiat	19
6 LASKUESIMERKKI ÄMMÄSSUON KAATOPAIKKAKAASUN POLTOSTA	20
6.1 Ämmässon kaatopaikkakaasuvoimala	20
6.2 Polttokennovoimala	21
6.3 Energiataseet	22
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	24
YHTEENVETO	25
LÄHTEET	27

SYMBOLILUETTELO

η hyötysuhde

P teho [MW], [GW]

E sähköenergia [MWh], [GWh]

Lyhenteet:

AFC alkalipolttokenno (Alkaline fuel cell)

MCFC sulakarbonaattipolttokenno (Molten Carbonate Fuel Cell)

PAFC fosforihappopolttokenno (Phosphoric Acid Fuel Cell)

PEFC polymeerielektrolyyttipolttokenno (Polymer Electrolyte Fuel Cell)

SOFC kiinteäoksidipolttokenno (Solid Oxide Fuel Cell)

1 JOHDANTO

Maapallon ilmasto muuttuu ja lämpenee jatkuvasti. Muutos näkyy muun muassa maapallon keskilämpötilan nousuna, merenpintojen kohoamisena ja eri kasvi- ja eläinlajien häviämisenä. Kasvihuoneilmiötä kiihdyttävät ihmisen toiminnasta aiheutuvat päästöt. Viimeisen parin sadan vuoden aikana kasvihuonekaasujen pitoisuudet maapallon ilmakehässä ovat kasvaneet huomattavasti rajummin kuin ennen teollistumista (Nevanlinna 2008, 47). Varsinkin hiilidioksidin määrä ilmakehässä on noussut teollistumisen myötä. Suurin syy tähän on energian tuotanto fossiilisilla polttoaineilla.

Sen lisäksi että fossiilisten polttoaineiden kuten öljyn, kivihiilen ja maakaasun käyttö lisää kasvihuonekaasupäästöjä, ovat edellä mainitut luonnonvarat uusiutumattomia. On siis sekä kasvihuoneilmion hillinnän vuoksi, että luonnonvarojen säästämisen kannalta järkevää etsiä mahdollisuuksia hyödyntää uusiutuvia energianlähteitä. Yleisimpiä uusiutuvan energian tuotantomuotoja ovat vesi-, tuuli-, aurinko- ja bioenergia. Biopolttoaineiden käytöstä vapautuu ilmakehään hiilidioksidia, mutta kasvit, joista biopolttoaineet on valmistettu, ovat fotosynteesin myötä ottaneet ilmakehästä sitä jo vastaavan määrän. Laskennallisesti biopolttoaineet ovat siis hiilidioksidineutraaleja.

Koska energiamarkkinat muuttuvat vapaammiksi, lisääntyvät pienet ja lähellä kuluttajaa sijaitsevat energiantuotantomuodot (Laurikko 2002, 12). Hajautetussa energiantuotannossa energiaa tuotetaan pienvoimaloissa suurten laitosten sijasta. Hajautetussa energiantuotannossa yksi potentiaalinen tuotantoväline on polttokenno.

Polttokenno on sähkökemiallinen laite, jonka avulla tuotetaan energiaa. Polttokennojen avulla voidaan tuottaa sähköä hyvällä hyötysuhteella ja vähin päästöin. Alun perin niissä on käytetty polttoaineena vetyä. Nykyään on olemassa erilaisia polttokennoja, joita voidaan jaotella kennotyyppeihin polttoaineen tai kennon rakenteen mukaan. Polttokennojen käyttösovelluksia on esimerkiksi autoissa, pienvoimaloissa sekä kannettavissa sähkölaitteissa. Polttokennoteknologia on vieläkin vasta kehittymässä. Kehitystä hidastavat etenkin kennoihin tarvittavat kalliit materiaalit. (Laurikko 2002, 3-5.)

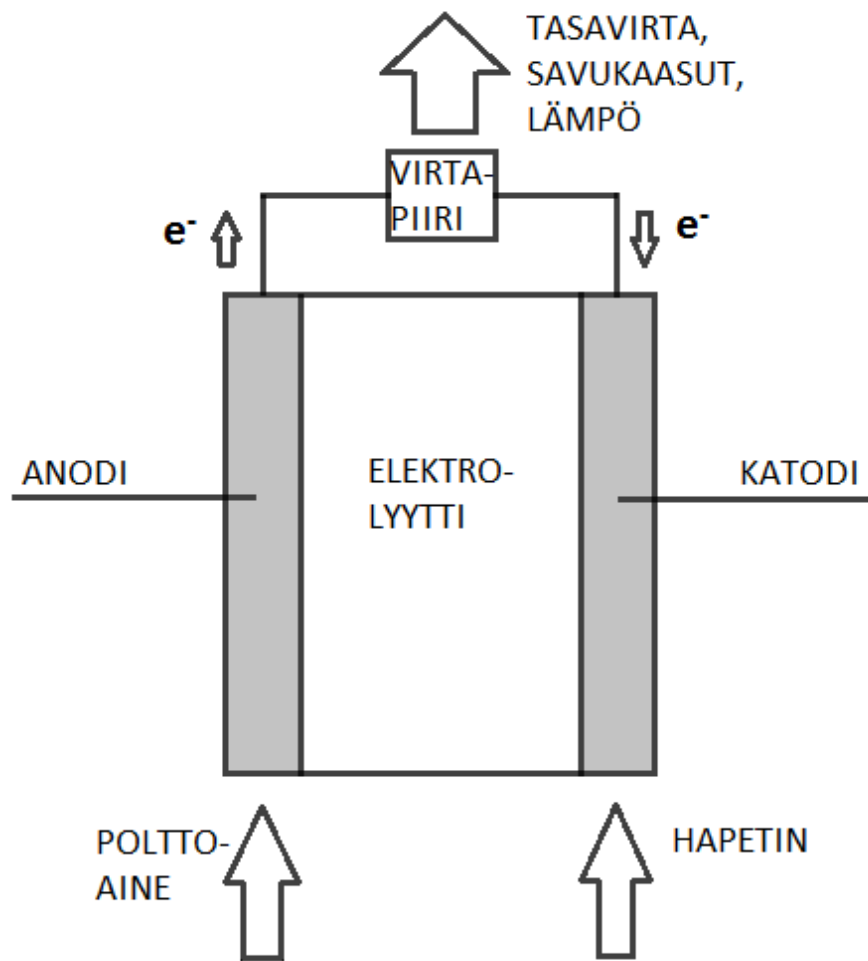
Tässä kandidaatintyössä pohditaan, miten mädätyksen tuotteena saatavaa biokaasua voidaan hyödyntää polttokennon polttoaineena. Selvitetään, miten energiahyötysuhteeseen voitaisiin vaikuttaa biokaasu- ja polttokennoteknologioiden yhdistämällä. Tutkitaan myös yhdistelmän vaikutuksia ympäristöön. Polttokennoteknologia on vasta kehittymässä kaupalliseksi. Työssä otetaan selvää mahdollisista ongelmista käytettäessä polttoaineena biokaasua. Selvitetään, voidaanko biokaasua käyttää polttokennoissa sellaisenaan vai tarvitseeko kaasua käsitellä tai jalostaa.

2 POLTTOKENNOT

Polttokenno on energiaa tuottava sähkökemiallinen laite. Polttokennon toimintaperiaate kehitettiin 1839, mutta vasta 1900-luvun puolivälin jälkeen avaruuslennoilla nähtiin ensimmäisiä polttokennosovelluksia (Halinen 2007, 3-4). Nykyään polttokennoja käytetään useissa eri sovelluksissa, mutta ne eivät silti ole kaupallistuneet laajasti. Polttokennot voidaan jakaa polttokennotyyppeihin esimerkiksi niissä käytettävän elektrolyytin mukaisesti.

2.1 Toimintaperiaate

Polttokenno muuttaa polttoaineen kemiallisen energian sähköenergiaksi. Kennossa on kaksi elektrodiä, anodi ja katodi, sekä niiden välissä elektrolyytti, joka johtaa ioneja (Kuva 1). Anodille syötetään polttoaine ja katodille hapetin. Polttoaine hapettuu anodilla, eli siltä vapautuu elektroneja. Ne kulkeutuvat ulkoisen virtapiirin kautta katodille, jolloin virtapiiriin syntyy sähkövirta. Katodilla hapetin vastaanottaa elektronit eli pelkistyy. Polttoaineen ja hapettimen ionit liikkuvat elektrolyytin läpi, ja voivat reagoida anodilla tai katodilla. (Leppälähti 1989, 7; Reinikainen 1988, 8)



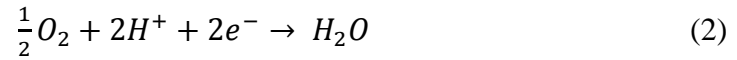
Kuva 1. Polttokennon toimintaperiaate.

Polttokennon kemialliset reaktiot ovat eri kennotyypeillä erilaiset. Ne riippuvat kennoon syötettävistä polttoaineesta ja hapettimesta. Esimerkiksi PAFC-polttokennotyypissä polttoaineena käytetään vetyä ja hapettimena happea. Kyseisen kennotyyppin reaktioyhtälöt ovat seuraavanlaiset. (Laurikko 2002, 10; Halinen 2007,7.)

Anodireaktio:



Katodireaktio:



Kennoreaktio:



Reaktioiden nopeuteen elektrodeilla voidaan vaikuttaa katalyyttien avulla. Polttokennotyypit, jotka toimivat alle 300 °C lämpötiloissa, tarvitsevat jalometallisen katalyytin saavuttaakseen riittävän reaktionopeuden. Yleensä jalometallikatalyyttinä käytetään platinaa, vaikka se on kallista. Yli 300 °C lämpötiloissa toimivat polttokennot eivät tarvitse jalometallikatalyyttiä, vaan niissä voidaan käyttää esimerkiksi nikkelikatalyyttiä. (EG&G Technical Services, Inc 2004, 59, 93.)

2.2 Polttokennotyypit

Polttokennoja voidaan jaotella eri parametrien kuten polttoaineen, hapettimen tai polttoaineen käyttötavan (suora/epäsuora) mukaan. Yleisimmin luokittelu tapahtuu laitteen elektrolyytin mukaan. (Leppälahti 1989, 9.) Seuraavaksi esitellään viisi polttokennotyyppiä, joissa käytetään eri elektrolyyttejä.

AFC- eli alkalipolttokennossa elektrolyytinä käytetään kaliumhydroksidiseosta. Käyttölämpötila riippuu elektrolyytin konsentraatiosta eli väkevyydestä. Elektrolyytin ollessa konsentroitua (85 painoprosenttia), kennon käyttölämpötila on n. 250 °C. Lämpötila on alle 120 °C, kun elektrolyytin konsentraatio on alle 50 painoprosenttia. Katalyytiksi sopivat useat eri metallit, esimerkiksi nikkeli tai hopea. Lisäksi etuna on katodin hyvä kinetiikka. (Leppälahti 1989, 10.) Sen ansiosta katodireaktio tapahtuu nopeasti ja suorituskyky tehostuu (Halinen 2007, 35).

AFC-kennon polttoaine ja hapetin eivät saa sisältää hiilidioksidia elektrolyytissä olevan kaliumhydroksidin takia. Kaliumhydroksidin ja hiilidioksidin reagoiminen muodostaisi karbonaattisuolaa, mikä heikentäisi kennon toimintaa. Polttoaineeksi kelpaa siis vain puhdas vety ja hapettimeksi puhdas happi. Jos hapettimeksi otetaan ilmaa, on sen kuljettava tehokkaan puhdistusjärjestelmän läpi ennen katodille syöttämistä. (Ojapalo 2010, 17-18.)

PAFC- eli fosforihappopolttokennossa on fosforihappoelektrolyytti (Laurikko 2002, 9). Käyttölämpötila vaihtelee 150 °C ja 220 °C välillä. Lämpötilan vuoksi kenno vaatii jalometallikatalyytin, ja yleensä sekä anodilla että katodilla käytetään platinaa. PAFC-kennojen etuna on mahdollisuus kerätä talteen syntyvää jätelämpöä. (Leppälahti 1989, 10). Polttoainevaihtoehtoja on useita, sillä PAFC-kennot sietävät hiilidioksidia. Esimerkiksi maakaasua voidaan käyttää. Vaikka polttoaineiden sisältämä hiilimonoksidi on myrkykä katalyyttinä käytettävälle platinalle, eivät CO:n pitoisuudet usein ole niin suuria, että ne haittaisivat polttokennon toimintaa. (EG&G Technical Services, Inc 2004, 144-145.) Hyötysuhde on 40 - 50 %. Kun otetaan huomioon hyödynnettävä jätelämpö, voidaan sähkön ja lämmön yhteistuotantohyötysuhteeksi saada 85 %. (Ojapalo 2010, 18.)

MCFC- eli sulakarbonaattipolttokennon elektrolyytinä käytetään litium-, kalium- tai natriumkarbonaattiseosta, joka on sidottu LiAlO₂-matriisiin. MCFC toimii korkeassa lämpötilassa (600 -700 °C). (Halinen 2007, 37.) Tämän ansiosta voidaan käyttää katalyytteina nikkeliä (anodilla) ja nikkelioksidia (katodilla), jotka ovat jalometallikatalyytteihin verrattuna huomattavasti edullisempia. MCFC-kennossa muodostuu jätelämpöä, josta voidaan tuottaa lisäsähköä. Lämpötila lisää kuitenkin kennossa tapahtuvaa korroosiota eli kulumista. (Leppälahti 1989, 10-11.)

Polttoaineena voidaan käyttää puhtaan vedyn lisäksi hiilimonoksidia tai hiilivetyjä, kunhan ne reformoidaan kennon sisällä. Reformoinnilla tarkoitetaan polttoaineen käsittelyä niin, että siitä poistetaan kennolle haitallisia yhdisteitä ja epäpuhtauksia. (EG&G Technical Services, Inc. 2004, 30.) MCFC-kennoissa erityisesti rikki (H_2S , COS) on haitallinen aine (Laurikko 2002, 9). Kennossa täytyy kierrättää hiilidioksidia, jota tarvitaan katodireaktiossa. CO_2 saadaan katodille anodilta, jossa sitä muodostuu hapetusreaktiossa. (EG&G Technical Services, Inc 2004, 30-31.) Hyötysuhde vaihtelee välillä 50 – 60 % (Ojapalo 2010, 18).

SOFC- eli kiinteäoksidipolttokennossa käytetään elektrolyytinä zirkoniumoksidia tai muuta kiinteää metallioksidia. SOFC toimii hyvin korkeassa lämpötilassa (600 - 1000 °C). (EG&G Technical Services, Inc 2004, 31.) Tämän vuoksi tapahtuu happi-ionien diffuusio, ja hiilidioksidia ei tarvitse kierrättää katodille. Myös SOFC-kennon jätelämmöstä voidaan tuottaa sähköä. (Leppälahti 1989, 10-11.) Polttoaineena voidaan käyttää vedyn lisäksi hiilimonoksidia ja hiilivetyjä (EG&G Technical Services, Inc 2004, 33). Haasteina ovat hyvin kuumuutta kestävien materiaalien valinta ja korkeat valmistuskustannukset. (Leppälahti 1989, 10-11.) Nykyisin saatavilla olevat SOFC-polttokennot voivat saavuttaa 40 %:n ja 50 %:n hyötysuhteita, ja kehitteillä on malleja, jotka voisivat tuottaa sähköä jopa 70 %:n hyötysuhteella (Laitinen 2014).

PEFC- eli polymeerielektrolyyttipolttokennossa elektrolyytinä on ioninvaihtomembraani eli kalvo, joka on polymeeriä. Vaikka membraani on kallis, kiinteän elektrolyytin etuna on, ettei sitä häviä haihtumalla. Käyttölämpötila on matala (alle 120 °C), joten materiaalien kuluminen ei ole ongelma. (Leppälahti 1989, 10-11.) Se kuitenkin edellyttää veden faasimuutoksien hallintaa, jotta vesi ei haihtuisi nopeammin kuin sitä muodostuu katodireaktiossa (EG&G Technical Services, Inc 2004,28). Lisäksi kallista platinakatalyyttiä tarvitaan paljon, jotta reaktiot tapahtuvat matalassa lämpötilassa. Polttoaineena vain puhdas vety on mahdollinen. (Leppälahti 1989, 10-11.) Hyötysuhde tyypillisesti 25 – 32 % (EG&G Technical Services, Inc 2004, 109).

2.3 Sovellukset

Polttokennoilla voidaan korvata muita sähkön ja lämmön tuotantotapoja. Niitä voidaan hyödyntää sähkön ja lämmön tuotannon lisäksi myös kulkuneuvoissa ja työkoneissa. Polttokennoteknologiaa on sovellettu useissa eri käyttökohteissa, sillä polttokennon rakenne on helposti muunneltavissa, ja sillä on hyvä hyötysuhde. Korkean hyötysuhteen, useiden polttoainevaihtoehtojen ja vähäisten päästöjen myötä polttokenno on myös montaa muuta energian tuotantomenetelmää ympäristöystävällisempi vaihtoehto. Polttokennojen laajaa markkinoitumista ovat hidastaneet muun muassa niiden kalliit materiaalit, mutta esimerkiksi polttokennoautoilla on paljon mahdollisuuksia kehittyä kaupallisiksi (kuva 2). (Laurikko 2002, 7.; Rosenberg 2005)



Kuva 2. Polttokennosovelluksia. (Halinen 2007)

Polttokennosovelluksista näkyvimpiä ovat olleet autot ja muut kulkuneuvot, joissa polttokennoa voidaan käyttää voimalaitteena polttomoottorien sijasta. Polttokennoja on asennettu henkilöautoihin, kaupunkien linja-autoihin sekä sotilaskäytössä oleviin laivoihin ja sukellusaluksiin. Vähäpäästöiset ja hiljaiset polttokennoautot eivät kuitenkaan ole vielä levinneet laajasti markkinoille kennolaitteiden korkean hinnan vuoksi. Ajoneuvoihin parhaiten sopivat PEFC-kennot, sillä niiden toimintalämpötila on matala, eikä laite vie paljoa tilaa tai paina liikaa. Työkonekäyttöön, kuten vetureihin, parhaiten soveltuvat PAFC- ja PEFC-kennot. (Laurikko 2002, 12-13, 19-24.)

Polttokennoa voidaan käyttää autoissa myös apulaitteiden sähkön tuottajana. Autoissa tarvitaan nykyään yhä enemmän sähköä paitsi erilaisiin autossa oleviin toimintoihin, myös siellä käytettävän elektroniikan virtalähteeksi. Polttokenno-APU (Auxiliary power unit) voidaan asentaa autoon omaksi sähkön tuottajaksi, joka ei tarvitse toimiakseen polttomoottorin käyntiä. APU-laitteiksi on kehitelty PEFC- ja SOFC-kennoja. (Laurikko 2002, 23) APU:lla on korkea hyötysuhde (35 -50 %), ja se käyttää hyödykseen auton lämpöenergiaa (Halinen 2007,30). APU-laitteet kulkuneuvoissa ovat kooltaan 1 – 5 kW (EG&G Technical Services, Inc 2004, 109).

Kannettavan elektroniikan tehontarve on lisääntymässä sekä laitteiden, että käyttötottumusten muuttuessa. Pieniin elektroniikkalaitteisiin voidaan polttokennosovelluksilla saada virtaa silloin, kun niihin ei ole mahdollista saada sähköä sähköverkosta. Kennojen asettelu ahtaiden laitteiden sisälle on mahdollista hyvän muovattuuden ansiosta (Laurikko 2002, 13). Polttokenno toimii pienlaitteissakin polttoaineella, jota voidaan tankata laitteeseen. Tankkaus on nopeaa, ja se tarvitsee tehdä vain harvakseltaan. (Halinen 2007, 33.)

Polttokennoja on kokeiltu talokohtaiseen sähkön ja lämmön yhteistuotantoon (CHP). Tämä mahdollistaa CHP-tekniikan myös haja-asutuksissa. PEM-, PAFC- ja SOFC-kennot ovat vaihtoehtoja tällaiseen käyttöön (Laurikko 2002, 12). Polttokennon hyötysuhde on hyvä, ja sen tuottamaa lämpö voidaan käyttää hyödyksi rakennuksen tai käyttöveden lämmityksessä. Myös se osa polttoaineesta, joka ei kulu kennossa, voidaan käyttää lämpöenergian tuotantoon. Etuna on myös asumisviihtyvyyden kannalta laitteen hiljaisuus. (Halinen 2007, 11, 32)

PAFC-, PEFC-, MCFC- ja SOFC-kennoja on kaikkia kokeiltu voimalakäytössä. Polttokennovoimalat voivat lisätä hajautettua energiantuotantoa. Niiden sijoitus on helppoa vähäisten päästöjen ja meluhaittojen ansiosta. Hyötysuhteeltaan polttokennovoimalat pystyvät kilpailemaan muiden hajautetun voimantuotannon laitosten kanssa. (Laurikko 2002, 12) Erityisesti hyötysuhde saadaan nostettua korkeaksi, jos polttokennovoimalaan yhdistetään kaasuturbiini, joka hyödyntää kennoreaktiosta yli jääneen polttoaineen (Halinen 2007, 31).

Maailman suurin polttokennovoimalaitossysteemi sijaitsee Etelä-Koreassa. Se koostuu 21:stä 2,8 MW:n voimalasta, eli yhteensä laitos on kooltaan 59 MW. Polttokennovoimalat ovat FuelCell Energy:n valmistamia DFC3000-voimaloita. Polttoaineena voidaan käyttää maakaasua tai biokaasua. Sähköä polttokennopusuistosta arvioidaan riittävän 45 000:lle korealaiselle kotitaloudelle. Voimala tuottaa myös lämpöä. Sähkökatkoksen aikana läheinen rautatieasema saa sähköä polttokennopusuistolta. (FuelCell Energy, Inc. 2014.)

3 BIOKAASU

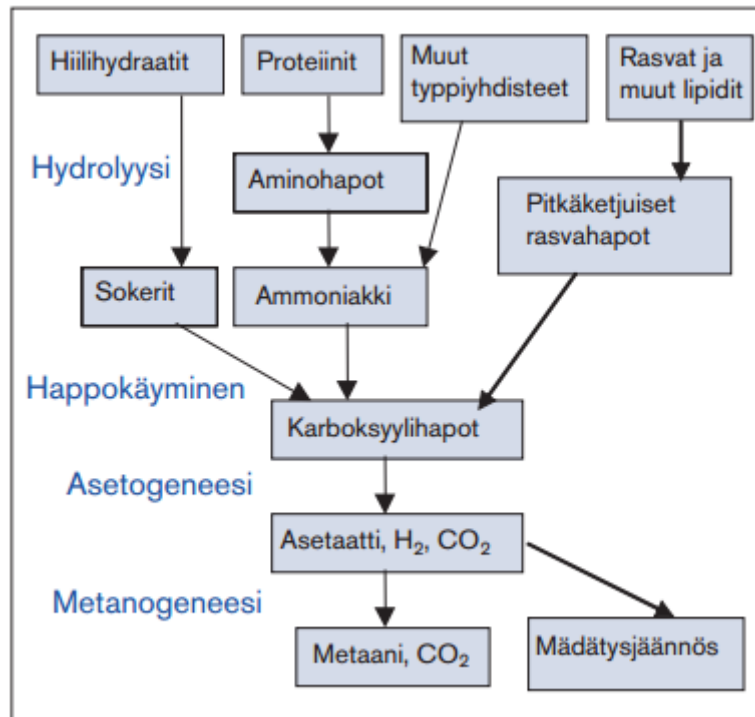
Kun orgaaninen aines hajoaa hapettomassa tilassa, syntyy biokaasua. Sitä saadaan biokaasureaktoreilla tuottamalla tai kaatopaikoilta kaasukeräimien avulla. Biokaasusta metaania (CH₄) on n. 55–65 % ja hiilidioksidia (CO₂) on n. 35–45 %. Lisäksi biokaasu voi sisältää pieniä määriä rikkivetyä (H₂S), ammoniakkia (NH₃), siloksaaneja, happea (O₂) ja typpeä (N₂). Niiden pitoisuudet riippuvat biokaasuprosessin lähtöaineista. (Wellinger et al. 2013, 404.)

Biokaasua käytetään esimerkiksi pienissä CHP-voimaloissa sähkön ja lämmön yhteistuotannossa sekä liikennepolttoaineena. (Lampinen 2004, 7.) Liikennepolttoaineeksi biokaasu käy metaanipitoisemmaksi jalostettuna, jolloin sitä kutsutaan biometaaniksi. Sitä voidaan käyttää rinnakkain maakaasun kanssa. Euroopassa on tarjolla useita eri valmistajien kaasukäyttöisiä ajoneuvoja: henkilö-, paketti-, kuorma- sekä linja-autoja. CHP-voimaloissa biokaasua käytetään joko jalostettuna biometaanina tai sellaisenaan ”raakakaasuna”. (Åbo Akademin Teollisuustalouden Laboratorio & PBI -Research Institute 2008, 11, 14–15, 22)

3.1 Mädätys

Biokaasuprosessi on nelivaiheinen (Kuva 2). Prosessin lähtöaineena on nopeasti hajoavaa biojätettä: hiilihydraatteja, proteiineja, muita typpiyhdisteitä sekä rasvoja ja muita lipidejä. Lähtöaineet pilkkoutuvat ennen mädätystä veden avulla, joka yleensä on osa prosessiin syötettävää materiaalia lähtöaineiden kanssa. Syötemateriaali voi olla esimerkiksi puhdistamon jätevettä tai eläinten lietelantaa. Tätä pilkkomista kutsutaan hydrolyysiksi. (Lampinen 2004, 4.)

Hydrolyysin jälkeen tapahtuu happokäyminen. Siinä hydrolyysin tuotteet hajoavat karboksyylihapoiksi happokäymisen kautta. Hajoamista edistävät myös anaerobiset bakteerit. Happokäymisen jälkeen asetaattia tuottavat bakteerit hajottavat karboksyylihapoja edelleen, mistä muodostuu asetaattia, vetyä sekä hiilidioksidia. Asetogeneesiä seuraa metanogeneesi, jossa metanogeneettiset bakteerit muodostavat metaania asetaatti-ioneista (noin 70 %) ja vedystä (noin 30 %). Lisäksi lopputuotteena on hiilidioksidia ja hajoavan materiaalin sisältäessä sulfaatteja myös rikkivetyä. Biokaasun lisäksi prosessista jää jäljelle kiinteä mädätysjäännös, joka voidaan käyttää hyödyksi lannoitteena esimerkiksi pelloilla. (Lampinen 2004, 4-5.)



Kuva 2. Anaerobisen hajoamisen prosessikaavio. (Lampinen 2004, 4)

3.2 Vertailu muihin polttoaineisiin

Biokaasu on uusiutuva energianlähde eli biokaasuvaroja syntyy maapallolla jatkuvasti lisää. Sähkön- ja lämmöntuotannossa käytetään yleisemmin polttoaineena fossiilisia polttoaineita. Niiden sijasta CHP-voimaloissa voidaan käyttää polttoaineena biokaasua. Myös liikenteessä biokaasulla voidaan biometaaniksi jalostettuna korvata fossiilisia polttoaineita kuten öljyä ja maakaasua. Biometaanin käytöstä syntyy yhtä paljon hiilidioksidi- ja hiukkaspäästöjä kuin maakaasun käytöstä, mutta maakaasu ei ole uusiutuva polttoaine. Uusiutuvuutensa ansiosta biokaasun voidaan laskennallisesti katsoa olevan hiilidioksidineutraali polttoaine. (Åbo Akademin Teollisuustalouden Laboratorio & PBI -Research Institute 2008, 3, 11, 17)

Kun vertaillaan biometaania ja muita liikennepolttoaineita, huomataan, että biometaani aiheuttaa hyvin vähän päästöjä. Hiilidioksidipäästöjä biometaanin käyttö ei lisää teoriassa lainkaan. Otetaan esimerkiksi Volkswagen Passat Variant TSI EcoFuel -henkilöauto. Auton hiilidioksidipäästöt on arvioitu eri polttoaineilla kilometriä kohden yhdistetyllä ajolla. Biokaasulla CO₂:a muodostuu laskennallisesti 0 g/km, metaanilla 124 g/km ja bensiinillä 167 g/km. Hiukkaspäästöjäkään biometaanin käyttö polttoaineena ei käytännössä tuota. Typen oksideja syntyy huomattavasti vähemmän kuin diesel-autolla (Åbo Akademin Teollisuustalouden Laboratorio & PBI -Research Institute 2008, 17). Kun verrataan biokaasua ja biometaania nestemäisiin polttoaineisiin, ovat myrkyllisten yhdisteiden päästöjen määrät todella pieniä. Lisäksi biometaanilla tai maakaasulla käyvät autot tuottavat vähemmän meluhaittaa kuin bensiinillä tai dieselillä käyvät autot, minkä huomaa etenkin suurissa kulkuneuvoissa kuten linja-autoissa. (Jyväskylä Innovation Oy 2015, 2-3.)

Biokaasua voidaan tuottaa kotimaisista raaka-aineista, ja sillä voidaan korvata tuontipolttoaineita (Mäkinen, T. et al. 2005). Sähkön- ja lämmöntuotanto biokaasulla on mahdollista ja kannattavaa pienissäkin voimaloissa, jotka toimivat etäkäytöllä ilman laitoksessa työskentelevää miehitystä. Myös biokaasuntuotantolaitokset voivat olla pienikokoisia, mikä mahdollistaa paikallisten pienten biomassavirtojen hyödyntämisen. Esimerkiksi paikallisesta karjankasvatuksessa syntyvästä lannasta tai vedenpuhdistuksen lietteestä voidaan saada biokaasua, josta tuotetaan lähialueelle sähköä ja lämpöä. Biokaasun tuotto voi siis polttoaineen valmistuksen lisäksi olla jätteenkäsittelyä. (Åbo Akademin Teollisuustalouden Laboratorio & PBI -Research Institute 2008, 23)

4 YHDISTÄMISMAHDOLLISUUDET

Jätteestä tuotetulla kaasulla toimivalla polttokennovoimalalla olisi useita hyötyjä. Perusteluja kaatopaikkakaasun ja polttokennotekniikan yhdistämiselle löytyy jo lainsäädännöstä ja politiikasta. Se olisi yksi keino pitää energiantuotanto päästörajoitusten mukaisena ja käsitellä kaatopaikalla syntyvää kaasua noudattaen jätteidenkäsittelysäännöstelyjä. Myös uusiutuvan energian julkiset tuet sekä sähkömarkkinoiden vapautuminen lisäävät kiinnostusta näiden tekniikoiden yhdistämiseen- (Launonen 2015)

Hyödyt ympäristölle ja terveydelle ovat selkeät, sillä polttokennoista pääsee ilmaan vain pieniä määriä typpioksideja, happamoitumista aiheuttavaa rikkidioksidia ja pienhiukkasia. Hiilidioksidipäästötkin ovat huomattavasti pienemmät kuin perinteisissä polttovoimalaitoksissa. (Boudghene Stambouli & Traversa 2001, 303-304)

4.1 Sovelluksia maailmalla

Lontoon yliopiston kemian tekniikan osasto on vertaillut skenaarioita, joissa biokaasua käytetään polttoaineena kotitalouksissa pelkän lämmön tuotannossa sekä polttokennossa sähkön ja lämmön yhteistuotannossa (CHP). Vertailussa ovat mukana myös CHP-polttokennoskenaariot käyttäen biometaania ja maakaasua. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa on oletettu käytettävän saksalaisyritys Sunfire:n 1,7 kW:n kiinteäoksidipolttokennoa. Kennon maksimitoimintalämpötila on 860 °C, ja se pystyy parhaimmillaan hyödyntämään 85 % polttoaineesta. Kennossa voidaan käyttää polttoaineena sekä biometaania että biokaasua. Sen kokonaishyötysuhde, jossa on otettu huomioon sekä sähkön- että lämmöntuotantohyötysuhteet, on biometaanilla 55 % ja biokaasulla 35 %. Kennossa täytyy olla sisäinen höyryreformointiyksikkö, jossa polttoaineen sisältämä metaani reagoi vesihöyryn kanssa, ja muodostuu vetyä. (Evangelisti 2014, 161, 167)

Tutkimuksessa käy ilmi, että ainakin tutkitulla asuinalueella Lontoossa yhdyskuntajätteen orgaanisesta osuudesta voidaan tuottaa biokaasua vain pieni osuus polttoaineen kokonaistarpeesta. Kaikissa skenaarioissa tuotetulla biopolttoaineella voidaan korvata 1-4 % maakaasun tarpeesta. Tälläkin määrällä voidaan jo vaikuttaa hiilidioksidin ja rikkidioksidin päästöihin ja sitä kautta ilmaston lämpenemiseen ja ympäristön happamoitumiseen. Sekä biokaasun ja polttokennon CHP-järjestelmällä että biometaanin ja polttokennon CHP:llä voidaan tuottaa vuodessa yli 520 kilotonnia vähemmän päästöjä hiilidioksidiekvivalentteina kuin vertailuskenaariossa. Siinä sähkö hankitaan sähköverkosta, lämpö tuotetaan polttamalla kattilassa maakaasua ja orgaaninen jäte päätyy kaatopaikalle. (Evangelisti 2014, 167-170)

Happamoitumispotentialiaali on edellä mainituilla skenaarioilla vertailuskenaariota 190 tonnia rikkidioksidiekvivalenttia pienempi. Maakaasun ja polttokennon CHP-järjestelmälläkin päästään lähes yhtä hyvin lukemiin. Pelkän lämmön tuotolla, polttamalla kattilassa biokaasua, ei ole yhtä suurta eroa vertailuskenaarion päästöihin. Ilmaston lämpenemispotentialiaali pienenee alle 20 kilotonnia hiilidioksidiekvivalenttia, ja rikkidioksidia syntyy jopa vertailuskenaariota enemmän. Tutkimuksessa on selvitetty biokaasun ja biometaanin käyttöä polttokennossa vain ympäristövaikutusten kannalta ja päästy lopputulokseen, ettei raakakaasun ja reformoidun kaasun välillä ole merkittäviä eroja muodostuvien päästöjen osalta. Käytännössä kuitenkin kaasun koostumus saattaa heikentää polttokennon energiahyötysuhdetta, jolloin biometaanin käytöllä voitaisiin tuottaa tehokkaammin sähköä ja lämpöä. (Evangelisti 2014, 167-170)

4.2 Sovellukset Suomessa

Wärtsilä on toimittanut vuoden 2008 asuntomessuille Vaasan Suvilahteen maailman ensimmäisen kaatopaikkakaasulla toimivan polttokennovoimalan. Siinä käytetään kiinteäoksidipolttokenno- eli SOFC-tekniikkaa, ja siinä käytettävä polttoaine saadaan läheiseltä kaatopaikalta. SOFC-tekniikan voimalaan on toimittanut tanskalaisyritys Topsoe Fuel Cell A/S. Voimala tuottaa sähköä noin 20 kW:n teholla ja lämpöä 14–17 kW:n teholla. Se on ollut toiminnassa ainakin yli 1500 tuntia. Etuina polttokennovoimalassa ovat korkea hyötysuhde ja vähäiset päästöt. Rikkioksideja, typpioksideja ja pienhiukkasia on mitattu olevan pakokaasuissa erittäin vähän, ja kaatopaikkakaasun uusiutuvuuden myötä voimala on hiilidioksidineutraali. (Wärtsilä Corporation 2008; Wärtsilä Corporation 2010)

Lisäksi Wärtsilän voimala on hyvä esimerkki toimivasta hajautetun energiantuotannon yksiköstä, jossa kotitalouksista syntyneistä jätteistä muodostuu polttoainetta saman alueen energiantuotantoon. Voimala on kuitenkin melko pieni, eli se ei yksinään voi tuottaa sähköä ja lämpöä kuin hyvin pienen asuinalueen tarpeisiin. Voimalaan tarvitaan tehokas ohjausjärjestelmä, sillä vastaanotettu kaatopaikkakaasu on metaanipitoisuudeltaan hyvin vaihtelevaa. Kaasu sisältää myös rikkiyhdisteitä ja muita polttokennolle myrkyllisiä ainesosia, jotka poistetaan polttoaineesta ennen kaasun syöttämistä polttokennoon. (Wärtsilä Corporation 2008; Wärtsilä Corporation 2010) Vaasan kaatopaikkakaasuvoimala ei enää ole käytössä, vaan se on purettu. (Tahkokorpi 2014, 9).

Suomalaisyritys Convionin SOFC-polttokennoyksikkö voi käyttää polttoaineenaan maakaasua tai biokaasua. Yksikön teho on 58 kW, ja se pystyy yli 53 %:n sähköhyötysuhteeseen. Kokonaishyötysuhde on 80 %, sillä kennosta poistuva lämpö kerätään hyödynnettäväksi. Polttokennoyksikön sisään on rakennettu kaasun reformointisysteemi, jotta biokaasun sisältämät yhdisteet ja epäpuhtaudet eivät olisi haitaksi polttokennossa. (Convion 2015)

Valtion tieteellisellä tutkimuslaitoksella VTT:llä on myös kehitteillä uudenlainen SOFC-polttokennojärjestelmä. Polttoaineena voidaan käyttää maakaasua tai biokaasua. Polttokennosto on teholtaan 10 kW, ja sen sähköhyötysuhde voi olla yli 50 %. Kun kuumasta pakokaasusta otetaan lämpö talteen, on laitteen kokonaishyötysuhde 80 %. Polttokennosto on rakenteeltaan planaari eli levymäinen. Planaaritekniikka voi tulevaisuudessa mahdollistaa suuret SOFC-voimalayksiköt. Sellaisia voitaisiin käyttää esimerkiksi kaatopaikoilla ja jätevedenpuhdistamoilla. VTT:n tutkija Matias Halinen on arvellut uusien 10 kW:n SOFC-kennostojen olevan markkinoilla mahdollisesti noin vuonna 2015. (Huhtiniemi 2011)

5 HAASTEET

Useista hyödyistään huolimatta polttokennojen kehitys on ollut hidasta, eikä polttokennosovelluksia, joissa käytetään polttoaineena biokaasua, ole vielä moniakaan markkinoilla. Biokaasun käyttöä polttoaineena polttokennoissa on nähty kuitenkin jo 1950-1970-luvuilla (Laitinen 2014). Syinä biokaasun ja polttokennotekniikan yhdistämisen hitaalle kehitykselle ovat ainakin biokaasun epäpuhtauksien haitallisuus polttokennoille ja samoihin sovellutuksiin käyvät kilpailevat tekniikat.

5.1 Biokaasun käsittely

Polttokennon epäpuhtauksien sietokyky ja mahdollisesti tarvittava polttoaineen eli biokaasun käsittelymenetelmä riippuu polttokennotyypistä. PEMFC- eli polymeerielektrodipolttokennoja ja SOFC- eli kiinteäoksidipolttokennoja voidaan pitää sopivimpina vaihtoehtoina sähkön ja lämmön yhteistuotantoon pienvoimaloissa, sillä niillä on jo olemassa olevia kaupallistuneita sovelluksia. PEMFC-kennoissa voidaan käyttää vain vetyä polttoaineena, mutta biokaasu ei sellaisenaan sisällä paljoa vetyä. Biokaasun käsittely niin, että se olisi vetyrikasta polttokennoon syötettäessä, vaatisi monimutkaisen käsittelyprosessin ja heikentäisi merkittävästi kokonaistehoa. Voidaan siis todeta, ettei biokaasu ole järkevä ratkaisu PEMFC-polttokennoihin. (Evangelisti 2014, 162.)

SOFC-polttokenno toimii korkeassa lämpötilassa, ja kestää sen ansiosta paremmin vähemmän puhtaita polttoaineita. Biokaasua on silti hyvä käsitellä, jotta jotta polttokennon herkät ja kalliit materiaalit eivät myrkyttyisi tai kuluisi liian nopeasti. Kaasun käsittelemistä polttokennoa varten kutsutaan reformoinniksi. Reformoinnissa raa'asta biokaasusta poistetaan hiilidioksidi tai ainakin suurin osa siitä. Hiilidioksidin poistoon erilaisia menetelmävaihtoehtoja ovat esimerkiksi vesiabsorptio, fysikaalinen absorptio tai kemiallinen absorptio. Lisäksi biokaasusta on poistettava polttokennolle haitalliset rikkiyhdisteet. Rikkivety voidaan poistaa biokaasusta biologisin, fysikaalisin tai kemiallisin menetelmin. (Wellinger et al. 2013, 334, 405-408)

Biokaasun käsittelyssä haasteena on usein myös sen varastointi. Silloin, kun biokaasua tuotetaan biomassasta, joka syntyy kausittain, on ongelmana kostean biomassan säilytys. Biomassa säilytyksessä on riski sen pilalle menemisestä. (Wellinger et al. 2013, 85-85.) Jätteistä tuotettua biokaasua tosin syntyy suhteellisen tasaisesti vuoden ympäri kaatopaikoilla, joten sitä varten ei varmastikaan tarvita suuria varastoja. Sama pätee vedenpuhdistamoilta kerättyyn biokaasuun.

5.3 Kilpailevat teknologiat

Sekä liikennekäytössä että CHP-voimaloissa polttokennotekniikan ja biokaasun käytölle löytyy vaihtoehtoisia tekniikoita, jotka ovat valmistajille tutumpia tai niistä löytyy enemmän jo olemassa olevia sovelluksia. Myös investointien kannalta löytyy varmasti edullisempia ratkaisuja. Hintojen lisäksi polttokennojen kestävyudessa on vielä parantamisen varaa. Syynä tähän on polttokennojen tekninen haastavuus (Rosenberg 2005).

Liikennekäytössä biokaasun käyttöä hidastavat kaasunjakelujärjestelmien rakentaminen ja niiden kustannukset. Laajaa biokaasun liikennekäyttöä vaikeuttaa biokaasun saatavuus. On arvioitu, että liikennekäytön biokaasupotentiaali on suunnilleen kolmasosa kaatopaikkojen, jätevedenpuhdistamojen ja yhdyskuntabiojätteiden biokaasupotentiaalista. Biokaasun rinnalla tulisi liikenteessä käyttää myös maakaasua, jotta varmistettaisiin kaasun riittävyys. (Mäkinen et al. 2005, 10, 14)

6 LASKUESIMERKKI ÄMMÄSSUON KAATOPAIKKAKAASUN POLTOSTA

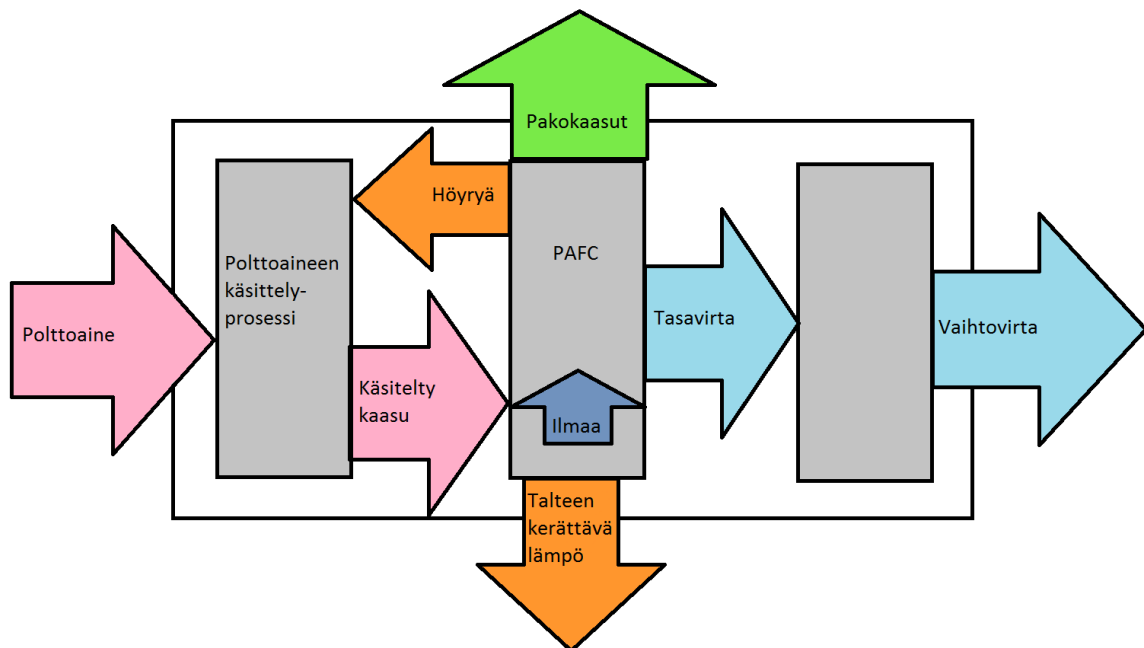
Tässä kappaleessa tutkitaan Ämmäsuon kaatopaikkakaasuvoimalan energiatasetta, ja pohditaan, voitaisiinko nykyinen energiantuotantoprosessi korvata edes osittain polttokennoilla. Lasketaan, voitaisiinko teoriassa polttokennotekniikalla saada kaatopaikkakaasu hyödynnettyä tehokkaammin energiaksi kuin nykyisellä järjestelmällä. Selvitetään siis kuinka paljon sähkö ja lämpöä syntyisi verrattuna nykyiseen järjestelmään.

6.1 Ämmäsuon kaatopaikkakaasuvoimala

Espoon Ämmäsuon jätteenkäsittelykeskuksella kerätään kaasua nykyiseltä ja vanhalta kaatopaikalta neljällä kaasupumppaamalla. Vuonna 2014 kaasua on kerätty yhteensä 47,23 milj. Nm³, ja sen metaanipitoisuus on ollut keskimäärin 48 %. Kerätystä kaasumäärästä on hyödynnetty 41,05 milj. Nm³, ja tämän kaasumäärän energiasisältö on noin 198 GWh. Hyödynnettävästä kaasusta tuotetaan sähköä neljällä kaasumoottorilla. Lisäksi sähköä saadaan ORC-prosessista, joka hyödyntää savukaasuista saatavaa lämpöä. Vuonna 2014 kaasuvoimala on tuottanut yhteensä 88,98 GWh sähköä. Lisäksi kaasumoottoreiden jäähdytysvesistä saadaan kerättyä lämpöä, ja vuonna 2014 lämpöä on saatu 10 087 MWh, ja se on hyödynnetty jätteenkäsittelykeskuksen omiin tarpeisiin. (Kuisma-Granvik & Uuksulainen 2015, 29-30)

6.2 Polttokennovoimala

Suomessa ei vielä käytetä energiantuotannossa biokaasulla toimivia polttokennovoimaloita. Yhdysvaltalaisella ONSI Corporationilla on ollut vuodesta 1992 markkinoilla PC25-polttokennovoimala, jonka polttoainevalikoima on hyvin laaja. Tavallisesti polttoaineena käytetään maakaasua, mutta myös propaani, nestekaasu (LPG), butaani ja mädätyksen tuotteena syntyvä biokaasu ovat mahdollisia. Voimalassa käytetään PAFC-polttokennotekniikkaa. Polttokennostoyksikön lisäksi voimalassa on polttoaineen käsittelyprosessi ja yksikkö, jossa tasavirta muutetaan vaihtovirraksi. Voimalan toimintaperiaate näkyy kuvassa 3. (Stein 2015)



Kuva 3. PC25-polttokennovoimalan toiminta. (Stein 2015)

PC25-voimalaa on käytetty Connecticutissa Grotonin kaatopaikalla sähkön ja lämmön yhteistuotantoon käyttäen polttoaineena kaatopaikalta kerättyä kaasua. Voimalan teho on parhaimmillaan 165 kW, mutta polttoaineen epätasaisen koostumuksen vuoksi voimalaa on ajettu 140 kW:n teholla. PC25:n polttokennojärjestelmän sähköntuotannon hyötysuhteeksi on laskettu 38,1 %, kun polttoaineena on kaatopaikkakaasu. Maakaasulla päästäisiin 40 %:n hyötysuhteeseen. (Spiegel & Preston 2002)

6.3 Energiataseet

Ämmässuon kaasuvoimala on teholtaan paljon suurempi kuin olemassa olevat kaatopaikkakaasua hyödyntävät polttokennovoimalat. Siksi pohditaan vain osan kaasuvoimalasta korvaamista polttokennovoimalalla. Valitaan kaasuvoimalan neljästä kaasumoottorista yksi ja tarkastellaan sen energiavirtoja. Kaasumoottori 3:n kuukausittaiset energiavirrat vuonna 2014 näkyvät taulukossa 1.

Taulukko 1. Kaasumoottori 3:n energiavirrat kuukausittain. (Kuisma-Granvik & Uuksulainen 2015)

Kuukausi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Polttoaineen energiasisältö (GWh)	4,402	4,339	4,156	4,266	5,062	4,512	4,658	4,791	4,371	4,913	4,756	5,379
Tuotettu sähkö (MWh)	1725	1719	1705	1729	2047	1832	1877	1948	1779	2029	1931	2135
Kuukausittainen hyötysuhde (%)	39,19	39,62	41,03	40,53	40,44	40,60	40,30	40,66	40,70	41,30	40,60	39,69

Taulukon kuukausittaisten arvojen avulla voidaan laskea vuosittainen polttoaineen energiasisältö ja vuodessa tuotettu sähkö.

$$\eta_{\text{kaasumoottori}} = \frac{P_{\text{ulos}}}{P_{\text{sisään}}} = \frac{E_{\text{ulos}}}{E_{\text{sisään}}} \quad (4)$$

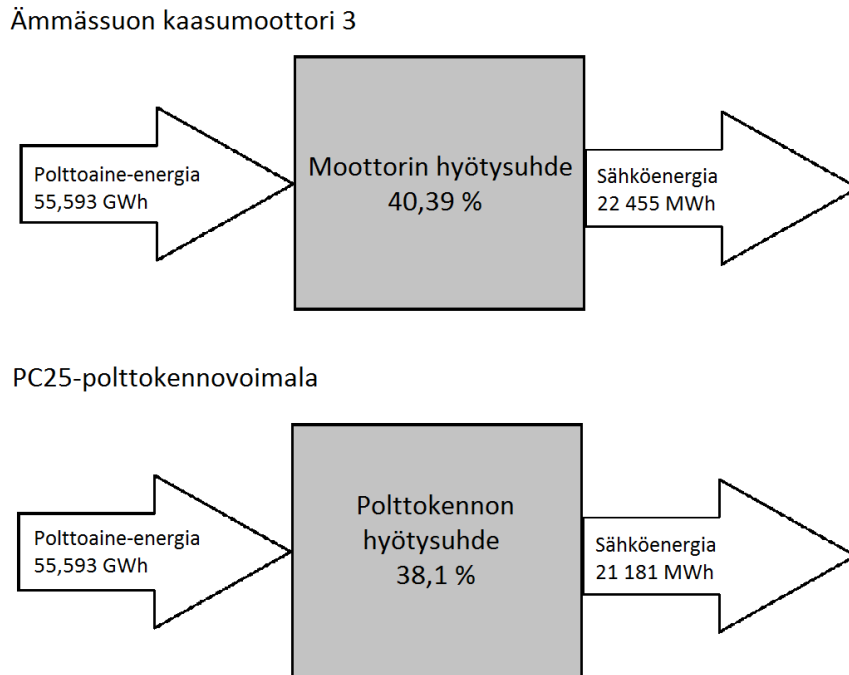
η	hyötysuhde	
P	teho	[MW], [GW]
E	sähköenergia	[MWh], [GWh]

Kun tiedetään moottoriin menevän polttoaineen energiasisältö ja moottorista saatava sähköteho, voidaan laskea sen hyötysuhde kaavaa 4 käyttäen. Taulukkoon 1 on laskettu kaasumoottorin hyötysuhde joka kuukautena.

$$\eta_{\text{kaasumoottori}(tammikuu)} = \frac{1725 \text{ MWh}}{4402 \text{ MWh}} = 39,19 \%$$

Kun lasketaan moottorin kuukausittaisten hyötysuhteiden keskiarvo, saadaan kaasumoottorin hyötysuhteeksi 40,39 %. Polttoainetta on koko vuoden aikana syötetty kaasumoottori 3:en 11,530 milj. m³, ja tämän määrän polttoaine-energia on yhteensä 55,593 GWh. Kaasumoottorin tuottama sähköenergia koko vuoden aikana on ollut 22 455 MWh, ja sillä on ollut 8472 käyntituntia. Kaasumoottorin teho on tuotettu sähköenergia jaettuna käyntituntien määrällä eli 2 650 kW. Kaasumoottorien käytöstä syntyy jäteöljyä ja pääsee ilmaan typpioksideja, hiilimonoksidia ja erilaisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. (Kuisma-Granvik & Uuksulainen 2015)

Päästöhaittojen vähentämiseksi voitaisiin sijoittaa kaasumoottorin tilalle polttokennovoimala. Yhden PC25-voimalan teho on n. 140 kW eli melkein 19 kertaa pienempi kuin kaasuvoimalan moottorilla 3. Lasketaan, paljonko kaatopaikkakaasusta voitaisiin teoriassa tuottaa energiaa, jos PC25:n teho olisi 19-kertainen eli energiaa tuottavia polttokennoja olisi voimalassa enemmän. Polttokennovoimalalla on pienempi hyötysuhde kuin tarkastellulla kaasumoottori 3:lla. Kuvasta 4 nähdään, että kaasumoottorilla saadaan ainakin sähköenergiaa tuotettua tehokkaammin kuin PC25:llä.



Kuva 4. Kaasuvoimalan energiantuotantovaihtoehtojen energiataseet.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Biokaasun ja polttokennotekniikoiden yhdistäminen on mahdollinen ja järkevä ratkaisu. Kaatopaikoilla kaasun keräys vähentää haitallisia metaanipäästöjä ilmakehään, ja polttokennoilla siitä saadaan tuotettua sähköä ja lämpöä vähäisin päästöin. Polttokennotekniikka on kuitenkin kehittynyt niin hitaasti, että suuriin voimaloihin soveltuvat polttokennojärjestelmät ovat vielä kokeiluasteella. Pienemmillä sovelluksilla on saavutettu paljon parempia hyötysuhteita.

Laskuesimerkissä on käytetty PC25-polttokennovoimalaa, jossa polttokennotyyppinä on fosforihappopolttokenno. 140 kW:n voimalassa hyötysuhde on 38,1 %. Suomessa Convionilla on kehitteillä 50 kW:n SOFC-polttokennojärjestelmä, jonka sähköhyötysuhde on 60 % ja kokonaishyötysuhde on 85 % (Törmänen 2015). Siinä voitaisiin polttoaineena käyttää kaatopaikkakaasua, joten nykyistä ORC-prosessia parempiin hyötysuhteisiin sekä sähkön- että lämmöntuotannossa voitaisiin teoriassa päästä yhdistämällä tarpeeksi monta Convionin polttokennoa yhdeksi voimalaksi.

Wärtsilän kokeilu pienestä kaatopaikkakaasuvoimalasta osoitti, että polttokennovoimala voi toimia tehokkaasti kaatopaikkakaasulla. Voimala oli kuitenkin teholtaan hyvin pieni, 20 kW. Sen kokoisten voimaloiden sijoittaminen kaupunkien kaatopaikoille ei auttaisi paljoakaan lähialueella tarvittavan energian tuotannossa. Toistaiseksi kaatopaikkakaasulla tai muulla mädätyksestä syntyvällä biokaasulla toimiva polttokennovoimala kannattaa ottaa käyttöön pienemmän mittakaavan kohteessa. Esimerkiksi pienissä jäteveden puhdistamoissa tai pienillä karjatiloilta voitaisiin mahdollisesti hyödyntää tehokkaasti syntyvä biokaasu. Ajan myötä tekniikoiden kehittyessä, voidaan nähdä suurenkin mittakaavan tehokkaita polttokennolaitoksia, joissa polttoaineena on kaatopaikoilta kerätty kaasu.

YHTEENVETO

Polttokenno on sähkökemiallinen laite, jonka avulla voidaan tuottaa energiaa. Polttokennoilla voidaan saavuttaa erittäin hyviä hyötysuhteita, ja ne sopivat useisiin sovelluksiin. Etenkin liikenteen kulkuneuvoissa sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannossa käytetään polttokennotekniikoita. Polttokennotyypeistä yleisimmin käytössä ovat kiinteäoksidipolttokenno eli SOFC-polttokenno, polymeerielektrolyyttipolttokenno eli PEFC ja kiinteäoksidipolttokenno eli SOFC.

Biokaasua syntyy orgaanisen aineksen anaerobisessa hajoamisessa eli mätänemisessä. Biokaasua voidaan kerätä kaatopaikoilta, jätevedenpuhdistamoilta tai eläintiloilta. Lisäksi biokaasua voidaan tuottaa biokaasureaktoreilla. Biokaasu sisältää enimmäkseen metaania ja hiilidioksidia, ja se on uusiutuva sekä kotimainen polttoaine. Biokaasua jalostetaan polttoaineena biometaaniksi, eli siitä tehdään metaanipitoisempaa. Biometaani käy samoihin sovelluksiin käytettäväksi, mihin maakaasukin, esimerkiksi autoihin ja CHP-voimaloihin.

Biokaasun käyttäminen polttokennossa olisi tehokas ja hyvin vähäpäästöinen tapa tuottaa energiaa. Erityisesti kaatopaikoilla muodostuva kaasu pitäisi kerätä ja ottaa hyötykäyttöön. Polttokennotyypeistä SOFC- ja PAFC-kennot voivat hyödyntää biokaasua polttoaineena. Biokaasun sisältämät rikkiyhdisteet eivät ole hyväksi polttokennomateriaaleille, joten polttokennoyksiköihin tulee rakentaa kaasun käsittelyprosessi poistamaan haitalliset ainesosat. Polttokennosovelluksia, joissa hyödynnetään biokaasua, on markkinoilla vielä vähän, mutta kehitteillä ja kokeilukäytössä niitä näkyy yhä enemmän.

Polttokennojen ja biokaasutekniikoiden yhdistämistä hidastavat biokaasun käsittelyhaasteet ja kilpailevat tekniikat. Polttokennojen hinnat ovat vielä hyvin korkealla, joten niiden sijasta valitaan mieluummin perinteisiä ja edullisempia energiantuotantoratkaisuja. Tämän työn laskuesimerkissä on vertailtu Ämmässuon kaasuvoimalan kaasumoottorin ja vastaavan kokaisen polttokennovoimalan sähköntuotantoa. Kaasumoottori on suuritehoinen, mutta nykyisissä suuritehoisissa polttokennoissa ei ole vielä niin kehittyntä teknologiaa, että ne sekä kestäisivät biokaasua polttoaineena että saavuttaisivat hyviä hyötysuhteita. Polttokennoissa voidaan siis käyttää kaatopaikkakaasua polttoaineena, mutta tekniikan on annettava kehittyä lisää, ennen kuin yhdistelmästä nähdään suuren mittakaavan voimalaitoksia.

LÄHTEET

Boudghene Stambouli, A. & Traversa, E. 2001. Fuel cells, an alternative to standard sources of energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 6/2002. 297–306

Convion. Convion product focus. [Convionin www-sivuilla]. [Viitattu 29.11.2015]. Saatavissa: <http://www.convion.fi/products.html>

EG&G Technical Services, Inc. 2004. *Fuel Cell Handbook*. 7. Painos. Morgantown, West Virginia: U.S. Department of Energy.

FuelCell Energy, Inc. 2014. World's Largest Fuel Cell Park Completed in South Korea. [Verkkoartikkeli]. [Viitattu 20.1.2016]. Saatavissa: http://files.shareholder.com/downloads/FCEL/1382595638x0x726863/24F9D833-8C65-4C38-B1CF-AFAC0FBEA6BC/FCEL_News_2014_2_19_General.pdf

Evangelisti, S., Lettieri, P., Clift, R. & Borello, D. 2014. Distributed generation by energy from waste technology: A life cycle perspective. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 93. 161–172. ISSN 0957-5820.

Halinen, M. 2007. Polttokennot. AS.84-3134 *Energiatekniikan automaatio -kurssin luentokalvot*. VTT.

Huhtiniemi K. 2011. Maa- ja biokaasusta sähköä verkkoon polttokennotekniikalla. *Tekniikka ja talous*. [Verkkolehtiartikkeli]. [Viitattu 29.11.2015]. Saatavissa: <http://lehtiarkisto.talentum.com.ezproxy.cc.lut.fi/lehtiarkisto/search/show?eid=2270309>

Jyväskylä Innovation Oy. Biokaasun ja maakaasun liikennekäyttö - tietopaketti. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 19.11.2015]. Saatavissa: http://www.haminanenergia.fi/files/download/GasHighWay_tietopaketti_www.pdf

Kuisma-Granvik, S. & Uuksulainen, J. 2015. Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksen toiminta vuonna 2014. Helsinki. Helsingin seudun ympäristöpalvelut –kuntayhtymä. 55 s.

Laitinen, J. 2014. Biokaasuteknologian nykytila ja kehitystrendit Suomessa. Biokaasu-lehti, vol. 6. 2/2014. 14-16.

Lampinen, A. 2004. Biokaasun tuotannon ja hyödyntämisen perusteet. Dimensio, 3. 4-9. ISSN 0782-6648.

Launonen, P. 2015. Polttokenno taikoo törkykaasusta vihreää sähköä. Energia, 4/2010. s.30–31.

Laurikko, J. 2002. Polttokennoteknologia ja sen tarjoamat liiketoimintamahdollisuudet. Helsinki: Metalliteollisuuden Keskusliitto (MET). MET-julkaisuja nro 5/2002.

Leppälahti, J. 1989. Sähköntuotanto polttokennovoimalaitoksilla. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Tiedotteita 985.

Mäkinen, T., Sipilä K. & Nylund N. 2005. Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Tiedotteita 2288.

Ojapalo, M. 2010. Tutkimuksellinen lähestymistapa polttokennojen kemian opetukseen. Pro gradu –tutkielma. Helsingin yliopisto: kemian laitos. Kemian opettajankoulutusyksikkö.

Reinikainen, M. 1988. Polttokennojen materiaalit. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). Tiedotteita 851.

Rosenberg, R. 2005. Polttokenno - tulevaisuuden sähkönlähde. Energia, 6-7/2005. 64-67.

Spiegel R. & Preston J. 2002. Technical assessment of fuel cell operation on landfill gas at the Groton, CT, landfill. Energy, vol. 28: 5. 397-409. ISSN: 0360-5442.

Stein D. The Current Experience and Activities with the PC25™ Fuel Cell Power Plant. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 29.11.2015]. Saatavissa: <http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/99/99fuelcell/fc3-1.pdf>

Tahkokorpi, M. 2014. Lähienergiatilastointi Suomessa 2013. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 28.11.2015]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/8695/Lahienenergiatilastointi_Suomessa_2013.pdf

Törmänen, E. 2015. VTT hakee polttokennoille parempaa hyötysuhdetta. Tekniikka ja talous. [Verkkolehtiartikkeli]. [Viitattu 29.11.2015]. Saatavissa: <http://summa.talentum.fi/article/tt/vtt-hakee-polttokennoille-parempaa-hyotysuhdetta/238125>

Wellinger, A., Murphy J. & Baxter D. 2013. The Biogas Handbook: Science, Production and Applications. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited. 507. ISBN 9780857097415.

Wärtsilä Corporation. 2008. Wärtsilä toimittaa maailman ensimmäisen kaatopaikkakaasua hyödyntävän SOFC-polttokennovoimalan Vaasan asuntomessualueelle. [Lehdistötiedote Wärtsilän www-sivuilla]. [Viitattu 28.11.2015]. Saatavissa: <http://www.wartsila.fi/fi/media-fi/uutinen/21-02-2008-wartsila-toimittaa-maailman-ensimmaisen-kaatopaikkakaasua-hyodyntavan-sofc-polttokennovoimalan-vaasan-asuntomessualueelle>

Wärtsilä Corporation. 2010. Wärtsilän ainutlaatuinen polttokennoyksikkö saavuttanut erinomaisia tuloksia. [Lehdistötiedote Wärtsilän www-sivuilla]. [Viitattu 28.11.2015]. Saatavissa: <http://www.wartsila.com/fi/media-fi/uutinen/22-02-2010-wartsilan-ainutlaatuinen-polttokennoyksikko-saavuttanut-erinomaisia-tuloksia>

Åbo Akademin Teollisuustalouden Laboratorio & PBI -Research Institute. 2008. Biokaasun hyödyntämisen käsikirja - jätteestä energiaksi ja polttoaineeksi. 2. Painos. Turku: PBI - Research Institute. 39 s. ISBN 978-952-99076-5-6