

Sami Tervala

BIOKAASUN TUOTANNON KANNATTAVUUS

Biokaasun kuljetus ja varastointi

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiatekniikan koulutus
lokakuu 2022**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika lokakuu 2022	Tekijä/tekijät Sami Tervala
Koulutus Kemiatekniikka		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi BIOKAASUN TUOTANNON KANNATTAVUUS. Biokaasun kuljetus ja varastointi		
Työn ohjaaja Staffan Borg		Sivumäärä 76
Työelämäohjaaja Simo Mäenpää		
<p>Työn tarkoituksena on tutustua biokaasun tuotantoon, jalostukseen ja kannattavuuteen maatilamittakaavassa. Tutkimuksessa mukaan otetaan alustavassa kartoituksessa olevaa mahdollista biokaasulaitosta Pohjois-Pohjanmaalla Sievissä ja tutkitaan kaasun jalostusta ja varastointia sen läheisyyteen. Työn aihe tuli Centrian TKI-puolelta, Simo Mäenpään kautta, joka on mukana BioKaMa-hankkeessa, jossa tutkitaan ja kehitetään biokaasuntuotantoa maatilamittakaavassa. Alustavasti on kehitteillä 3 maatilanyhteiseen käyttöön tuleva biokaasulaitos, jossa mietitään biokaasun jalostuksen kannattavuutta laitoksen lähetyville tai kaasun kuljettamista teollisuusalueelle. Alustavasti on selvitetty tämänhetkisen tulevan biokaasureaktorin tuottama biokaasun tuotannon määrä sekä pienellä että isolla reaktorihankkeella. Tarkoituksena on tarkastella kaasun siirron mahdollisuuksia maantiekuljetuksena paineistettuna ja sen haasteita biokaasun kanssa ja lisäksi mahdollisia hinta-arvioita sen siirrosta.</p> <p>Tutkimuksen lopputuloksena huomattiin, että nykyisellä kuljetusratkaisulla raakakaasun siirtoa paineistettuna maateitse ei voida soveltaa nykyisellä teknologialla raan biokaasun käyttäytymisen paineen ja lämpötilan vaihtelun takia. Lopputuloksena saatiin kuitenkin suuntaa antavaa arviota kaasun siirrosta laitokseen, mikäli kaasun järjestelyihin saadaan oikeanlaista teknologiaa järjestettyä ja perehdyttäisiin tarkemmin raan biokaasun käyttäytymiseen eri tiloissa.</p> <p>Lisäksi tutkittiin lisätutkimuksena biokaasujen eri puhtauspitoisuuksien myyntiarvoa yksittäisten maatilojen näkökulmasta omien laskelmien ja päätelmien avulla. Tämän lisätutkimuksen tarkoituksena on antaa arvioita eri biokaasupitoisuuksien eri myyntiarvoista, joita mahdollisesti voidaan ehkä hyödyntää tulevaisuudessa biokaasun eri pitoisuusarvojen käyttökohteitten myyntiarvoon.</p>		
Asiasanat Biokaasu, hiilidioksidi, jalostus, metaani, metanointi,		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date October 2022	Author Sami Tervala
Degree programme Chemical Engineering		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Name of thesis PROFITABILITY OF BIOGAS PRODUCTION: Transport and storage of biogas.		
Centria supervisor Staffan Borg		Pages 76
Instructor representing commissioning institution or company Simo Mäenpää		
<p>The aim of the thesis work was to get acquainted with the production, processing, and profitability of biogas on a farm scale. The research included a possible biogas plant in Sievi in Northern Ostrobothnia, and gas handling/ storage in its vicinity. The topic of the work came from the Centria-RDI side through Simo Mäenpää, who is involved in the BioKaMa project, which researches and develops biogas production on a farm scale. As a preliminary plan of this project, a biogas plant will be developed for the joint use of 3 farms, where the biogas processing will be profitable in the vicinity of the plant or the transportation of gas to an industrial area will be considered. The amount of biogas produced by the current future biogas reactor for both the small and large reactor projects has been preliminarily determined.</p> <p>The aim is to examine the possibilities and challenges of transporting compressed gas by road to the biogas facility, as well as possible price estimates for its transportation. As a result of the research was found that with the current transport solution, the transport of raw gas under pressure by land cannot be applied with the current technology, due to the pressure and temperature variation of the raw biogas behavior.</p> <p>However, the final research result was an indicative estimate of the transfer of gas to the plant, provided that the right technology is in place for the gas arrangements and that the behavior of raw biogas in different situations is better explored.</p> <p>In addition, the estimates obtained from the research results have further examined the sales prices from the perspective of individual farms at different biogas values, which may allow the utilization value of different biogas values to be exploited.</p>		
Key words Biogas, carbon dioxide, methane, methanation, upgrading		

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TUTKIMUSALUEEN ALUSTAVAA KUVAUSTA	8
2.1 Q Power	9
2.1.1 Power to X	10
2.1.2 Veden elektrolyysi	11
3 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHTA	13
4 BIOKAASU	17
4.1 Biokaasun rakenne ja koostumus	17
4.1.1 Metaani	20
4.1.2 Hiilidioksidi	22
5 BIOKAASUN PROSESSIN KIERTOKULKU	24
5.1 Anaerobinen prosessi	25
5.2 Biokaasun mädätysprosessin toimintaedellytykset	26
5.2.1 Prosessin olosuhteet ja lämpötila	27
5.2.2 pH, ja alkalineetti	28
5.2.3 Inhiboivat tekijät ja aineet	29
5.3 Kuiva- ja märkämädätys	30
5.4 Biokaasun jalostus ja hiilidioksidin hyödyntäminen	31
5.4.1 Vesipesuri	32
5.4.2 Kalvo eli membraanijalostus	33
5.5 Metanointi	34
6 MAATILALUOKAN BIOKAASULAITOKSET	35
6.1 Maatilaluokan tukiratkaisut biokaasulaitokselle	35
6.2 Biokaasulaitoksen yleiset luvat	37
6.3 Maatilaluokan biokaasulaitos	38
6.4 Raaka-aineet	39
6.5 Metaanintuottopotentialit maatilalla	40
6.5.1 Lanta	40
6.5.2 Kasvibiomassat	41
6.6 Biokaasun kuljetus ja varastointi	42
7 BIOKAASUN KOOSTUMUS, KÄSITTELY JA KÄYTTÖTURVALLISUUS	45
7.1 Biokaasun käsittelyn, varastointi ja jakelun lainsäädännöt	45
7.2 Räjähdyksenvaaralliset tilojen ATEX-asetukset	47
8 HANKEEN TUOTANNON VAATIMAN EDELLYTYKSET	51
8.1 Tutkimuksen hahmotus ja menettely	52
8.2 Metaanintuottopotentialien selvitys	53
9 BIOKAASUN KULJETUS LAITOKSELLE	57

10 ERI KAASUARVOJEN MYYNTIARVOJEN KANNATTAVUUS	65
11 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	69
LÄHTEET	73
LIITTEET	

KUVIOT

KUVIO 1. Power-to-Gas teknologia.....	10
KUVIO 2. Veden elektrolyysi	11
KUVIO 3. Alustava prosessikuvaus laitoksen ainevirroista	14
KUVIO 4. Q Powerin tarjoama ratkaisu laitoksen viereen.....	15
KUVIO 5. Metaanin muutos paineen ja lämpötilan funktiona	21
KUVIO 6. Hiilidioksidin muutos paineen ja lämpötilan funktiona	23
KUVIO 7. Biokaasun kiertokulku	24
KUVIO 8. Anaerobinen hajoaminen	25
KUVIO 9. Metanogeneenien kasvunopeus lämpötilan muutoksena	27
KUVIO 10. Biokaasun vesipesurijärjestelmä	33
KUVIO 11. Kalvojalostuksen rakenne	34
KUVIO 12. Maatilaluokan laitoksen aineiden kiertokulku	39
KUVIO 13. Biomassan materiaalien osuudet	40
KUVIO 14. Biokaasun kuljetusmuodot	43
KUVIO 15. Ex-laitteiston merkintä	50
KUVIO 16. Laitoksen suuntaa antava rakennekuvaus	52
KUVIO 17. Sievin hakualue Biomassa-atlas-ohjelmalla.....	55
KUVIO 18. Biokaasun paineistuksen tarvittava energiamäärä	61

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Sievissä toimivia yrityksiä	8
TAULUKKO 2. Maatilojen metaanituottopotentiaaliarvot	13
TAULUKKO 3. Raa'an biokaasun epäpuhtaudet ja niiden haittavaikutukset	18
TAULUKKO 4. Raa'an ja jalostetun biokaasun koostumuksia	19
TAULUKKO 5. Metaanin ainearvot	21
TAULUKKO 6. Hiilidioksidin ainearvot	22
TAULUKKO 7. Biokaasun jalostuksen eri teknologiat ja niiden eroavaisuudet	31
TAULUKKO 8. Maatilaluokan yleisiä metaanituottopotentiaaleja	42
TAULUKKO 9. Biokaasun varastoinnin ilmoitus- ja luparajat raa'alle ja jalostetulle	46
TAULUKKO 10. Tilaluokitusvyöhykkeet	48
TAULUKKO 11. Metaanin tuotannon määrä.....	51
TAULUKKO 12. Metaanituottopotentiaalien lähtöarvot	53
TAULUKKO 13. Nykyisen tuotannon määrä 61 maatilan luokassa	54
TAULUKKO 14. Lantojen ja kasvibiomassojen metaanituottopotentiaalien määrä 30 km säteellä Sievistä.....	56
TAULUKKO 15. Metaanituottopotentiaalimäärät Sievin läheisyydestä	56
TAULUKKO 16. Kuljetettavan kaasun lähtöarvot.....	58
TAULUKKO 17. Konttien siirtelyarvot ja kuljetusmäärät.....	59
TAULUKKO 18. Biokaasun kuljetuskustannukset	60
TAULUKKO 19. Paineistetun kaasun siirtämisen hintojen lähtötietoja	63

TAULUKKO 20. Paineistetun biokaasun maantiekustannukset	63
TAULUKKO 21. Lähtöarvot ja jalostuksen kustannukset	67
TAULUKKO 22. Biokaasun eri myyntiarvoja	68

1 JOHDANTO

Uusiutuvia ja ympäristöystävällisiä energiamuotoja etsitään jatkuvasti. Uusiutuvilla energiamuodoilla pyritään vähentämään sekä hiilijalanjälkeä että fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja niiden aiheuttamia päästöjä. Näiden toimien avulla pyritään kohti hiilineutraalisempaa tuotantoa, jonka ajatuksena on se, että pitäisi sitoa enemmän kuin päästöt ovat. Tämän päivän suosituin energiyöystävällinen energiamuoto on energiatehokkuudeltaan ja ympäristöystävälliseltä tuotantomuodoltaan biokaasu. Biokaasun tuotanto on prosessiltaan sekä ekologinen että hiilineutraali ja prosessin jokaiset virrat voidaan hyödyntää tehokkaasti. Opinnäytetyön aihe kohdistuu BioKaMa-hankepiirin alustavaan kartoitukseen Sievin alueella. Tutkimuksen kartoituksessa tehdään alustavaa tutkimusta 3 maatilayhteiseen käyttöön toimivaa biokaasulaitosta Sieviin ja mietitään sen läheisyyteen biokaasun jalostuksen kannattavuutta. Alustavien laskelmien mukaan on saatu arvioita tämänhetkisen saatavissa olevan syötteen määrästä ja sen tuottaman biokaasun määrästä. Näitten kartoituksen avulla pyritään tutkimaan, onko biokaasun jalostaminen kannattavaa biokaasulaitoksen läheisyydessä vai kannattaako laitoksen kaasun jalostus siirtää Scanfilin teollisuusalueelle, jossa voidaan hyödyntää jalostuksen sivuvirtoja tehokkaasti. Lisäksi tutkimuksessa tutkitaan mahdollisesti muilta tiloilta tuotettavien kaasujen määrän sovittamista laitoksen mahdollisen jalostusyksikköön, mutta kysymykseen tulevat sitten kaasun siirto raakana, siirtotapa ja vaadittava kaasun laatu siirtoon joko maateitse tai putkistoa pitkin

2 TUTKIMUSALUEEN ALUSTAVAA KUVAUSTA

Sievi on Pohjois-Pohjanmaalla sijaitseva maaseutuläheinen paikkakunta, joka on väkiluvultaan noin 5 000 asukasta. Sievi on pinta-alaltaan 800,56 km² ja se on maisemaltaan maaseutu- ja luontoläheinen. Kunta harjoittaa sekä matkailutarjontaa lomataroituksiin maaseutuidylliin että muuta kulttuuri- ja harrastetoimintaa. Paikkakunnalla harjoitetaan sekä normaalia maataloutta että yritystoimintaa ja teollisuutta ja kaikki palvelut ovat lähellä toisiaan. (Sievin kunta 2022.) Sievissä toimivat tunnetut yritykset, kuten Sievin Jalkine, joka valmistaa kuuluisia työkenkiä eri tarkoituksiin. Muita yrityksiä on näkyvillä taulukossa 1.

Taulukko 1. Sievissä toimivia yrityksiä. (Mukaiillen Finder 2022.)

Yritykset	Toimitapa	Liikevaihto (€)
Sievin Marketing Oy	Rahoitusalan holdingyhtiöiden toiminta	100 miljoona
Sievin Jalkin Oy	Jalkineitten valmistus	74 miljoonaa
Scanfil EMS Oy	Elektroniikkateollisuuden valmistuspalvelut	69 miljoonaa
Ojala-yhtymä Oy	Metallituotteiden valmistus	24 miljoonaa
Teho-Filter Oy	Suodattimien valmistaja	8 miljoonaa
Celermec Oy	Ohutlevytyö	6 miljoonaa
Koneyhtymä Käsälä Oy	Metsäpalvelut	4 miljoonaa
Tojavec Oy	Pakkaukset.	4 miljoonaa

Sievissä teollisuus kasvanut vuosi vuodelta, minkä johdosta kunta on avautunut nykyajan teollisuuden hankkeille ja sen tuomille mahdollisuuksille. Uusiutuvan ja hiilineutraalisen polttoaineiden johdosta, monet maatalousyritykset ovat nähneet biokaasun tuotannon mahdollisuudet sekä oman energian tarpeena, että teollisuudessa/liikennekäytössä. Biokaasu on uusiutuvana energiana kysytyin vaihtoehto fossiilisine polttoaineen kannalta, että mahdollisesti tuotettavuudeltaan energiariikas. Sievissä tehdään alustavaa kartoitusta ja suunnitelmaa 3 maatilaa yhteiseen käyttöön tuleva biokaasulaitosta, jossa hyödynnetään maatilojen syntyviä lantaa raaka-aineena, josta sivutuotteena saadaan tuotettua sekä uusiutuvaa energiaa eli biokaasua, että peltoviljelyyn soveltuvaa lietettä.

Alustavien laskelmien pohjalta 3 maatalan nykyisen syötteen pohjalta BioKaMa-ryhmä on tehnyt alustavia kartoittavia laskelmia kaasun tuotosta tuottamisesta. Lisäksi tämän pohjalta Q Power on tehnyt myös alustavia kartoittavia laskelmia kaasun tarvittavasta määrästä, mahdollisen puhdistuksesta/jalostuksesta saadun hiilidioksidin yhdistämistä Q Powerin teknologiaan, joka siten hyödyntää sivuvirrasta tulleen hiilidioksidin metaanin tuotantoon.

Tällä hetkellä kysymyksenä on, sijoitetaanko jalostus biokaasulaitoksen läheisyyteen vai tehdasalueelle Scanfil Oy:lle, jossa sivuvirroille olisi hyötyä. Onko mautilojen näkökohdalta kannattavaa saada jalostus laitoksen läheisyyteen ja voida hyödyntää niiden sivuvirtojen hyödyntämistä tai siirtämistä muuten? Onko suoran kaasun siirto kannattavaa vaiko jalostetun kaasun siirto, entä sivuvirtojen hyötykäyttö?

2.1 Q Power

Q Power on suomalainen energia-alan startup-yhtiö, joka tarjoaa yrityksille uusia innovatiivisia teknologioita ja asiantuntijapalveluita hiilidioksidia kierrättävien, hiilineutraalien ja hiilinegatiivisten uusiutuvien polttoaineiden tuotantoon ja uusiutuvan energian varastointiin ympäristöystävällisellä ja uusiutuvalla tavalla. Q Powerin toiminta perustuu jatkuvaan kehitys- ja tutkimustyöhön, jonka päätarkoitus on hiilineutraali toiminta sen kehittämällä teknologialla, jota voidaan hyödyntää tehtaitten sivuvirroista tuottaen synteettisiä polttoaineita. (Q Power 2022a.)

Yritys sai alkunsa vuonna 2007, kun Professori Erkki Aura ryhtyi tutkimaan biometaanin valmistusta suolla olevista mikrobeista. Tutkimuksen edetessä mukaan tulivat Anni Alitalo ja Marko Niskanen, jotka jatkoivat menetelmän tutkimusta, kunnes vuonna 2016 nykyiset pääomistajat Ilkka Herlin ja Saara Kankaanrinta hankkivat kehitetyn teknologian omistukseensa. Yrityksen toimintaan kuuluu synteettisen metaanin tuottaminen uusiutuvista lähteistä, hyödyntäen teollisuuden sivuvirtoja hiilidioksidin lähteenä metaanin valmistamiseen, jolla taataan sekä energiatehokas, että hiilineutraali ratkaisu. (Q Power 2022a.)

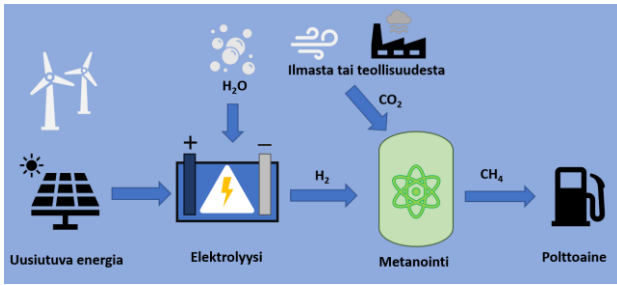
Q Power-teknologia on kehittänyt tehokkaan biokatalyyttiin perustuvan metanointiyksikön, jossa mikrobit tuottavat synteettistä metaania vedystä ja hiilidioksidista. Q Powerin oma patentoitu bioreaktori tuottaa synteettistä metaania suolta alun perin eristetyistä mikrobeista. Metaanin tuotanto tapahtuu Sabatier-reaktion avulla, jossa hiilidioksidi ja vety reagoivat tuottaen reaktiotuotteena saadaan puhdasta

metaania ja vettä. Q Powerin metanointiteknologian hyötysuhde on jopa 82 %. Prosessin kulku on sekä energia- että kustannustehokas, sillä reaktori ei vaadi mekaanisia apukeinoja, kuten sekoitusta, paineistusta tai nesteiden pumppaamista. Prosessi toteutuu mikrobien toimiessa katalyyttinä. Reaktio tuottaa lämpöä, ja mikrobiologinen prosessi toimii n. 50–70 asteen lämpötilassa, eikä prosessi vaadi lämmitystä. Näin ollen, Q Powerin teknologian energiankulutus on muihin katalyysiteknologioihin verrattuna huomattavasti alhaisempi, mikä siten tarkoittaa, että teknologialla tuotettu metaanimäärä on kilpailijoita huomattavasti korkeampi samoilla syöttöpanoksilla. (Q Power 2022a.)

2.1.1 Power to X

Q Power hyödyntää Power to X-teknologiaa, jolla pyritään hyödyntämään uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä, hyödyntämällä ja varastoimalla se erilaisiksi synteettisiksi yhdisteiksi ja aineiksi, joita voidaan käyttää sekä teollisuudessa ja normaalitaloudessa, että liikennepolttoaineena. Uusiutuvana energiana käytetään ympäristöstä saatua tuuli- tai aurinkosähköä, joka tuottaa energiaa päästöttömästi. Tämä sähköenergia yhdistetään joko hiilidioksidin talteenottoon tai vedyn tuottamiseen veden elektrolyysin avulla, jotka siten muutetaan haluttuun ja varastoivaan energiamuotoon. Tuotettua energiaa voidaan hyödyntää monissa eri tarpeissa, kuten polttoaineena, sähköinä ja lämpönä (LUT-University, 2018). Teknologian avulla pyritään ratkaisemaan teollisuuden ja liikenteen hiilidioksidiongelmat, ja uusiutuvan energian avulla pyritään sekä valmistamaan, että hyödyntämään sivuvirtoja päästöttömään energiamuotoon. Tätä päästöttöntä energiaa voidaan hyödyntää tehokkaasti ja näin päästä eroon fossiilisesta polttoaineesta.

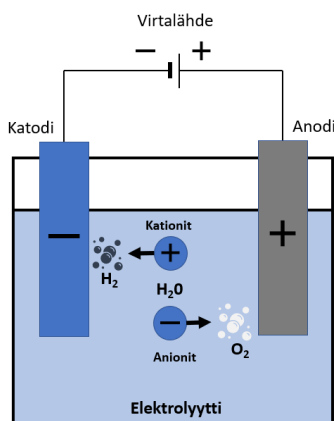
Yleisesti uusiutuvaa sähköä voidaan hyödyntää tehokkaasti veden elektrolyysissä, josta saadaan tuotettua vetyä ja happea. Power-to-Gas-prosessin uusiutuvan energiantuotannon kokonaisuus on näkyvissä kuviossa 1. Kuvioista nähdään kokonaisprosessi, jossa hiilidioksidin talteenoton kautta saatava hiilidioksidivirta sekä uusiutuvalla energialla tuotetulla sähköllä veden elektrolyysiprosessissa syntyvä vety saatetaan metanointiprosessiin, missä vedyn ja hiilidioksidin reagoiessa toisiinsa metanointiprosessissa tuotetaan synteettistä metaania. Power-to-Gas-menetelmällä pyritään hyödyntämään erilaisia sivuvirtoja ja niiden yhteen soveltamista. Näiden avulla saadaan sekä kestävä kiertokulkuaineille, että hiilineutraali lopputuote, jossa energia ei mene hukkaan ja saadaan tuotettua hiilipäästöttöntä polttoainetta erilaisiin tarkoituksiin.



Kuvio 1. Power-to-Gas teknologia. (Mukaiillen LUT-Universityn 2018 tekstin pohjalta.)

2.1.2 Veden elektrolyysi

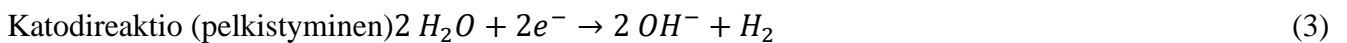
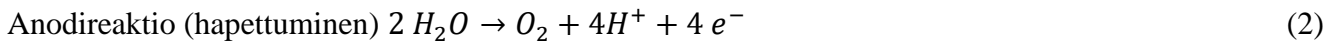
Elektrolyysi on sähkökemiallinen reaktio, jossa sähkövirran avulla pakotetaan kemiallinen hapetus-pelkistysreaktio, jonka avulla vesi voidaan hajottaa sähkövirran avulla vedyksi ja hapeksi. Elektrolyysi koostuu kennosta, elektrolyyttiliuksesta ja siinä on kaksi elektrodia, anodi ja katodi. Kennoon kohdistetaan ulkoisesta sähkövirrasta energiaa, jonka johdosta elektrodit eli anodi ja katodi alkavat reagoida elektrolyyttiliuksen kanssa, aiheuttaen reaktion. Prosessi on näkyvässä kuviossa 2. (Haavisto, Nikkola & Viljanmaa 1998.)



Kuvio 2. Veden elektrolyysi. (Mukaiillen Haavisto, Nikkola & Viljanmaa 1998, 36.)

Veden hajottaminen vedyksi ja hapeksi voidaan toteuttaa elektrolyysin avulla, jossa vedessä olevat elektrolyyttiliuksen negatiivisesti ja positiivisesti varautuneet ionit alkavat reagoida elektrodien kanssa keskenään siten, että vedessä olevat positiivisesti varautuneet ionit eli kationit kulkeutuvat

katodiin pelkistyen ja muodostaen vetyä. Vedessä olevat negatiiviset ionit eli anionit, kulkeutuvat anodille, hapettuen ja muodostaen happea. Veden elektrolyysin vedyn tuottamiseen tapahtuu kaavan 1 avulla:



Anodilla tapahtuu hapettuminen (kaava 2) ja katodilla pelkistyminen (kaava 3). Veden elektrolyysissä veden vetyionit pelkistyvät kaasumaisiksi yhdisteiksi ja happi-ionit hapettuvat hapeksi. Reaktiosta saatu vety voidaan hyödyntää Q Powerin omassa metanointiyksikössä synteettisen metaanin tuotantoon, jota käsitellään paremmin myöhemmässä luvussa. Lisäksi elektrolyysissä syntyvää happea voidaan varastoida erikseen tai vapauttaa ilmaan, riippuen mahdollisesta tarpeesta.

3 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHTA

BioKaMa-hanke tekee alustavaa kartoitusta Sievin 3 maatilan yhteiseen käyttöön tarkoitettu biokaasulaitosta, jonka raaka-aineena käytetään naudnan lantaa ja nurmea. BioKaMa-hankkeen avulla on saatu arvioitua alustava metaanituottopotentialin arvo näiden syötteiden pohjalta, joka on näkyvissä taulukossa 2. Näiden arvioiden pohjalta voidaan miettiä sekä laitoksen muotoa työhön, että kaasun kuljetuksen asettelua laitoksen läheisyyteen.

Taulukko 2. Maatilojen metaanintuottopotentialiarvot. (Alustavat luvut saatu BioKaMa-hankkeessa olevien maatilojen raaka-aineiden kuiva-ainepitoisuuksien pohjalta.)

Raaka-aine	Määrä (t/a)	Pitoisuus (%)	TS (t)	CH ₄	Nm ³ /t (CH ₄)	Yhteensä, m ³ (BK)	Yhteensä, m ³ (CH ₄)
Lypsykarjan lietelanta	18 500	7 %	1 295	58 %	11,4	364 124	211 192
Nurmi	4 000	28,3 %	1 132	53 %	83,7	631 600	334 748
Naudan kuivalanta (olki)	1 106	23 %	254	53 %	33,8	70 564	37 799
Yhteensä	23 606 t/a	11,4 %	2 681 t			1 066 288 m³/a	583 339 m³/a

Nykyisen laitoksen alustava suunnitelma olisi kahden putken liitos laitokseen, jossa toisessa kulkee pumpun avulla syöte eli mautiloilta muodostuva lietelanta ja toisella putkella laitoksessa syntyvä mädäte voidaan pumpata takaisin mautiloihin omiin käyttöihin. Lähtöarvot laitoksen toimintaan ovat noin 18 500 t/v lehmän lietelantaa, 4 000 t/v nurmea ja 1 106 naudnan kuivalanta oljista. Tällöin syötteen yhteinen määrä olisi 23 606 t/vuodessa, jolloin tämän syötteen kiintoainepitoisuus olisi 11,4 %, joka siten soveltuisi märkämädätykseen. Lisäksi BioKaMa-ryhmän on arvioinut syötteen viipymääjäksi reaktorissa 55 vrk. Reaktorin tilavuuden tarve syötteelle reaktorissa olisi 3 557 m³. Nämä jäävät kuitenkin tutkimuksen ulkopuolelle.

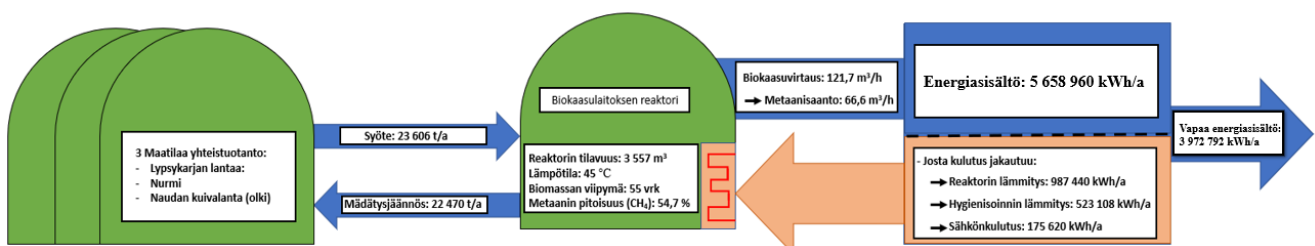
Laitoksen laskennallinen biokaasun tuotanto olisi täten 1 066 288 m³/vuodessa ja mädätysjäännöksen määrä olisi 23 606 t/vuodessa. Tällä voidaan arvioida laitoksen tuottama biokaasun ja mädätysjään-

nöksen määrä päivän aikana, minkä avulla voidaan siten selvittää tuotannon määrä tunnin aikana seuraavasti: Päivän tuotanto: $1\,066\,288\text{ m}^3/365\text{ vrk} = 2\,921,3\text{ m}^3/\text{vrk}$, josta tunnin tuotto olisi täten $2\,921,3\text{ m}^3/24\text{ h} = 121,7\text{ m}^3/\text{h}$.

Biokaasulaitos tuottaisi näiden avulla, omien laskelmien pohjalta biokaasua noin $121,7\text{ m}^3/\text{h}$. Biokaasun metaanipitoisuus olisi alustavien arvojen keskiarvon perusteella noin 54,7 % metaania, jolloin biokaasulaitos tuottaisi noin $66,6\text{ m}^3/\text{h}$ metaania. Laskennallinen energiasisältö olisi täten, käyttäen metaanin lämpöarvoa, $9,7\text{ kWh}/\text{m}^3 * 66,6\text{ m}^3/\text{h} = 646\text{ kWh}/\text{tunti}$. Tätä kautta vuorokauden aikana syntyvä energiamäärä olisi $646\text{ kWh} * 24\text{ tuntia} = 15\,504\text{ kWh}/\text{vrk}$, joka olisi siten vuodessa ($15\,504\text{ kWh} * 365\text{ päivää}$) noin $5\,658\,960\text{ kWh}$ eli $5\,659\text{ MWh}/\text{vuosi}$.

Alustavasti tuotettu energia käytetään syötteen lämmitykseen reaktorissa ja syötteen hygienisointiin. Syötteen hygienisointi täytyy tehdä ennen reaktoriin syöttämistä, jotta taudinaiheuttajabakteerit saataisiin eliminoitua. Tätä edellytetään syötteeltä, mikäli sitä hyödynnetään lannoitteena. Energiaa syötteen lämmitykseen kuluisi $987\,440\text{ kWh}/\text{a}$, hygienisoitiin $523\,108\text{ kWh}/\text{a}$ ja sähkөөn $175\,620\text{ kWh}/\text{a}$ eli yhteisenergiakulutus olisi noin $1\,686\,168\text{ kWh}/\text{a}$. Eli jos verrataan nykyisen tuotannon eroa kulutukseen, olisi arvo seuraava: $5\,659\text{ MWh}/\text{a} - 1\,686\text{ MWh}/\text{a} = 3\,973\text{ MWh}/\text{a}$, eli laitoksen nykyinen kapasiteettituotanto kattaisi laitoksen tarvittavan energiakulutuksen ja olisi täten alustavasti kannattava.

Näiden tietojen perusteella on arvioitu laitoksen mitoitus ja laitoksen tuottaman energiasisällön lisäksi, laitoksen käytön vaatima energiakulutus, joiden avulla olen muodostanut laitoksen ainevirtauksesta selkeän kuvauksen seuraavan kuviossa 3.

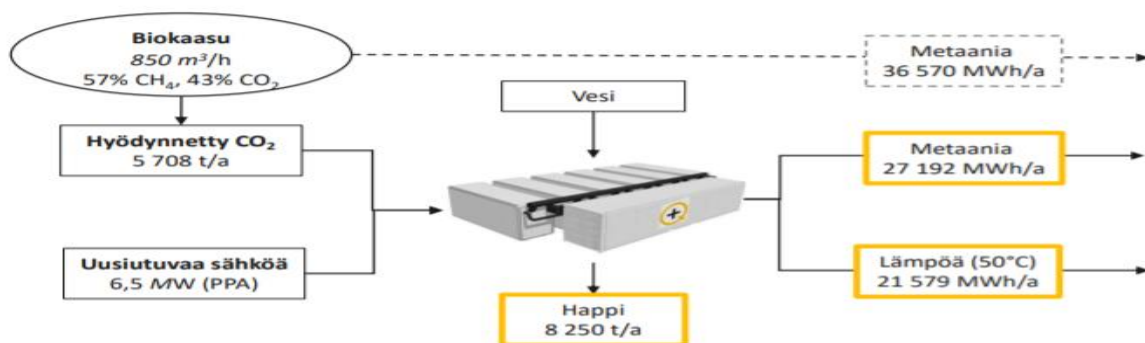


Kuvio 3. Alustava prosessikuvaus laitoksen ainevirroista.

Kuvan 3 avulla voimme havaita biokaasuvirtauksen olevan huomattavasti metaanisäntöä suurempi. Virtauksien ero selittyy, että jalostamon biokaasu sisältää metaanin lisäksi hiilidioksidia. Synteettisen

metaanin tuotannossa voidaan tämä hiilidioksidi muuttaa vedyn avulla metaaniksi. Hiilidioksidia voidaan hyödyntää synteettisen metaanin tuotannossa, jossa hiilidioksidi muutetaan vedyn avulla metaaniksi.

Biokaasun metanointi ratkaisuun Q Powerin Oy:llä olisi tarjolla ratkaisu: omalla teknologialla toimiva metanointiyksikkö laitoksen yhteyteen, joka on näkyvässä seuraavassa kuviossa 4. Metanointiyksikkö hyödyntäisi raakakaasussa mukana olevan hiilidioksidin synteettisen eli puhtaan metaanin tuottamiseen ja näin merkittävästi lisäisi biokaasusta saatavan metaanin määrää. Täten Q Powerin oma metanointiyksikkö hyödyntäisi suoraan raakakaasua prosessissa, eikä tarvitsisi jalostus/puhdistusta. Ainoastaan prosessi tarvitsee erillisen elektrolyysiprosessin, vedyn tuotantoon soveltuvan veden elektrolyysilaitteiston, jossa sähkövirran avulla vesi hajotetaan vedyksi ja hapeksi. Vetyä ja hiilidioksidia käytetään raaka-aineena metanoinnissa, jonka lopputuotteina saadaan sekä metaania, että lämpöä. Lisäksi elektrolyysin sivutuotteena syntyy vedyn lisäksi happea, jota voitaisiin myös mahdollisesti hyödyntää. Tutkimuksessa keskitytään biokaasun siirtoon, jolloin tutkimuksen ulkopuolelle jätetään veden elektrolyysiprosessi.



Kuvio 4. Q Powerin alustava ja kartoittava ratkaisu laitoksen viereen. (Q Power 2022b, esimerkkilaskelmaratkaisu.)

Kuviossa 4 esitetyssä ratkaisussa metanoitava biokaasun määrä on huomattavasti kuviossa 3 esiteltyä suunnittelua tuotantoa suurempi. Tämän tuotannon saamiseen lähdettiin työssä tutkimaan asioita seuraavasti:

1. Tutustutaan biokaasulaitoksen toimintaan ja sen vaatimiin edellytyksiin erityisesti maatalouden mittakaavassa.
2. Selvitetään tarvittavan metaanin määrä, nykyiseen laitokseen.

- Selvitetään alustavasti mahdollinen metaanin tuotannon määrä Sievin läheisyydestä.
- Metaanintuottopotentiaalien raaka-aineena keskitytään maatilaluokan raaka-aineisiin.

3. Selvitetään kaasujen kuljetus laitokseen.

- Tutkimuksen kohde keskittyy maantiekuljetukseen kaasun paineistukseen ja sen vaatimiin toimenpiteisiin, jolloin kaasun kuljetus putkistoa pitkin jätetään pois epätarkan saatavuuden johdosta.
- Tutkitaan raakakaasun ja jalostetun kaasun ominaisuuksia, jonka kautta tutkitaan näiden eroja ja haasteita paineistuksen kanssa, varsinkin raakakaasun kanssa.
- Tutkitaan raakakaasun ja jalostetun kaasun ominaisuuksien kautta käyttökohteiden eroja, jonka avulla määritetään niiden arvojen avulla sen kannattavuutta.

4 BIOKAASU

Biokaasu on kaasumainen seos, joka sisältää pääosin metaania (CH₄) ja hiilidioksidia (CO₂), sekä lisäksi vähäisissä määrin muita yhdisteitä, kuten rikkiä, vetyä, typpeä, vettä ja happea. Biokaasua syntyy biopohjaisen massan mädäntyessä anaerobisesti, minkä johdosta saadaan tuotettua energiakäyttöön sellaisenaan soveltuvaa biokaasua tai jalostettuna liikennekäyttöön soveltuvaa biometaania. Reaktion jälkeen jäävää kiinteää jäännöstä eli mädätettä, voidaan soveltaa peltokäyttöön lannoitteena. Biokaasu sisältää noin 50–70 % metaania ja loput hiilidioksidia, sekä muita komponentteja. Biokaasua voidaan hyödyntää sellaisenaan suoraan energiapolttoaineena sähkön/lämmöntuotantoon tai jalostaa liikennepolttoaineeksi soveltuvaa biometaania, jolla tarkoitetaan metaanipitoisuuden nostoa noin 95–98 % (Kymäläinen & Pakarinen, 2015).

Biokaasua käytetään ensisijaisesti tuottamaan oman tilan vaatima energiamäärä yleisesti kaasun pitoisuudelle sopivalla CHP-laitteella, joka muuntaa biokaasun suoraan sähköksi ja lämmöksi. Lisäksi, mikäli saadaan tuotettua oman tilan vaatima sähkömäärää, voidaan ylijäävä biokaasu myydä paikalliseen verkkoon. Myös biometaani voidaan yhdistää kaasuverkkoon, joka toimii siten varastona, että voidaan hyödyntää paikallisiin laitoksiin ja teollisuuteen. (Kymäläinen & Pakarinen, 2015.)

4.1 Biokaasun rakenne ja koostumus

Biokaasu koostumus vaihtelee, riippuen prosessiin käytettävistä syötteistä ja sen mahdollisesta käsitte-lystä. Pääosin biokaasu sisältää suurimmaksi osaksi metaania (45–75 %) ja hiilidioksidia (20–55 %). Loppuosa koostuu muista mahdollisista yhdisteistä, kuten tpestä, rikkivedystä, hiilimonoksidista, ammoniakista ja siloksaaneista. Normaalisti reaktorista tulevaa raakakaasua pyritään hyödyntämään joko suoraan lämmön- ja sähköntuotantoon sille sovelletulla CHP-kaasuturpiinigeneraattorilla, joka polttaa raakakaasun hallitusti. Mutta liikennepolttoaineeksi raakakaasu täytyy jalostaa mahdollisimman puhtaaksi metaaniksi, jotta varmistetaan sen paras soveltuvuus, ja että muut komponentit eivät aiheuta mahdollisia haittavaikutuksia toimintaan. (Kymäläinen & Pakarinen, 2015.)

Jotta biokaasua voidaan hyödyntää sekä energiatuotannossa, että liikennepolttoaineena, täytyy biokaasu puhdistaa alustavasti epäpuhtauksista, jotka voivat sekä aiheuttaa ongelmia sen käytössä, energi-antuotannossa ja aiheuttaa mahdollisia haitallisia päästöjä ympäristöön. Biokaasu lähtökohtaisesti

puhdistetaan mahdollisista epäpuhtauksista (kuten kosteudesta eli vesihöyrystä ja rikkiyhdisteistä), jotka voivat aiheuttaa ongelmia sekä normaalissa varastoinnissa, että energiatuotannossa ja aiheuttaa haitallisia päästöjä ilmaan (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 130–131). Taulukkoon 3 on merkitty raakakaasun epäpuhtaudet ja niiden mahdollisista haittavaikutuksista.

Taulukko 3. Raan biokaasun epäpuhtaudet ja niiden haittavaikutukset. (Mukaiillen Kymäläinen & Pakarinen 2015, 131.)

Epäpuhtaus	Laite- ja päästöhaitat
Rikkiyhdisteet	-Laitteiden syöpyminen -Myrkyllisyys ja happamoituminen
Vesiyhdisteet	-Laitteiden syöpyminen ja tukkeutuminen
Halogenoidut hiilivedyt	-Laitteiden syöpyminen -Myrkyllisyys ja happamoituminen
Ammoniakki	-Myrkyllisyys ja rehevöityminen
Siloksaanit	-Putkien karstoittuminen
Happi	-Räjähdytys
Pienet hiukkaset	-Putkien karstoittuminen

Jotta biokaasua voidaan hyödyntää liikennepolttoaineena, täytyy biokaasu jalostaa, mikä tarkoittaa kaasun energiasisällön kasvattamista. Tällä tarkoitetaan biokaasun metaanipitoisuuden kasvattamista, jolla pyritään vähentämään muiden komponenttien määrää kaasussa, kuten hiilidioksidia. Jalostuksen päätarkoitus ei ole biokaasun puhdistus, mutta osa jalostusteknologioista vähentää myös epäpuhtauksien määrää. Tämän johdosta voidaan sitä soveltaa yhteen puhdistuksen kanssa esimerkiksi vesipesuri-menetyksessä, jossa veteen voidaan liuottaa mahdolliset epäpuhtaudet. Joidenkin jalostusteknologioiden kohdalla esipuhdistus on välttämätön, sillä raakakaasussa olevat rikkivety ja vesikosteus muodostavat rikkihappoa ja siten aiheuttavat syöpymistä laitteistossa. Muiden komponenttien erilaista käyttäytymistä eri olosuhteissa, kuten lämpötilojen ja paineiden johdosta, ei voida soveltaa joissakin jalostuksissa. Tämän johdosta ne voivat aiheuttaa ongelmia joidenkin jalostusprosessien toiminnassa kuten kalvo- ja kryojalostuksessa. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 134.)

Sekä raaka- että jalostetun biokaasun koostumuksen eroja voidaan tarkastella taulukon 4 avulla. Taulukossa on näkyvillä tyypillisen reaktorista tulevan raakakaasun pitoisuudet ja puhdistuksen/jalostuksen

jälkeen olevan biokaasun koostumus. Taulukon 4 arvoista voidaan nähdä, että eri komponenttien esiintyvyys raakakaasun ja jalostetun kaasun välillä on huomattava. Tämän johdosta kaasun käsittelyssä, käytössä ja varastoinnissa täytyy ottaa huomioon kaasun sisältämien komponenttien esiintyvyys ja käytös eri olosuhteissa. Lisäksi näiden ominaisuuksien pohjalta ne vaikuttavat materiaalien, laitteiden valintojen kanssa, myös kaasun käsittelyn kanssa. Kaasujen eri pitoisuudet ovat näkyvissä taulukossa 4.

Taulukko 4. Raa'an ja jalostetun biokaasun koostumuksia (Mukaiillen Kymäläinen ja Pakarinen 2015, 128).

	Raaka reaktorikaasu	Jalostettu kaasu
Metaani (CH ₄) (til-%)	45–75	95–99
Hiilidioksidi (CO ₂) (til-%)	20–55	1–5
Hiilimonoksidi (CO) (til-%)	0–0,2	-
Typpi (N ₂) (til-%)	0–2	0–4
Vety (H ₂) (til-%)	0–0,5	-
Rikkivety (H ₂ S) (til-%)	<0,8	-
Happi (O ₂) (til-%)	0–1	<1
Ammoniakki (NH ₃) [mg(Nm ³) ⁻¹]	0–3	-
Siloksaanit [mg(Nm ³) ⁻¹]	0–5	-
Suhteellinen kosteus (vesihöyry) (%)	100 %	Kastepiste: käyttölämpötila -5°C

Mikäli raakakaasua käsitellään laitoksen ulkopuolella, toteutetaan kuljetus laitoksen ulkopuolelle sen sisältämien muiden komponenttien johdosta yleensä putkistoa pitkin maan alla. Näin raakakaasu voidaan siten sekä turvallisesti että hallitusti kuljettaa ympäristöolosuhteiden vaihtelusta huolimatta. Alhaisen paineen avulla saadaan siirrettyä kaasua paikasta toiseen, jolloin kaasuseos saadaan pysymään samassa muodossa, eivätkä sekä olosuhteiden lämpötila ja paineen muutos aiheuta muiden komponenttien mahdollisia muutoksia. Materiaalin osalta putkistojen soveltuvin materiaali biokaasulle näiden komponenttien johdosta on PE-muovi, jota sovelletaan maanalaisten biokaasuputkistojen materiaalina, maanpäällisiin putkistoihin käytettävänä putkistomateriaalina sovelletaan haponkestävää terästä (AISI 316 L/EN 1.4404), mutta rikkivedyn mahdollisen esiintyvyyden johdosta hiiliteräksen käyttö ei ole soveltuva korroosion takia. Kaasun varastointiin ja säilytykseen soveltuvina materiaaleina käytetään

EPDM-kumipitoisia ja PVC-muovipitoisia materiaaleja, joista yleisimpänä materiaalivaihtoehtoina käytetään kudosvahvistettua PVC-kangasta. (Kaasuyhdistys, 15–16.)

Mahdollinen järkevä ratkaisu sekä raakakaasun siirtoon että sen varastointiin on suorittaa suoraan reaktorille tulevalle raakakaasulle esipuhdistus. Esipuhdistuksessa raakakaasusta poistetaan mahdolliset epäpuhtaudet ja haittaa aiheuttavat komponentit, jotka voisivat aiheuttaa syövyttävyyttä ja korroosiota. Lisäksi kaasun siirto ja varastointi tulisi toteuttaa mahdollisimman kuivana, jotta vältetään veden aiheuttaman korroosion lisäksi sen jääytymiseltä. Sekä reaktorista tulleen raakakaasun että sen esipuhdistuksen jälkeen, kaasun käsittelyssä ja kuljetuksessa/varastoinnissa ongelmaksi voi osoittautua metaanin ja hiilidioksidin eri aineominaisuudet eri paineissa ja lämpötiloissa. Hiilidioksidin paineen täytyy olla todella alhainen tai paineistamaton, jottei hiilidioksidi nesteydy paineistuksen johdosta ja aiheuta siten ongelmia kuljetuksessa ja purussa (hiilidioksidin nesteytyminen ja jäätyminen kuljetuksessa/varastoinnissa, lisäksi kompressorit eivät kestä ja siedä nestemäistä hiilidioksidia).

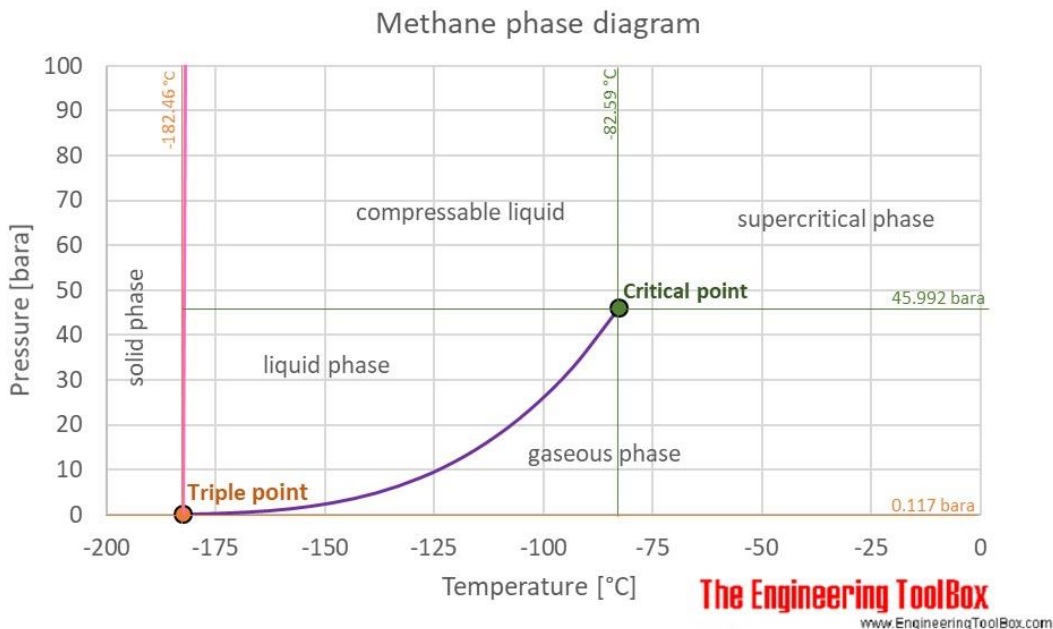
4.1.1 Metaani

Biokaasu sisältää pääosin metaania, joka on hajuton, väritön ja ilmaa kevyempi kaasu (suhteellinen tiheys 0,56). Metaani on erittäin helposti syttyvä ja palava aineeseos, joka reagoidessaan voimakkaiden hapettavien aineiden, kuten hapen kanssa, synnyttää herkästi syttyvän seoksen, joka reagoi herkästi mistä tahansa syttymislähteestä (biokaasun metaanipitoisuuden ollessa 5–15 til-% metaani-ilma seoksessa, 20 °C:ssa ja normaalissa ilmanpaineessa, 1,01325 bar). Biokaasun syttymisrajat riippuvat sen metaanipitoisuudesta. Biokaasun alempi syttymisraja on korkeampi ja ylempi matalampi kuin metaanilla. Puhutaan metaanin syttymisrajat NTP-tilassa ovat 4,4–17 % til-% ilman kanssa (OVA-käyttöturvallisuusohjeet 2017b), mutta muuten biokaasu noudattaa ominaisuuksiltaan samoja arvoja kuin metaani. Metaani nesteytyy -162 °C lämpötilassa normaalissa ilmanpaineessa, ja reagoidessaan veden kanssa, johtaa voimakkaaseen kiehumiseen ja höyrystymiseen (Gasum, 2018.) Metaanin yleiset ominaisuustiedot on kerätty taulukkoon 5.

Taulukko 5. Metaanin ainearvot. (Mukaiillen OVA-käyttöturvallisuusohje 2017b:n pohjalta.)

Metaani	
Molekyylikaava	CH ₄
Molekyyli massa	16,04 g/mol
Tiheys	0,72 kg/m ³
Kiehumislämpötila	-162 °C
Sulamislämpötila	-182 °C
Itsesyttymislämpötila	Biokaasu: 537 °C Puhdas metaani: 595 °C
Syttymisraja (til-%)	Biokaasu: 5-15 til-%. Puhdas metaani: 4,4- 17 til-%.
Tehollinen lämpöarvo (kWh/m ³)	9,7
Tehollinen lämpöarvo (kWh/kg)	13,9

Lisäksi metaanin käyttäytyminen on näkyvissä faasidiagrammissa kuviossa 5 paineen ja lämpötilan funktiona. Kuvaaja kertoo metaanin olomuodon muutoksen nesteen ja kaasun välillä lämpötilan ja paineen muutoksen johdosta. Metaanin kriittinen piste on määritelty noin 45 bar paineessa ja -82 asteen paineessa, jonka jälkeen metaanin olomuoto ei ole erotettavissa nesteestä ja kaasusta.



Kuvio 5. Metaanin muutos paineen ja lämpötilan funktiona (The Engineer Toolbox 2022a).

4.1.2 Hiilidioksidi

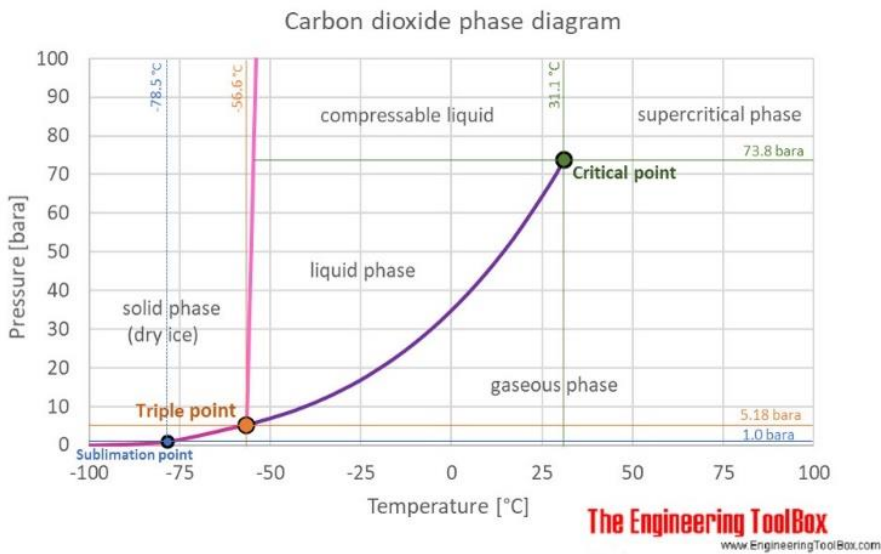
Hiilidioksidi esiintyy kaasuna, metaanin tapaan hiilidioksidi on väritöntä, lähes hajuttonta ja ilmaa raskaampaa. Hiilidioksidi ei ole itsestään syttyvä ja palava aine, eikä reagoi muiden aineiden kanssa samassa tilassa eli se luetaan inerttikaasuksi. Koska hiilidioksidi on ilmaa raskaampi aine, syrjäyttää se helposti hapen ja aiheuttaa siten hapenpuutteen suljetussa tilassa, minkä johdosta on tärkeää sen käsittelyssä, että varastoinnissa huolehditaan sopivasta tuuletuksesta (2–10 % esiintyvyyden välillä terveyshaittoja, josta yli 10 % esiintyvyys johtaa hapenpuutteeseen ja aiheuttaa jopa tajuttomuuden) (OVA-käyttöturvallisuusohjeet, 2017a). Hiilidioksidin käyttökohde on laajaa, joten yleisesti koska se on inerttinen kaasu, sovelletaan sitä palonsammuttamiseen ja ehkäisyyn. Lisäksi hiilidioksidia käytetään elintarviketeollisuudessa suojakaasuna, jolla pyritään hillitsemään bakteerien kasvua. Lisäksi sitä hyödynnetään kasvihuonekaasuna kasvien kasvamiseen ja kiinteässä muodossa eli kuivajäänä prosessiteollisuudessa ja terveydenhuollossa. Kuivajää valmistetaan nestemäisestä hiilidioksidista, joka kiinteytetään lumen kautta jääksi, puristamalla se $-78,5^{\circ}\text{C}$ asteiseksi. (Woikoski Oy, 2022). Nykyään hiilidioksidia voidaan hyödyntää arvokkaana raaka-aineena synteettisen metaanin tuottamiseen metanoinnilla, synteettisen eli puhtaan metaanin tuottamiseen, jossa hiilidioksidi ja vety pelkistetään katalyytin avulla metaaniksi. Hiilidioksidin aineominaisuudet on merkitty taulukkoon 6.

Taulukko 6. Hiilidioksidin ainearvot. (Mukaiillen OVA-käyttöturvallisuusohje 2017a:n ja Woikoski Oy 2021 käyttöturvallisuustiedotteen pohjalta.)

	Hiilidioksidi
Molekyylikaava	CO_2
Molekyyli massa	44,0 g/mol
Tiheys (Kaasu)	1,98 kg/m ³
Kiehumislämpötila	$-78,5^{\circ}\text{C}$
Sulamispiste	$-56,6^{\circ}\text{C}$ (5,2 bar paineessa)
Itsesyttymislämpötila	Ei ole
Tehollinen lämpöarvo	Ei tuota

Hiilidioksidi esiintyy normaalissa eli ilmakehän paineessa kaasuna, mutta lämpötilojen muutoksen johdosta ei milloinkaan nesteenä, vaan se muuttuu suoraan kiinteäksi jääksi eli härmistyy suoraan alle -78°C :n lämpötilan jälkeen. Hiilidioksidi esiintyy nestemäisessä muodossa ainoastaan yli 5,2 bar paineessa, lämpötilojen $-56,6 - +30,6^{\circ}\text{C}$ välillä. Hiilidioksidin kolmipiste eli tila, missä hiilidioksidi voi

esiintyä kolmessa eri olomuodossa tasapainotilassa, tapahtuu 5,2 bar paineessa $-56,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. Hiilidioksidin kriittinen piste kuvaa, tilaa, jota korkeammilla paineen ja lämpötilan arvoilla ei ole huomattavissa selvää muutosta neste- ja kaasufaasin välillä, joten paras tapa hiilidioksidin säilöttämiseen paineistettuna on, että tila pidetään maksimissaan $31\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa ja 73,6 bar paineessa. Aineen olomuodon muutosta voidaan tarkastella faasidiagrammin avulla kuviossa 6, lämpötilan ja paineen muuttoksen funktiona.

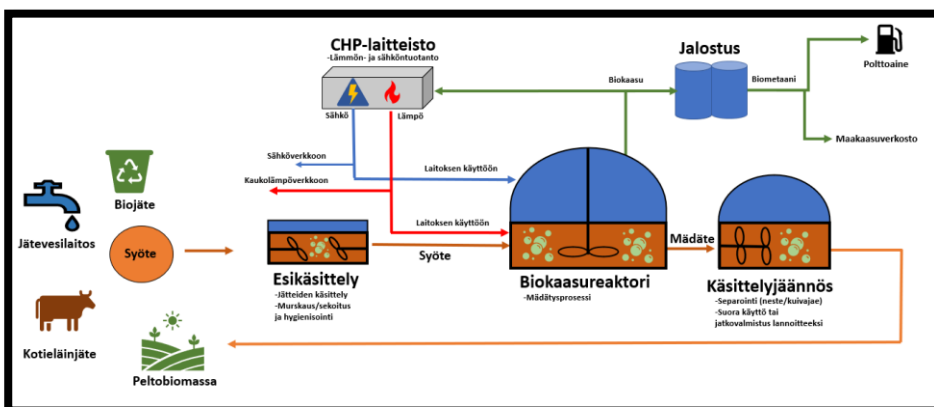


Kuvio 6. Hiilidioksidi paineen ja lämpötilan funktiona (The Engineer Toolbox 2022b).

5 BIOKAASUN PROSESSIN KIERTOKULKU

Biokaasun kiertokulku kuviossa 7 lähtee sen raaka-aineesta. Biokaasun tuotetaan eloperäisestä eli orgaanisesta aineesta, jota voidaan saada jätevesipuhdistamojen jätteestä/lietteestä, sekä yleisestä biojätteestä, että maatilaluokassa maatalouden eläinten jätteestä eli lannasta ja kasvibiomassasta. Lisäksi teollisuuden erilaisten sivuvirtojen eloperäisiä jätteitä ja sivutuotteita, erityisesti elintarviketeollisuudessa, voidaan hyödyntää biokaasulaitoksen syötteenä. Biokaasulaitoksen tuotantomuotoon vaikuttavat saatavat raaka-aineet, joiden pohjalta valitaan oikeanlainen prosessi, joka soveltuu parhaiten käytettävien raaka-aineiden kuiva-ainepitoisuuden osalta. (Kymäläinen ja Pakarinen, 2015, 9–11.)

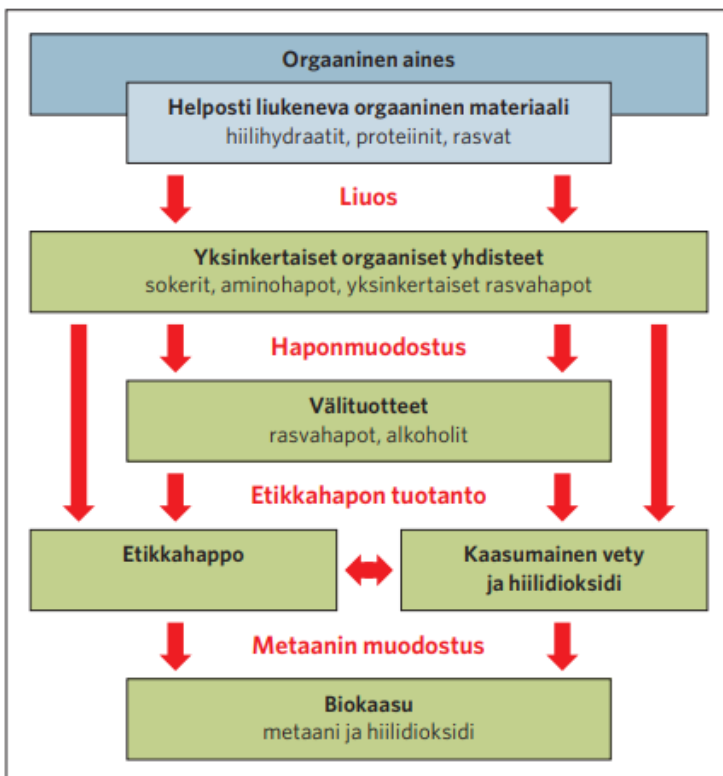
Biokaasun raaka-aine eli syöte kuljetetaan biokaasulaitoksella, missä se esikäsitellään fysikaalisesti, kemiallisesti tai biologisesti, riippuen syötteen laadusta. Oikeanlaisen esikäsitteilyn jälkeen raaka-aine syötetään bioreaktoriin, jossa tapahtuu mädätys eli anaerobinen hajoaminen, jossa orgaaninen syöte hajoaa hapettomassa tilassa ja valitussa sopivassa lämpötilassa biokaasuksi. Jäljelle jäävä hajoamatonta massaa sanotaan kiintoaineeksi eli mädätteeksi. Mädate voidaan käyttää sen ravinnepitoisuuden vuoksi lannoitteena sellaisenaan tai se voidaan erottaa separoinnilla kuivajakeeksi ja nestejakeeksi, riippuen käyttökohteesta (tilojen omaan käyttöön mädätettä voidaan käyttää sellaisenaan lannoitteena, mutta ulkopuolisille tai kaupalliseen käyttöön syöte täytyy hygienisoida joko ennen tai jälkeen prosessin). Reaktorista syntynyt biokaasuseos voidaan varastoida ja käyttää sellaisenaan laitoksen käyttämään CHP-laitteistoon, joka muuntaa biokaasun sähköksi ja lämmöksi. Biokaasu voidaan jalostaa vielä erilaisilla puhdistus/jalostusmenetelmällä joko liikennekäyttöön polttoaineeksi tai liittää kaasuverkostoon. (Kymäläinen ja Pakarinen, 2015, 9–11.)



Kuvio 7. Biokaasun kiertokulku (Mukailien Kymäläinen & Pakarinen, 2015, 10.)

5.1 Anaerobinen prosessi

Biokaasu saadaan aikaan orgaanisen aineen hajotessa, jota kutsutaan nimellä anaerobinen hajoaminen. Reaktio perustuu bioperäisen mikro-orgasmien hajoamiseen, jonka toimintaa voidaan kuvailla tapahtumaketjureaktiolla, jonka lopputuotteena syntyy metaania ja hiilidioksidia. Reaktiossa syntyy välituotteita, jotka toimivat seuraavan reaktion raaka-aineena, josta lopulta päästään lopullisiin reaktiotuotteisiin. Anaerobinen prosessi on nelivaiheinen prosessi, joka koostuu: liuotuksesta (hydrolyysistä), haponmuodostuksesta (fermentaatiosta), etikkahapon käymisestä (asetogeneesistä) ja metanogeneesistä eli metaanin muodostumisesta. Prosessin kulku ja vaiheet on nähtävissä seuraavassa kuviossa 8 (Motiva Oy 2013, 4).



Kuvio 8. Anaerobinen hajoaminen (Motiva Oy 2013, 4.)

Hydrolyysissä orgaaniseen aineeseen kiinteät ja suuret molekyylit (hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat) pilkkoutuvat pienemmiksi, jolloin ne liukenevat veteen ja mikrobisolut voivat käyttää niitä hyväkseen. Prosessissa mikrobit tuottavat solun ulkopuolelle entsyymejä, joiden tehtävänä on hajottaa kyseiset

isot orgaaniset molekyylit pienimmiksi tuotteiksi seuraavasti: Amylaasi-entsyymit hajottavat hiilihydraatit sokereiksi, proteaasi-entsyymit hajottavat proteiinit aminohapoiksi ja lipaasi-entsyymit hajottavat rasvat rasvahapoiksi ja glyseroliksi. (Motiva Oy 2013, 4.)

Toinen vaihe, on asidogeneesi (fermentaatio), toiselta nimeltään happokäyminen, jossa hydrolyysissä syntyneet tuotteet hajoavat happokäymisen johdosta haihtuviksi orgaanisiksi hapoiksi. Reaktiossa mikrobit käyttävät raaka-aineena sokeria, aminohappoja ja alkoholeja, muuntaen ne orgaanisiksi hapoiksi. (Motiva Oy 2013, 4.)

Kolmannessa vaiheessa eli asetogeneesissa, orgaaniset hapot hapettuvat haihtuvista, orgaanisista hapoista metaanin muodostumiseen tarvittaviin välituoteisiin, joita ovat etikkahappo, kaasumainen vety ja hiilidioksidi. Asetogeenit käyttävät näitä happokäymisessä muodostuneita välituotteita, kuten nitraatteja, sulfaatteja ja karbonaatteja, elektronien vastaanottajina, jolloin ne pelkistyvät ja muodostavat siten asetaattia, vetyä ja hiilidioksidia (Motiva Oy 2013, 4).

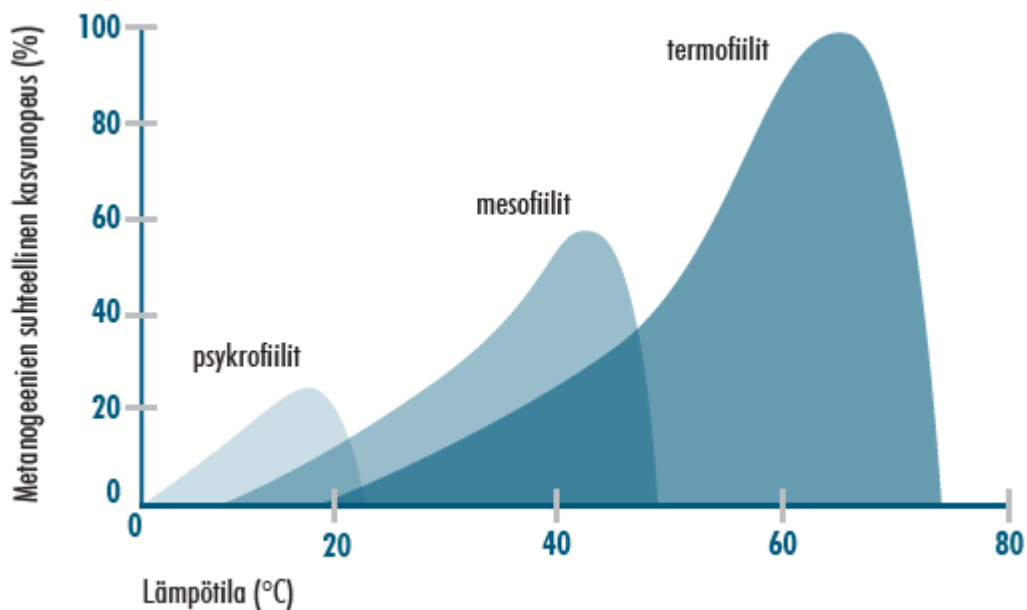
Neljännessä eli viimeisessä vaiheessa kutsutaan metanogeneesiksi, jossa tapahtuu metaanin muodostuminen. Tässä reaktiossa metanogeeni-mikrobit käyttävät raaka-aineen asetaattia, vetyä ja hiilidioksidia, synnyttäen metaania ja hiilidioksidia. Metaania muodostuminen asetaatin kautta eli asetotrofisen metanogeneessin johdosta, on arviolta noin 70 %. (Kymäläinen ja Pakarinen, 2015, 61–63.)

5.2 Biokaasun mädätysprosessin toimintaedellytykset

Biokaasun muodostuminen eli mädätysprosessi koostuu useiden parametritekijöiden tasapainosta, jonka avulla sekä varmistetaan metaaninmuodostumiseen oikeanlaiset olosuhteet, että häiriötön ja turvallinen ajo. Metaanin muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat: prosessin olosuhteet, lämpötilat, pH, alkalineetti ja inhiboivat aineet.

5.2.1 Prosessin olosuhteet ja lämpötila

Biokaasun tuotanto biokaasulaitoksissa toteutetaan mädätyksen avulla, johon vaikuttaa valitun syötteen oikeanlainen tuotantoprosessi, joka toteutetaan hapettoman tilan lisäksi oikeassa lämpötilassa. Tässä tilassa syötteen bakteerit syntyvät ja menestyvät, taaten täten oikeanlaisen bakteerikannan ja parhaan tuoton metanogeenien tuottamiseen, jonka lopputuotteena saadaan mahdollisimman hyvällä tuottavuudella metaania. Tämä perustuu metanogeenien syntymiseen. Biokaasun tuotantomuodot lämpötilan perusteella voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: psykrofiilisen, mesofiilisen ja termofiiliseen prosessiin. Kuviossa 9 voidaan nähdä prosessin metanogeenien muodostuminen eri lämpötiloissa. Kuviosta nähdään myös eri mädätysprosessit ja niiden lämpötila-alueet (Kymäläinen & Pakarinen, 2015, 64).



Kuvio 9. Metanogeenien kasvunopeus lämpötilan muutoksena (Kymäläinen & Pakarinen, 2015, 64.)

Psykrofiilinen prosessi eli mädätys tapahtuu matalassa lämpötilassa, 0–20 °C välillä. Prosessi on edullisin muihin prosesseihin verrattuna, koska reaktorin lämmittäminen ja operoiminen on helppoa sen alhaisen lämpötilavaateen johdosta, jolloin rahaa ei kulu prosessin lämmittämiseen. Sen haittapuolena muihin prosesseihin verrattuna on sen reaktiohitaus, alhaisen lämpötilan takia. Alhaisessa lämpötilassa

bakteerit reagoivat hitaasti, minkä johdosta reaktorin käsittelyaika on pidettävä pitkinä, jotta saadaan tuotettua oikeanlainen mikrobimäärämetaanin tuottamiseen, joka on todettavissa kuvion 9 avulla.

Mesofiilinen prosessi toimii 20–50 °C välillä, joka on yleisin käytettävä prosessi biokaasulaitoksissa, sen helpon toimivuuden, lämpötilan johdosta. Lämpötila-alueen johdosta sen käsittelyaika on nopeampi kuin psykrofiilisen, minkä johdosta saadaan tuotettua metaania nopeammin. Lisäksi prosessi on toiminnaltaan stabiilein muihin prosesseihin verrattuna, minkä johdosta se ei ole herkkä lämpötilavaihteluille. Tämän johdosta ylimääräistä energiaa ei kulu sen säätämiseen ja sen toimiessa oikeassa lämpötilassa se ei vahingoita metaania tuottavia mikro-organismeja, metanogeneejä, jotka voivat kärsiä lämpötilan turhasta vaihtelusta. (Kymäläinen & Pakarinen, 2015, 63–64.)

Termofiilinen prosessi toimii korkeimmissa lämpötiloissa, 50–55 °C välillä. Korkean lämpötilan johdosta, orgaanisen massan hajoaminen on nopeampaa, jolloin reaktoriaika on pienin ja saadaan nopeiten tuotettua metaania. Lisäksi korkean lämpötilan johdosta haitalliset bakteerit tuhoutuvat korkeassa lämpötilassa, joten erillistä hygienisointiprosessia ei tarvita. Haittapuolena voidaan pitää prosessin korkean lämpötilan johdosta sen käynnistämistä ja ylläpitämistä, joka kuluttaa siten paljon energiaa. Lisäksi prosessi on herkempi sekä lämpötilan muutoksille, että muiden tekijöiden vaikutuksille, kuten pH:n muutoksille, jotka vaikuttavat siten mikrobien käyttäytymiseen ja reagoimiseen. Nämä vaikuttavat heti metanogeneesien muodostumiseen, jolloin metaanin tuotanto voi vaikeutua. (Kymäläinen & Pakarinen, 2015, 64.)

5.2.2 pH, ja alkalineetti

Prosessin mikrobien toiminta eli aktiivisuus riippuu lämpötilan lisäksi pH:sta, jossa mikrobien toiminta on optimaalisin. Biokaasureaktori toimii tavallisesti neutraalilla pH-alueella eli alueella, jossa pH on 7–8 välillä. Tämä suosii loppureaktion mikrobien eli metanogeneesien toimintaa metaanin tuottamiseen. Anaerobisen prosessin kaikki vaiheet eivät suosi pH:n neutraalitasoa, vaan joudutaan tekemään tämän kompromissi pH:n tason suhteen. Eli joudutaan valitsemaan pH-alue, joka suosii kaikkien vaiheiden mikrobien toimintaa, vaikka se ei metanogeneesin suhteen olisi optimaalisin. Anaerobisen mädätysprosessin alkuvaiheet eli hydrolyysi ja asidogeneesi suosivat mikrobitoiminnan osalta hapanta pH:ta eli pH -aluetta 4,5–6,5 välillä ja varsinainen metaanin tuottamisen loppuvaihe eli metanogeneesi suosii taas korkeampaa pH:ta, noin 6,7–7,5 pH:n tilaa. Biokaasureaktorin pH:n tasoon vaikuttaa ensisijaisesti syötteen ja syntyvien hajoamistuotteiden laatu (hapan vai emäksinen). Hiilihydraattipitoiset

syötteiden hajoamistuotteiden hapot vaikuttavat prosessin pH:ta alentavasti ja taas proteiinipitoiset syötteet nostavat pH:n tasoa, siitä syntyvän ammoniakkin johdosta. (Kymäläinen & Pakarinen, 2015, 65.)

Biokaasureaktorin toimintaan vaikutetaan pitämällä pH:n tason vakiotasolla, joka siten takaisi sekä jatkuvan, että toimivan prosessin kulun. Prosessin pH:n toiminnan toimivuuteen eli pH:n pysyminen vakiotasolla mitataan alkalineetilla, joka kertoo reaktorisäilyksen puskurikykyä eli kykyä neutraloida toiminnassa syntyvien happoja ja sitä kautta estää niiden vaikutusta pH:n arvoon. (Kymäläinen ja Pakarinen, 2015, 65.)

Happojen muodostumisvaiheessa syntyviä haihtuvia rasvahappoja ja niiden pitoisuuksien muutoksen vaikutusta prosessiin seurataan VFA-pitoisuuden avulla. Toimivassa prosessin liuoksessa olevien bikarbonaatti-ionien määrä pitäisi kattaa haihtuvien rasvahappojen määrä, minkä johdosta ne neutraloivat nämä hapot, estäen siten pH:n alenemisen. Mikäli rasvahappojen määrä kasvaa liika, ei liuos pysty neutralisoimaan kyseistä määrää happamuutta, minkä johdosta pH laskee. (Kymäläinen ja Pakarinen, 2015, 65.) Puhutaan tilanteesta, jossa reaktio tuottaa liikaa happoja, mitä se pystyisi käsittelemään, jolloin prosessi pysähtyy.

Näiden pitoisuuksien eli happojen muodostumista ja liuoksen kykyä puskuroida eli neutralisoida happojen määrää ja niiden vaikutusta prosessin jatkuvaan toimivuuteen seurataan näiden kahden, eli VFA:n ja alkaliteettien-suhteella. Tämän avulla voidaan ennaltaehkäistä prosessin syntyvää häiriötä etukäteen. Toimivalle prosessille VFA/alkaliteetin-suhteen arvon tulisi olla alle 0,3. (Kymäläinen & Pakarinen, 2015, 66.)

5.2.3 Inhiboivat tekijät ja aineet

Anaerobisen prosessin toimintaan eli orgaanisen aineen hajoamiseen negatiivisesti eli inhiboivasti vaikuttavat tekijät tulevat sekä syötteessä olevien ravinteiden mukana, että niistä syntyvien hajoamistuotteiden seurauksena. Varsinaisia raja-arvonpitoisuuksia eri syötteiden aineille ja yhdisteille on vaikea arvioida. Tämä johtuu eri aineiden erilaisista reaktioista ja sidoksista, jotka voivat reagoida eri tavalla eri olosuhteisiin. Täten näiden aineiden vaikutuksiin vaikuttavat myös prosessin käyttö- ja ympäristöolosuhteet, joiden johdosta reaktio voi tapahtua ja täten vaikuttaa negatiivisesti prosessiin. Lisäksi raja-

arvon pitoisuuksien määrittämisen arvioimiseen vaikeuttaa myös se, että kyseiset mikrobit voivat sopeutua näihin haitallisiin olosuhteisiin. (Kymäläinen & Pakarinen, 2015, 67.)

Inhiboivat aineet eli negatiivisesti prosessiin vaikuttavat yleisimmät aineet ovat ammoniakkin, sekä rikkivedyn ja rasvahappojen muodostuminen prosessin yhteydessä. Ammoniakkia muodostuu syötteen sisältämän runsaan typen johdosta, mikä voi vaikuttaa pahimmillaan siten, että prosessin ammoniakkin määrä kasvaa, prosessin hitaan adaptoitumisen johdosta. Rikkivetyä taas syntyy rikkipitoisten proteiinien lisäksi myös sulfaattia pelkistävien bakteerien hajoamisesta. Rikkisulfidi-ionit muodostavat metallien kanssa saostumia, jotka siten sitovat prosessin käymisen toimintaan vaikuttavia hivenaineita. Rasvahapot (FVA) muodostavat hajoamisen johdosta pitkäketjuisia rasvahappoja, jotka siten kuluttavat metanogeenien muodostamiseen tarvittavaa typpeä, minkä johdosta ne voivat siten estää metanogeenien muodostumista ja näin ollen vähentää metaanin muodostumista. (Kymäläinen ja Pakarinen, 2015, 67–68.)

5.3 Kuiva- ja märkämädätys

Biokaasun laitoksen tyyppi voidaan jakaa syötteen eli raaka-aineen muodon eli kuiva-ainepitoisuuden mukaan joko märkä- tai kuivamädätykseen, jotka voidaan toteuttaa joko panos- tai kaskadiprosesseina (jatkuvana). Märkämädätysprosessit käyttävät raaka-aineena lietemäisiä syöttömateriaaleja, joiden kuiva-ainepitoisuus on 15 % ja kuivamädätysprosessit taas kuivia syötteitä, joiden kuiva-ainepitoisuus on noin 20–40 % luokkaa. Märkäprosessien syöte on lietemäistä, joten se on pumpattava reaktoriin. Märkäprosessit ovat yleisempiä prosesseja, jotka toimivat jatkuvatoimisena prosessina, joten ne sopivat pienen mädätysmäärien käsittelyyn ja lietemäisenä muodon avulla syötteen liikkuminen prosessien välillä on helppoa. Lisäksi syötettä on helpompi käsitellä, sillä reaktorin mädätysjäännöksestä eroteltava nesteellä tai siitä puhdistetulla prosessivedellä, voidaan prosessia laimentaa tarvittaessa. Alhaisen kuiva-ainepitoisuuden takia metaaninsaanto on alhaisempi reaktoritilavuutta kohden (Kymäläinen ja Pakarinen, 2015, 83).

Kuiva-aineprosesseja voidaan toteuttaa sekä panos, että jatkuvatoimisena prosessina. Kuiva-aineprosessin etuina on sen metaanituoton suuruus verrattuna reaktorin kokoon eli saadaan tuotettua enemmän metaania pienemmässä mittakaavassa. Lisäksi pienemmän nestepitoisuuden vuoksi reaktori ei tarvitse paljon lämpöä, jolloin energian tarve lämmittämiseen on vähäinen. Kuivamädätyksen huono puoli on

sen reaktioaika eli mädätys tapahtuu hitaasti alhaisen lämpötilan johdosta, jolloin reaktorin viipymäaika on suuri. Uuden mädätyksen tuottamiseen tarvitaan mädätysjäännöksestä noin 50 %, minkä johdosta reaktorin tilavuutta täytyy kasvattaa. Kuivaprosessin syötteen käsittely ja sen käyttäytymisen ohjaus ja valvonta on haasteellisempaa kuiva-ainepitoisuuden johdosta, mikä voi aiheuttaa ongelmia mm. sekoituksessa ja siirtelystä aiheutuu enemmän kustannuksia, kuin märkäprosesseissa. (Kymäläinen ja Pakarinen 2015, 83.)

5.4 Biokaasun jalostus ja hiilidioksidin hyödyntäminen

Mikäli biokaasua halutaan hyödyntää liikennepolttoaineena, täytyy raakakaasun epäpuhtaudet poistaa ja lisäksi metaanipitoisuutta nostaa jalostamalla, millä pyritään nostamaan sen energiatehoa. Metaanin puhdistuksella tarkoitetaan yleisellä tasolla raakakaasussa olevia epäpuhtauksia ja kosteutta, jotka voivat aiheuttaa ongelmia sekä putkistoissa, että laitteiden toiminnassa, ja niitä aiheuttavat pääsääntöisesti rikki- ja vesiyhdisteet. Jalostuksessa pääsääntöisesti keskitytään hiilidioksidin poistoon, jolloin biokaasu soveltuisi siten suoraan polttoaineeksi haitta-aineiden poistuessa ja energiatehokkuuden nostamisella eli metaanipitoisuuden kasvaessa. Yleensä puhdistus pyritään soveltamaan jalostuksen yhteyteen, jolloin vältetään turhilta kustannuksilta monimutkaisen puhdistusprosessin takia, mikäli se voidaan yhdistää jalostukseen (Kymäläinen ja Pakarinen 2015, 130–131). Taulukossa 7 on näkyvillä biokaasun jalostukseen käytettäviä yleisiä jalostustekniikoita ja näiden eroja sekä puhtausvaatimusten että energiatehojen suhteen.

Taulukko 7. Biokaasun jalostuksen eri teknologiat ja niiden eroavaisuudet (Mukaiillen Kymäläinen ja Pakarinen 2015, 137.)

	Vesipesu	Kemikaalipesu	Amiinipesu	Adsorptio	Kryo	Kalvo
Metaanihävikki (%)	< 8 %	< 4 %	< 0,1 %	< 23 %	< 0,5 %	< 25 %
Sähkönkulutus (kWh/Nm ³)	0,21-0,30	0,10-0,28	0,10-0,15	0,2-0,3	0,25	0,2 – 0,3
Prosessin vaatima lämpötila (C°)	1-20	55-80	120-160	-	< -80	-
Metaanipitoisuus (CH ₄ %)	> 97 %	> 96 %	> 99 %	> 96 %	> 99 %	> 96 %
Esipuhdistuksen tarve	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Typen erotusmahdollisuus	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kapasiteettikoko (Nm ³ /h)	> 5	> 100	> 100	> 5	> 100	> 5

Taulukon arvojen avulla voidaan todeta, että sähkönkulutus teknologioiden välillä on keskimäärin jokaisessa prosessissa 0,25 kWh/Nm³ luokkaa (ellei amiinipesua oteta huomioon). Lisäksi tutkimuksen rajauksessa mahdollisen jalostuksen osalta on nojattu vesipesuri ja kalvopesuun, sillä ne ovat sekä toteutuksiltaan yksinkertaisempia, tarvitsevat energiaa lämmönkulutukseen ja eivät tarvitse monimutkaisempia kustannusmahdollisuuksia toteutukseen. Vesipesuri ja kalvopesu esitetään lyhyesti seuraavasti.

5.4.1 Vesipesuri

Vesipesuri on yleisin ja helpoin puhdistusmuoto biokaasun jalostukseen, ja siinä komponentit liuotetaan veteen vesipesulla kolonneissa. Prosessi ei vaadi esipuhdistusta, sillä komponentit liukenevat veteen metaania suuremman vesiliukoisuutensa vuoksi. Tämä perustuu Henryn lakiin, joka määrää kaasun liukoisuuden veteen. Henryn lain arvo riippuu kaasun lämpötilasta ja paineesta, mikä määrää kaasun liukoisuuden veteen. Mitä pienemmäksi Henryn lain arvo pienenee, sitä heikommin kaasu liukenee veteen. Yleisesti Henryn lain vakio voidaan laskea kaavan 4 avulla, ja sitä voidaan soveltaa vesipesureihin biokaasun jalostuksen osalta. Lisäksi täytyy ottaa huomioon, että lämpötilan noustessa kaasun liukoisuus alenee ja paineen nostaminen taas lisää sitä (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 140).

$$C_a = k_H * p_g \quad (4)$$

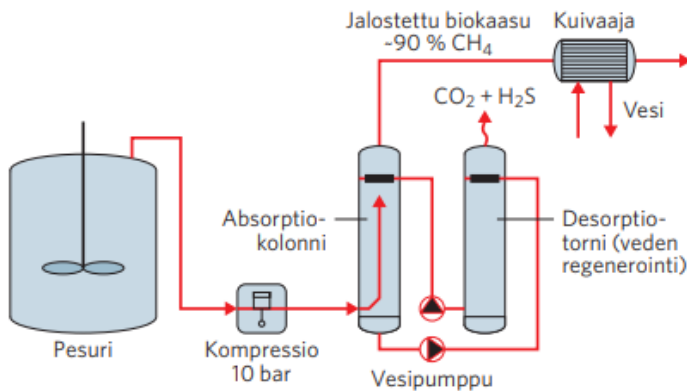
Jossa,

C_a = Kaasun konsentraatio vedessä

k_H = Henryn lain vakio (Kaasun vakio

p_g = kaasun osapaine

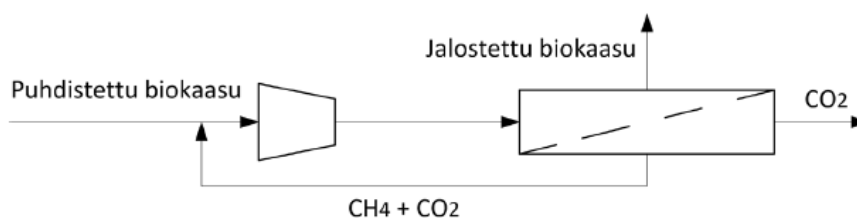
Vesipesurin toiminta on seuraava: Määdätyksestä tuleva raakakaasu paineistetaan noin 10 bar paineeseen, jonka jälkeen se ohjataan kolonniin, joka sisältää täytekappaleita. Kolonnin vastavirtaan syötetään vettä kolonnin yläosasta, jossa sekä virtauksen johdosta, että täytekappaleiden lisätessä pinta-alaa faasien välillä, lisäävät täytekappaleet kontaktipinta-alaa ja takaavat täten parhaan erotuksen metaanin ja hiilidioksidin välillä (lisäksi myös mahdollisten muiden komponenttien välillä). Puhdas metaanipitoinen biokaasu ohjautuu kolonnin huipusta kohti kuivausta, poistaen mahdollisen kosteuden pois, minkä jälkeen se kulkeutuu eteenpäin kohti käyttökohdetta. Epäpuhtauksia sisältävä vesiseos taas ohjataan toiseen kolonniin (desorptiokolonniin), jonka tarkoitus on palauttaa eli regeneroida vesi takaisin puhtaaksi, jotta sitä voidaan kierrättää ja käyttää uudestaan pesussa. (Motiva 2013, 21). Prosessin yleinen kuvaus on näkyvissä kuviossa 10.



Kuvio 10. Biokaasun vesipesurijärjestelmä (Motiva 2013, 14.)

5.4.2 Kalvo eli membraanijalostus

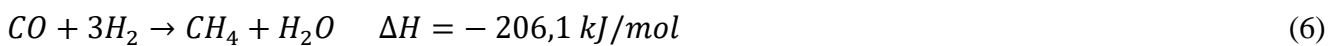
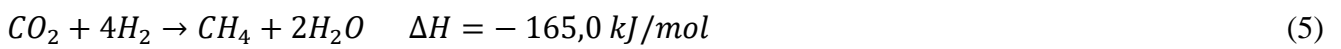
Raakakaasun kalvojalostuksessa (toisella nimellä membraanijalostus) kaasuissa olevien komponenttien eli molekyylien erotus toteutetaan kaasun molekyylien kokoerojen avulla. Yleisesti raakakaasu ohjataan varastosta rikkipuhdistuksen jälkeen kompressoriin, jossa se paineistetaan kalvoerottimen vaatimaan paineeseen. Paineistuksen jälkeen kaasu ohjataan kalvon läpi, jossa kalvoa pienemmät molekyylit kuten hiilidioksidi, läpäisevät sen, ja metaani isompana molekyylina jää kalvon toisella puolelle, josta se joko ohjataan suoraan eteenpäin prosessiin tai voidaan kierrättää uudestaan kalvoerottimessa. Yleensä mahdollisimman puhtaan metaanin saantoon erottimessa on useita kalvoja, minkä lisäksi hyödynnetään läpäisevyydeltään/huokoskooltaan erikokoisia kalvoja, riippuen raakakaasun eri komponenteista, jotka vaativat erilaisia kokoja. Yleisesti kalvojalostus ei kestä rikkioksidia ja kosteutta, joten kaasun puhdistukseen täytyy panostaa ennen kalvoerottimella tuloa. Hyvänä puolena erotuksessa on tehokkaan erotustehokkuuden lisäksi se, että ei vaadi energiaa lämmitykseen tai lisäaineita, kuten vettä, sillä se toteutetaan kaasuvirtauksen mukaan. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 150.) Prosessin yleinen kuvaus on näkyvissä kuviossa 11.



Kuvio 11. Kalvojalostuksen rakenne (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 150.)

5.5 Metanointi

Raakakaasun jalostamisen johdosta saadaan sivutuotteena hiilidioksidia, jota voidaan hyödyntää synteettisen metaanin tuottamisessa veden elektrolyysissä saadun vedyn kanssa, katalyytin avulla. Näiden kahden syötteen kemiallinen reaktio perustuu Sabatier-reaktioon (kaava 5), jossa prosessi tuottaa synteettistä metaania, sen lisäksi sivutuotteena syntyy vettä ja lämpöä, reaktion ollessa eksoterminen eli lämpöä vapauttava reaktio. Kyseinen Sabatier-reaktio (kaava 5) perustuu kaavojen 6 ja 7 summaan, missä kaava 6 esittää hiilimonoksidin metanointia ja kaava 7 veden kaasutusreaktiota. Eli reaktio (5) perustuu näiden kahden reaktion (6 ja 7) yhteiseen sitovaan reaktioon, jossa metanoituminen toteutetaan muuntamalla hiilidioksidi hiilimonoksidiksi ja sen kautta varsinainen metanoituminen tapahtuu. Kyseiset reaktiosarjojen entalpiat on annettu 1 atm paineessa, 25 °C:n lämpötilassa. Metanoinnin prosessi voidaan toteuttaa joko biologisesti erilaisten mikrobien avulla tai kemiallisesti katalyyttien avulla. (Becker, Penev & Braun 2019, 41–42.)



Jotta hiilidioksidi ja hiilimonoksidi sitoutuvat vedyn kanssa metanoinnin yhteydessä metaaniksi, saadaan kyseisen reaktio toteutumaan erilaisten katalyyttien avulla korotetussa lämpötilassa. Yleisempinä katalyytteinä käytetään rauta-, koboltti tai nikkelpohjaisia katalyyttejä, joista nikkelpohjainen on yleinen tässä prosessissa, sen selektiivisyyden ja alhaisen kustannuksen takia. (Becker, Braun ja Penev 2019, 42.) Mikrobiologisessa metanoinnissa mikrobit katalysoivat Sabatieren reaktion alhaisessa lämpötilassa.

6 MAATILALUOKAN BIOKAASULAITOKSET

Maatilojen kiinnostus oman biolaitoksen biokaasutuotantoon on kasvava, koska laitos voi siten hyödyntää maatilojen sivuvirtoja tehokkaasti omaan käyttöön, joka mahdollistaa siten maatilalle sen energiaomavaraisuuden. Nykyisen polttoaineiden ja sähkön hinnan nousun johdosta, biokaasulaitos takaa siten kannattavan omavaraisen energiatuotannon. Tämän lisäksi valtio tukee uusiutuvia energiamuotoja tähdäten hiilineutraalimpaan tulevaisuuteen ja suosien uusiutuvien energialähteiden tuotantoa Valtion myöntämä tuki maatilaluokan biokaasulaitoksille on aiemmin ollut jo 40 %, toukokuun 3.5.2021 jälkeen tuki nousi 50 %. (Hohteri, 2021.) Biokaasun tuotanto maatilamittakaavassa on osoittanut kannattavaksi investoinniksi, tehden tilasta energiaomavaraisen Mahdollisuus hyödyntää tulevia sivuvirtoja tehokkaasti, on lisännyt kiinnostusta biokaasulaitoksen toteutuksen maatilojen keskuudessa.

6.1 Maatilaluokan tukiratkaisut biokaasulaitokselle

Maatilaluokan biokaasulaitoksen toteutukseen ja sen kautta investointitukihakemiseen, täytyy ottaa huomioon tulevan laitoksen tuotto ja sen käyttö, eli mihin laitoksen tuotettavaa biokaasua hyödynnetään ja kenen käyttöön. Nykyiset tukiratkaisut biokaasulaitoksille, joita myönnetään maatilalla tai maaseutuyrityksen mittakaavassa voidaan jakaa kolmeen luokkaan, joita ovat seuraavat:

1. Maa- ja metsätalousministeriö myöntämä Maatilan rakennusinvestointituki, joka takaa rahoitusta maatilalla tai maatilojen yhteenliittymään. Rahoituksella tuetaan maatilan työympäristöä, työtilaa tai energiantuotantoa edistäviä investointeja. Tuen rahoitus kohdistuu vain maatilan oman käytön ja tuotannon investoinnin tarpeisiin. Maatilan ympäristön ja eläinten hyvinvoinnin lisäämisen lisäksi tuotannon hygienian parantamisen investointeihin voidaan saada 30–35 % tukea ja energiatuotannon investointeihin 40 %. Maatalouden luokassa taas biokaasun tuotannon laitteiston investointeihin voidaan saada tällä hetkellä tukea jopa 50 %. Tukea voidaan hakea jatkuvasti ja hakemuksia käsitellään tukijaksoittain. Tukea haetaan Ruokaviraston Hyrrä-asiointipalvelusta, josta varsinaisen päätöksen rahoitukseen tekee ELY-keskus. (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2021.)

2. Maa- ja metsätalousministeriö myöntää myös Maaseudun yritysrahoitusta, jolla tuetaan maaseutualueen omia mikro- ja pienyrityksien toiminnan kehittämistä, joilla edistetään uusiutuvan energian tuotannon käyttöönottoa tai niiden tehokkuutta. Investointien rahoitukset tulevat EU:n elpymisvaroista, jolla pyritään sekä lieventämään koronakriisin aiheuttaman talousahdinkoa, että kannustamaan maatilojen työympäristöön ja uusiutuvan puhtaan energiatuotantoon. Tavalliset yritykset, jotka jalostavat maataloustuotteita, voivat saada 35 % tukea. Muut maaseudun mikro- ja pienyritykset tuet investointiin ovat 30 % (Ruokavirasto 2022). Biokaasulaitoksen tuotantoon kohdistuvia investointeja rahoitetaan 50 %. Tukea haetaan Ruokaviraston Hyrrä-asiointipalvelusta, jossa varsinaisen päätöksen rahoitukseen tekee ELY-keskus. Tukia on haettavissa vuoden 2022 loppuun saakka. (Suomen Biokierto ja Biokaasu ry 2021.)

3. Työ- ja elinkeinoministeriö myöntää Energiatukea, joka kohdistuu erityisesti suurten mittakaavojen uusiutuvien energiatuotantoihin, jotka sisältävät Business Finlandin kautta välitettävän biokaasulaitoksen energiätuen. Suuriin energiainvestointi- ja energiainfrastruktuurihankkeisiin, joiden hyväksyttävät kustannukset ylittävät 5 miljoonaa euron investoinnit, käsitellään ministeriön kautta. Rahoitus tulee Suomen elpymis- ja palautussuunnitelmasta, jonka hakemukset käsitellään ensimmäisessä hakukierroksessa. Hakemuksien viimeinen päivämäärä oli 4.3.2022 ja ne käsitellään 2022 kesän aikana. Seuraavan hakukierrokseen yli 5 miljoonien eurojen uusiutuvien energiaturkihakemuksien hakuun järjestetään Työ- ja elinkeinoministeriön järjestämä verkkotilaisuus 3.5.2022 uusille hakijoille. Uudet hakemukset pitää jättää Business Finlandin hakujärjestelmään 31.8.2022 klo 16:15 mennessä. (Alm 2022.)

Alle 5 miljoonan hankkeen investoinnit käsitellään Innovaatorahoituksen Business Finlandin normaalin energiaturkihaun kautta, jota voidaan hakea normaalisti energiaturkena. Biokaasuhankkeiden tukiprosentti on ollut viime vuosien aikana keskimääräisesti 27 % ja uutta teknologiaa hyödyntävissä hankkeissa taas tukiprosentti 30 %. Maatila taas voi käyttää osakeyhtiömuotoisen rahoitetun biokaasulaitoksen energiaturkiantuotantoinvestointeihin omaan käyttöön enintään 20 %. (Alm 2022.)

Ennen Energiamarkkinavirasto myönsi myös vuodesta 2011 alkaen tukea syöttötariffijärjestelmänä, jonka tarkoituksena oli tukea sähköntuotantoa uusiutuvilla energiamuodoilla. Syöttötariffijärjestelmä sulkeutui uusien energiatuotantomuotojen osalta ensin vuonna 1.11.2017 tuulivoimaloiden osalta, jonka jälkeen 1.1.2019 alkaen biokaasu- ja puupolttoaineiden. (Motiva 2020.)

6.2 Biokaasulaitoksen yleiset luvat

Biokaasulaitoksen perustamiseen ja toteuttamiseen tarvitaan sen vaatimat taustaselvitykset ja luvat, joiden pohjalta voidaan varmistaa laitoksen kannattavuuden lisäksi sen oikeanlainen ja turvallinen toteutus käytännössä. Biokaasulaitokset maatilaluokassa käsittelevät pääosin eläinperäistä biomassaa eli lantaa tai peltobiomassaa, josta prosessin eli mädätyksen yhteydessä syntyy energiatuotantoon sopivaa biokaasua ja lannoitteeksi soveltuvaa mädätysjäännöstä. Mädätysjäännöstä voidaan joko hyödyntää laitoksen omiin tarkoituksiin pelloille tai myydä eteenpäin. Biokaasua hyödynnetään ensisijaisesti suoraan laitoksen omiin tarpeisiin sähkön- ja lämmöntuotantoon, ja ylimääräinen sähkö voidaan myydä eteenpäin. Lisäksi biokaasua voidaan jalostaa liikennepolttoaineeksi omaan tai yleiseen käyttöön.

Yleisellä tasolla biokaasulaitoksen maatilaluokan mittakaavassa tarvitaan seuraavat luvat, jotka sisältävät sekä maatilaluokan biokaasulaitoksen sisältämät kemikaalit, niihin liittyvät toimenpiteet ja tarvittavat luvat, joka siten takaisi sekä kannattavan, että turvallisen toteutuksen ja käytännön sen toimivuuteen:

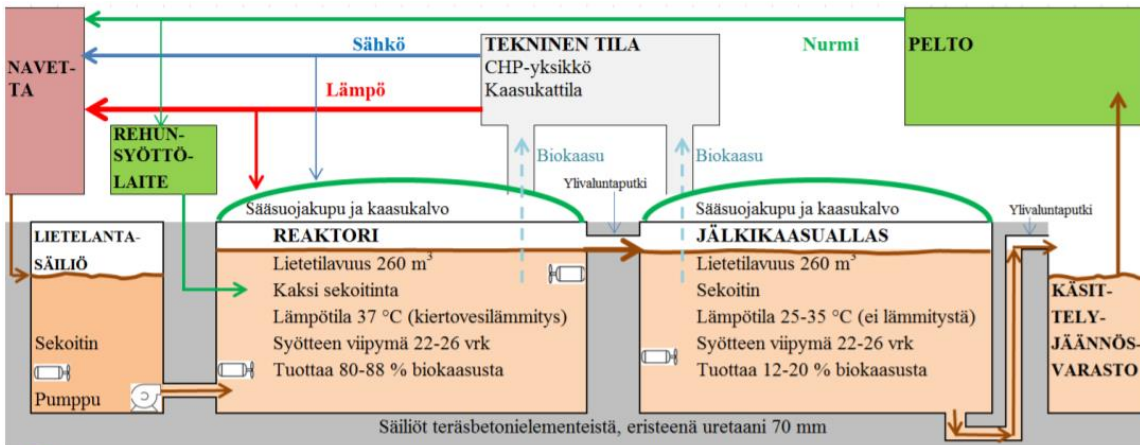
1. Laitoshyväksyntä ja Elinkeinoilmoitus (LIITE 1).
2. Rakennus- tai toimenpidelupa (LIITE 2).
3. Ympäristölupa (LIITE 3).
4. Pelastussuunnitelma (LIITE 4)
5. Ilmoitus pelastusviranomaisille (LIITE 5).
6. Räjähdyssuojasiakirja (LIITE 6).
7. Sopimukset sähkö- ja verkkoyhtiön kanssa. (LIITE 7).

6.3 Maatilaluokan biokaasulaitos

Maatilakohtaisen biokaasun energiatuotantolaitoksen yleisin prosessimuoto on jatkuvatoiminen märkäprosessi, jossa raaka-ainetta syötetään ja tyhjennetään säännöllisen väliajoin, jolla pyritään jatkuvaan prosessiin ja mahdollisimman tasaiseen ja hyvään biokaasuntuotantoon. Näin kiertokulku on jatkuva-
muotoista, ja siten vältytään turhilta viiveiltä ja saadaan tuotettua tehokkaasti tuotteita (Kymäläinen ja Pakarinen 2015, 83).

Prosessin kiertokulku hahmottuu paremmin seuraavalla sivulla näkyvässä maatilakohtaisessa prosessikuviassa 12, jossa tuotannon jokainen vaihe hyödynnetään tehokkaasti. Prosessi lähtee liikkeelle raaka-aineen esikäsittelystä, jossa raaka-aine käsitellään oikeanlaiseen muotoon, joka soveltuu siten mädätykseen. Eläinperäisestä lähteestä tuleva lietelanta ei tarvitse varsinaista esikäsittelyä, vaan se voidaan kerätä esisäiliöön, jossa se sekoitetaan tasalaatuisiksi muiden lietelantojen kanssa, ja se voidaan siten pumpata suoraan reaktoriin. Mikäli käytetään kuivikelantaa tai kasvipohjaista biomassaa, täytyy syöte hienontaa pienempään muotoon erilaisilla silppureilla ja murskaimilla, jotta se liikkuisi paremmin pumpussa ja sille tarkoitetulla syöttölaitteessa. Lisäksi hienonnusta vaaditaan, jotta biomassaa sekoittuisi paremmin reaktorissa metaanin tuottamisen parantamiseksi, eikä aiheuttaisi tukosta lapoissa. Reaktorissa tapahtuu anaerobinen hapettuminen eli mädätys, jossa hapettomassa tilassa, korotetussa lämpötilassa ja avustetun sekoituksen avulla saadaan tuotettua biokaasua. Koska prosessi on jatkuvatoimista, syötetään raaka-ainetta jatkuvasti. Täten myös reaktoria täytyy tyhjentää samassa suhteessa, mutta aineiden hajoaminen tarvitsee oman aikansa biokaasun tuottamiseen. Tämän johdosta samassa suhteessa syötettyä materiaalia ohjataan reaktorista ylivuotona jälkikaasualtaaseen, missä se voi jatkaa hajoamista samoissa olosuhteissa kuin reaktorissa, mutta ilman lämmitystä, tuottaen biokaasua. Lopuksi prosessissa jäänyt kiintoaine eli mädäte ohjataan pumpun avulla käsittelyvarastoon, jossa se voidaan esikäsitellä separoinnilla neste/kuivikejakeiksi, jalostaa uusiksi tuotteiksi tai soveltaa sitä suoraan lannoitteeksi pelloille. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 85.)

Biokaasu voidaan varastoida ja käyttää sellaisenaan eli raakana suoraan reaktorista, laitoksen omassa CHP-kaasukattilassa, jolla saadaan tuotettua sekä sähkö ja lämpöä. Näitä voidaan hyödyntää reaktorin käymiseen tai maatilan omaan kulutukseen. Lisäksi kaasu voidaan puhdistaa ja jalostaa liikennekäyttöön, joka voidaan myydä siten muille tai ottaa ja varastoida omaan käyttöön. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 85.)



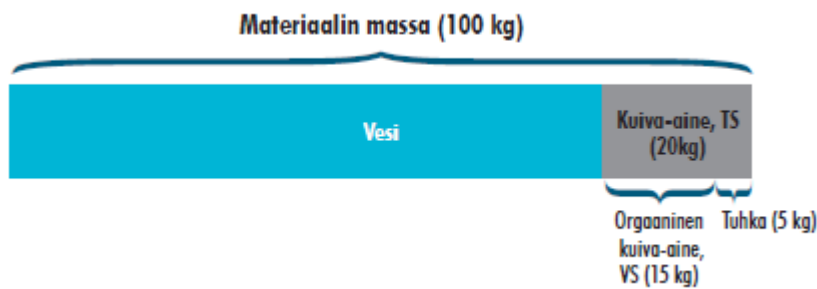
Kuvio 12. Maatilaluokan laitoksen aineiden kiertokulku (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 85.)

6.4 Raaka-aineet

Biokaasuun tuotantoon soveltuu mikä tahansa eloperäinen eli orgaaninen aine, joka hajoaa luonnostaan biokaasuksi, mutta sen soveltavuuteen ja kannattavuuteen isomman energiamuodon mittakaavassa sekä laitoksilla, että mautiloilla, vaikutetaan syötteen valinnalla ja muodolla. Biokaasun tuotantoon ja koostumukseen vaikuttaa merkittävästi siihen käytettävä raaka-aine, joka vaikuttavat sen metaanipitoisuuteen ja siitä syntyvän mädätteen laatuun, mikä vaikuttaa siten sen käsittelyyn.

Biokaasun raaka-aineen anaerobiseen hapetukseen eli mädätyksen prosessin laatuun ja valintaan vaikutetaan syötteen materiaalin massalla, jota kutsutaan märkäpainoksi. Materiaalin massa koostuu suurimmaksi osasta vedestä ja loput kuiva-aineesta (TS). Biokaasun tuotanto eli biokaasua syntyy kuiva-aineen hajotessa, mutta sen hapettuminen tarvitsee kosteutta eli reagoimista veden kanssa, hydrolyysin toteutumiseen. Kuviossa 13 on tyypillinen materiaalin massan koostumus, jossa nähdään sen koostuvan vedestä ja kuivasta-aineesta. Lisäksi kuiva-aine koostuu hapettuvasta orgaanisesta aineesta ja ei hapettuvasta aineesta eli epäorgaanisesta aineesta eli tuhkasta. Reaktion jälkeen mädätysjäännös koostuu vedestä, hajoamattomasta orgaanisesta aineesta ja tuhkasta. Tuotannon parhaaseen mahdolliseen toimivuuteen vaikutetaan syötteen VS/TS-suhteella. Mitä suurempi suhde on, sitä helpommin VS eli orgaaninen aine hajoaa prosessissa ja biokaasua saadaan tuotettua parhaalla tavalla. Laitoksen reaktorisyötteen hallinta materiaalin massan tiedoilla on tärkeää, sillä siten voidaan eri syötelaatujen avulla muodostaa oikeanlainen ja toimiva seos prosessille, jossa syöteseoksen kuiva-ainepitoisuutta voidaan sekä

hallita, että asettaa sopivalle tasolle, joka ei välttämättä tarvitse laimennusvettä tai voidaan säätää tarvittaessa sitä lisättäessä seokseen. (Kymäläinen ja Pakarinen 2015, 23–24.)



Kuvio 13. Biomassan materiaalien osuudet (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 23.)

6.5 Metaanintuottopotentialit maatilalla

Maatilaluokan biokaasun tuotanto muodostuu pääsääntöisesti maatilalan oman eläinperäisestä ja kasvi-biomassojen yhteistuotannosta, jonka lisäksi voidaan tuottaa oman tilan pelloilla energiakasveja, joiden käyttökohte perustuu biokaasun tuottamiseen.

6.5.1 Lanta

Eläinperäistä syötteen metaanintuottopotentiali on alhainen verrattuna kasvibiomassoihin, mikä johtuu siitä, että eläin on kasviperäisestä ravinnostaan eli rehusta hyödyntänyt siinä olevan orgaanisen aineen, josta siten pääosin hajoamaton aines päätyy jätteeseen eli lantaan. Hyvänä puolena on se, että lantoja muodostuu tasaisesti vuoden aikana maatilalla, joka on syötteenä ja metaanintuotantoltaan siten sopiva raaka-aine biokaasun tuottamiseen. Lantojen tyypeissä, muodoissa ja sen metaanintuottopotentialeissa on eroja eri eläinlajeista riippuen, joka riippuu eri eläinlajin ravinnoista ja tavasta hyödyntää ravinnossa olevaa orgaanista aineista. Esimerkiksi naudat hyödyntävät hyvän ruuansulatuksen johdosta enemmän rehussa olevaa orgaanista ainesta kuin siat, minkä johdosta sikojen lannan metaanintuottopotentialiarvot ovat korkeammat, mitä naudat lannan. Lisäksi lannan metaanintuotto riippuu sen kosteudesta. Lanta voidaan siten se jakaa vielä lietelannaksi ja kuivikelannaksi. Lietelanta sisältää runsaasti vettä, koska siihen sekoitetaan eläinperäisen sonnan ja virtsan lisäksi eläinsuojan pesuvedet, minkä johdosta lanta laimenee, ja on siten tuorepainoa kohden alhainen. Kuivikelanta koostuu kiinteästä ja kuivasta eläinperäisestä lannasta, minkä johdosta metaanintuotto on tuorepainoa kohti korkeampi kuin lietelannan. Lantojen tyyppi vaikuttaa täten laitoksen toimintaan, minkä johdosta se voidaan jakaa kahteen prosessiin:

märkä- tai kuivaprosessiin. Märkäprosessi soveltuu vain lieteperäiselle lannalle, sen kosteuden vuoksi, jolloin kuivikelantaa ei voida pelkästään soveltaa. Kuivaprosessi soveltuu sekä kiinteälle kuivalannalle tai se voidaan soveltaa myös lietelannan kanssa yhdessä kuivaprosessissa, riippuen prosessin halutusta toiminnasta sen kosteuden mukaan, jolla varmistetaan metaanituottopotentialin haluttu laatu. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 33–37.)

6.5.2 Kasvibiomassat

Peltobiomassat ovat toinen merkittävä metaanituottopotentialien lähde maatilaluokassa, jota voidaan sekä kasvattaa varta vasten biokaasun tuotantoon tai sitä saadaan hyödynnettyä tehokkaasti muun kasvituotannon ohella, joko kasvijätteistä tai ylimääräisen sadon johdosta. Se on korkeamman orgaanisen aineen pitoisuuden vuoksi parempi raaka-aine biokaasuntuotantoon kuin lanta. Peltobiomassan saatavuus vuoden eri aikoina on kuitenkin rajallinen verrattuna lantaan, jota syntyy eläimistä joka päivä. Suomessa potentiaaliset metaanin tuottoon soveltuvat kasvit eli energiakasvit ovat nurmi ja olki. Suomessa nurmea tuotetaan merkittäviä määriä rehuntuotannossa. Myös monien tuotantojen sivutuotteena syntyy nurmea, kuten kesantonurmet, hoidetuilta viljelemättömiltä pelloilta tai suojavyyhykkeiltä, jotka yleensä jäävät hyödyntämättä. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 37–38.)

Lisäksi viljanviljelyssä muodostuu suuria määriä olkia, jota hyödynnetään vain kuivikkeena tai pääosin jätetään vain peltomaahan. On arvioitu, että olkea muodostuisi jopa 4,8 miljoona tonnia tuorepainoa kohti vuosittain. Oljen tuorepaino muodostuu koko oljesta ja on arvioitu, että pellosto pois kerättäviä olkia olisi jopa 60 %. Olki on metaanituottopotentialina arvokas raaka-aine, sillä se on kuiva-ainepitoisuudeltaan 86–90 %, josta orgaanisen aineen pitoisuus on 92 %. Täten olki on metaanituottopotentialina merkittävä raaka-aine, jos se osataan hyödyntää ja ohjata oikein biokaasun tuotantoon. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 38.)

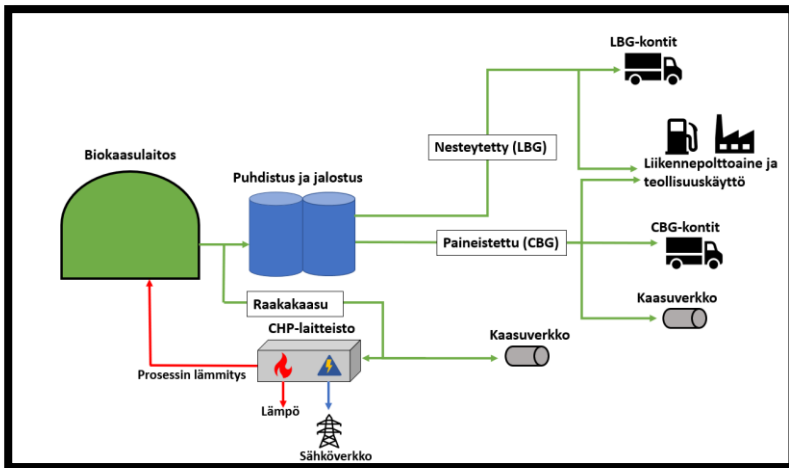
Taulukosta 8 nähdään sekä eläinperäisten, että kasvipohjaisten orgaanisten raaka-aineiden metaanituottopotentialiaaleja sekä orgaanista ainetta, että märkäpainoa tonnia kohden. (Kymäläinen ja Pakarinen, 2015, 36–38.)

Taulukko 8. Maatilaluokan yleisiä metaanituottopotentialiaaleja. (Mukaiillen Kymäläinen & Pakarinen, 2015, 36–39.)

Materiaali	m ³ CH ₄ (tonnia, orgaanista ainetta)	m ³ CH ₄ (tonnia, märkäpaino)
Naudan lietelanta	120–300	10–20
Naudan kuivalanta	126–250	24–55
Sian lietelanta	180–490	12–24
Sian kuivalanta	162–270	33–39
Siipikarjalanta	250–300	42–156
Olki	240–320	199–260
Nurmi	213–410	72–104
Ruokohelpi	253–351	47–116
Maissi	312–410	-
Sokerijuurikkaat (naatit)	340	34

6.6 Biokaasun kuljetus ja varastointi

Biokaasua voidaan kuljettaa paikasta toiseen joko putkiverkoston pitkin, tai maa/meriteitse paineistettuna (CBG) tai nesteytettynä (LBG). Eri kuljetusmuodot ovat paremmin hahmotettavissa seuraavassa kuviossa 14. Kaasun kuljetus laitokselta putkiverkoston pitkin yleisiin muihin käyttökohteisiin puhdistusvaatimukset eivät ole korkeat, sillä sitä voidaan kuljettaa joko raakana, puhdistettuna, jalostettuna tai näiden seoksena, sillä silloin biokaasun eri komponentit (rikki ja hiilidioksidi) eivät aiheuta putkistossa ongelmia. Kaasun käyttökohde ratkaisee kaasunpuhdistusvaatimuksen, riippuen sovelletaanko raakakaasua, sille tarkoitettulle ominaiselle energiatuotantoyksikölle (CHP) tai kuljetukseen puhdistus/jalostusyksikölle. Varsinaiseen julkiseen ja liikennepolttoainekäyttöön täytyy se puhdistaa ensin mahdollisista epäpuhtauksista ja jalostaa sen metaanipitoisuutta tarpeeksi, joka siten soveltuu energiakäyttöön liikenteeseen ja muihin käyttökohteisiin. Puhdistettu/jalostettu biokaasu voidaan yhdistää paikalliseen metaaniverkostoon. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 128.)



Kuvio 14. Biokaasun kuljetusmuodot (Mukaillen Kaasuyhdistys, 4–5.)

Biokaasun kuljetus sekä paineistettuna, että nesteytettynä tapahtuu niille suunnitelluilla ja standardoituilla kuljetuskonteilla, joihin täytyy ottaa huomioon Tukesin (eli Turvallisuus- ja kemikaaliviraston) määräykset vaarallisten aineiden kuljetuksesta. Biokaasu paineistetaan noin 250–300 bar:iin, jolloin sen tilavuus pienenee, ja kapasiteettitila sekä varastointiin että kuljetukseen kasvaa. Biokaasun kuljetus nesteytettynä tapahtuu siten, että biokaasun lämpötila lasketaan -162 °C , jolloin se alkaa nesteytyä. Nesteytettynä biokaasun energiatiheys vastaa 600 bar:n paineistettua biokaasua (eli tilavuus on 600 kertaa pienempi), jolloin sitä saadaan sekä enemmän kuljetettua, että sen kuljetus energiatehokkaampana on kannattavampaa. (Kaasuyhdistys.)

Kuljetukseen ja varastointiin pitkällä aikavälillä LNG ei sovellu, sillä metaanin alhaisen kiehumispisteen vuoksi se alkaa herkästi höyrystyä, jolloin sitä menee hukkaan. Tällöin se varastoinnin kannalta täytyisi käyttää parin päivän sisällä. Paineistettuna kaasu soveltuu pitkäaikaiseen varastointiin, koska se pysyy samassa muodossa koko ajan, eikä siten katoa/reagoi herkästi tiiviissä varastotilassa. Lisäksi paineistettuna biokaasua voidaan kuljettaa jalostetun lisäksi myös puhdistettuna, jolloin biokaasun esikäsittely ei tuottaisi kustannuksia, sillä nesteytettynä biokaasun täytyy olla jalostettua.

Paineistuksen ongelmaksi muodostuu hiilidioksidin osalta sen nesteytyminen paineen noston seurauksena ja lämpötilan vaihtelun takia, jolloin puhtausvaatimukseksi raakakaasun siirtoon nousee korkeaksi, ja tämän johdosta hiilidioksidin määrä kaasuseoksessa täytyy olla todella vähäinen.

Biokaasun kuljetus paineistettuna toteutetaan siten, että kaasu paineistetaan noin 200–250 bar paineeseen, jolloin sen tilavuus pienenee, minkä johdosta kaasua voidaan varastoida mahdollisimman paljon.

Voidaan paineistetun ja nesteytetyn kaasun kuljetukseen ja varastointiin eroja todeta seuraavasti:

- ➔ Paineistettuna kaasua voidaan varastoida kauemmin, mitä nestettä, sillä metaanin höyrystyy sen reagoiessa veden kanssa, johtaa seoksen voimakkaaseen kiehumiseen ja höyrystymiseen.
- ➔ Paineistettu kaasun tilavuus pienenee, jolloin voidaan varastoida enemmän.
- ➔ Nesteytettynä kaasu lämpötila alennetaan -162 °C , jonka johdosta tilavuus kaasuun verrattuna 600-kertainen. Tämän johdosta nesteytetty kaasu on energiasisällöltään suurempi ja siten kannattavampaa.
- ➔ Biokaasun rikkiyhdisteet ja mahdollinen kosteus aiheuttavat korroosiota -> Paineen kasvaessa puhtausvaatimukset tarkentuvat ja tiukennevat.

7 BIOKAASUN KOOSTUMUS, KÄSITTELY JA KÄYTTÖTURVALLISUUS

Biokaasu on muodoltaan useiden aineiden kaasuseos, joten täytyy sen käyttöön, varastointiin ja jakeluun otettava huomioon sen kaasuseosten eri aineet, niiden turvallinen varastointi/käsittely ja sen käyttäytyminen eri olosuhteissa, jota pyritään noudattamaan sille laadittuja lainsäädäntöjä turvallisen käytön takaamiseksi. Tässä luvussa käydään läpi biokaasun koostumusta ja sen vaikutusta sen käsittelyyn lainsäädäntöjen noudattaen.

7.1 Biokaasun käsittelyn, varastointi ja jakelun lainsäädännöt

Biokaasun käsittelyyn ja varastointiin vaikuttavat sen eri pitoisuudet, jonka merkittävin luokittelu vaikuttaa sen metaanipitoisuus. Biokaasun tuotannossa ja käsittelyssä täytyy noudattaa Tukesin laatiman säädöslakia vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden turvallisesta käsittelystä (390/2005) ja valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien käsittelystä ja varastoinnin valvonnasta (685/2015). Mikäli biokaasun metaanipitoisuus on 80 % <, luetellaan se maakaasuksi, joka noudattaisi siten sen käsittely ja varastointi samoja lainsäädäntöjä, mitä maakaasun kanssa. Tämä noudattaa Valtion asetusta maakaasun käsittelyn turvallisuudesta 551/2009 ja Valtioneuvoston asetus maakaasu-, nestekaasu- ja öljylämmityslaitteistojen asennus- ja huoltotoiminta sekä maanalaisten öljysäiliöiden tarkastus harjoittavien hyväksymisestä 558/2012. (Tukes 2022.)

Raakakaasua (metaanipitoisuus alle 80 %) kohden sen valmistusta, käyttöä ja varastointia kohden noudatetaan asetuksen 685/2015 lakia, joka kattaa biokaasun yleisen tuotannon vaatimat menettelyt ja laitteistot (Tukes 2022), kuten:

- Reaktorin ja sen käytön
- Kaasun varastoinnin
- Puhdistus ja jalostusyksikön
- Kaasun kompressoinnin
- Konttien täyttämisen ja tyhjentämisen
- Biokaasun kattilassa polttaminen

Biokaasun varastointiin tarvitaan Tukesin myöntämä rakentamislupa, jolla pyritään täten varmistamaan laitteistojen turvallisen sijoittelun lisäksi, ulkopuolisen toiminnan huomioiminen. Tukes käsittelee biokaasua maakaasuasetuksen mukaan (Tukes 2022), kun:

- ➔ Biokaasu ohjataan jalostusyksikön jälkeen laitoksen ulkopuolelle (koskee sekä raaka, että jalostettua biokaasua)
- ➔ Biokaasun tekninen käyttö laitoksen ulkopuolella
- ➔ Biokaasulaitoksen liittyvä ja käyttö julkisella biokaasun tankkausasemalla
- ➔ Biokaasun talteen ottaminen kaatopaikalta, josta soveltaminen alkaa keräysputkiston jälkeisestä keräilytuista

Biokaasun varastoinnin luparajat raakakaasun ja jalostetun kaasun välillä on eroja, jotka ovat näkyvissä seuraavassa taulukossa 9, jotka noudattavat 685/2015 ja 551/2009 lainsäädäntöjä, joidenka pohjalta ilmoitus ja lupa hankittava tämän toteutukseen.

Taulukko 9. Biokaasun varastoinnin ilmoitus- ja luparajat raaka-alle ja jalostetulle. (Mukaiillen Tukes 2022.)

Biokaasun laatu/lupa menettely	Ilmoitus Tukesille	Lupa Tukesilta	Toimintaperiaatekirjalaitos (lupa Tukesilta)	Turvallisuusselvityslaitos (lupa Tukesilta)
Raaka ja puhdistettu biokaasu (alle 80 %)	1–5 tonnia	5–10 tonnia	10–50 tonnia	yli 50 tonnia
Jalostettu biokaasu (yli 80 %)	0,2–5 tonnia	5–50 tonnia	50–200 tonnia	yli 200 tonnia

Ennen laitoksen käyttöönotto on laadittava pelastussuunnitelma, jolla pyritään ennaltaehkäisemään vaaratilanteet, vaaratilanteen sattuessa vaatiman toimenpiteet ja tulipalon sammutuksen vaatiman välineistöt. Myös täytyy laatia räjähdysuoja-asiakirja (biokaasuseoksen sisältämän herkästi syttyvän metaanin johdossa ja muiden vaarallisten kemikaalien käsittelyssä), jonka tarkoituksena on antaa yleiskuva laitoksella käsiteltävien kemikaaleista ja niiden ominaisuuksista, joidenka pohjalta voidaan tehdä arvioita vaarojen ja onnettomuuksien varalta, jolla siten taataan turvallinen käsittely kemikaalien kanssa, välttyen onnettomuuksilta. Räjähdysasiakirjaa ei tarvitse toimittaa viranomaisille, mutta se on

laadittava valtioneuvoston asuksen 576 / 2003 kohdan 8§ nojaten. Räjähdysasiakirja ja pelastussuunnitelman eri näkökulmien valossa täydentävät toisiaan, jonka johdosta voidaan laatia selkeä asiakirja ilmoituksen tekemiseen viranomaisille.

7.2 Räjähdyksivaaralliset tilojen ATEX-asetukset

Biokaasun toiminnassa ja laitoksen laitteiden kanssa täytyy noudattaa ATEX-direktiivien 1999/92/EY asetusten mukaan, joka käsittelee räjähdyksivaarallisia tiloja ja niissä toimivia laitteita. Asetuksen säädöksellä varmistetaan, että räjähdyksivaarallinen tila on asetusten mukainen, jonka tilassa voidaan työkennellä turvallisesti ja se ei vaaranna työntekijöiden terveyttä. Räjähdyksivaaralliseksi tilaksi luokitellaan tila, missä voi joko esiintyä erittäin helposti syttyvä ja räjähtävä ilmaseos tai siellä käsitellään palavia ja räjähdysherkkiä nesteitä. Biokaasulaitos harjoittajan on alustavasti laadittava räjähdyssuoja-asiakirja, joka kattaa laitoksen tuotantoprosessit, siellä käsiteltävien vaaralliset kemikaalit ja niiden ominaisuuksia. Tällä voidaan alku kartoittaa laitoksen prosessissa tapahtuvat vaiheet, jotka voivat aiheuttaa vaaratilanteita kemikaalien kanssa, erityisesti missä ja kuinka kauan voi esiintyä räjähdykselpoinen ilmaseos eli tässä tapauksessa metaanipitoinen biokaasuseos, joka on helposti syttyvä. (Tukes 2022.)

Biokaasulaitoksen harjoittajan on tehtävä tilaluokitus kaikissa Ex-tiloissa (räjähdyksivaarallinen tila) jonka tiloissa voi sekä muodostua ja varastoidaan, että käsitellään vaarallista ja räjähdykselpoista ilmaseosta, jossa työntekijöiden turvallisuuden takaamiseksi vaaratilanteiden ja onnettomuuksien ehkäisemiseksi on tarpeen. Ex-tiloihin luokitellaan kaikki sekä prosessit, että teollisuustuotannot, joissa sekä valmistetaan, että käsitellään lisäksi varastoidaan palavia nesteitä ja kaasuseoksia. Tilaluokituksen arviointiin sovelletaan vaarallisten kaasujen ja höyryjen kanssa standardia SFS-EN 60079-10-1, palavien nesteiden ja kaasujen kanssa standardia SFS 59, ja lopuksi SFS-EN 60079-10-2, joka käsittelee tiloja, joissa voi esiintyä räjähdykselpoisia tai palavia pölyilmaseoksia. Jokaisen räjähdyksivaaralliseksi tilaksi luettelut tilat on merkittävä räjähdyksivaarallisten tilojen merkinnällä asetuksen 390/2005 mukaan (Taavitsainen 2006, 78.) Yleinen Ex-tilojen luokitus on näkyvissä seuraavassa taulukossa 10.

Taulukko 10. Tilaluokitusvyöhykkeet. (Mukaillen Tukes 2017, 16–18.)

Tilaluokat	Tilan määritelmä	Esimerkkitalat
Tilaluokat 0 ja 20	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn, pölyn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.	Kaikkien säiliöin, putkistojen ja laitteiden sisätilat.
Tilaluokat 1 ja 21	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn, pölyn tai sumun muodossa oleva palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.	0-luokan ympäristön läheisyys. - Prosessien syöttö-, täyttö ja tyhjennysaukkojen läheisyys - Helposti rikkoutuvien laitteiden, suojausjärjestelmien tai muu komponenttien läheisyys. - Pumppujen, venttiilien ja muiden luukkujen tiivisteholkkien läheisyys. - Näytteenottoaikkojen läheisyys
Tilaluokat 2 ja 22	Tila, jossa ilman ja kaasun, höyryn, pölyn tai sumun muodossa olevan palavan aineen muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen esiintyminen normaalitoiminnassa on epätodennäköistä ja se kestää esiintyessään vain lyhyen ajan.	0- tai 1-luokkien läheisyyden tilat, näiden liitokset tai poistopuoliaukot. (esimerkiksi ilmanvaihtokanavat).

Taulukon tilaluokat 20, 21 ja 22 koskevat pääsääntöisesti ilman ja pölyseoksen aiheuttamia mahdollisia palavia räjähdysvaaroja ja tilaluokat 0, 1 ja 2 taas ilman ja kaasu, höyryn tai sumun muodostavaa palavaa ja räjähdysherkkää seosta, jotka koskevat yleistä biokaasulaitoksen vaaraluokkaa, mutta tilan vaarallisuus luokitellaan samoiksi, jonka johdosta otettiin mukaan vertailuun (TUKES 2017, 17).

Edellä mainitut Ex-luokittelutilat täytyy ottaa huomioon laitevalintojen kanssa, jossa laitteet joutuvat alttiiksi, jotka joutuvat sekä kestävämpään tilaan käsiteltäviä kemikaaleja, tilan lämpötilaa ja painetta, lisäksi näiden ominaisuuksien vaihtelua. Näiden tilojen laitteiden on noudatettava ATEX-laitesäädöksiä, jotka määrittävät Ex-tilojen käytettäviä laitteita, jotka siten soveltuvat tilan käsiteltäville nesteille, kaasuille, pölyille tai näiden seoksille eri tiloissa. Näiden Ex-tilojen laitteiden täytyy noudattaa asetusta 1139/2016 (Laki räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettujen laitteiden ja suojausjärjestelmien vaatimustenmukaisuudesta) seuraavasti (Tukes 2017):

1. Laitteen valmistajan tiedot näkyvillä: Tyyppi-, erä- tai sarjanumero, jonka avulla voidaan tunnistaa valmistaja.
2. CE- ja Ex-merkintä.
3. Laiteryhmä ja -luokkaa esittävä tunnus tai merkintä, jonka lisäksi näyttää räjähdysvaaraa aiheuttava aine ja sen muoto.
 - Ryhmä I: Laitteet, jotka on tarkoitettu tiloihin, missä räjähdysvaaraa voi aiheutua kaasusta, pölystä tai näiden seoksesta.
 - Ryhmä II: Biokaasun sisältämän metaanipitoisuuden johdosta, käytetään tämän luokan laitteita, jotka vielä jaetaan 3 eri luokkaan:
 - 1 laiteluokka: Laitteilla tarvittava korkea suojataso, joka kestää normaalikäytön lisäksi satunnaisissa häiriötilanteissa
 - 2 laiteluokka: Laitteilla tarvittava keskikohtainen suojataso, joka kestää normaalikäytön lisäksi mahdollisia ennakoitavia häiriö- ja toimintavikoja.
 - 3 laiteluokka: Laitteilla vaadittava normaali turvataso, jossa mahdollisia vaarallisia ilmakaasuseoksia ei esiinny tai joudu alttiiksi vaaratilanteille harvoin.
4. Kaikki välttämättömät käyttöturvallisuustiedot
 - Laiteryhmän II kohdalla luokitteluun täytyy ottaa huomioon seuraavat standardit:
 - Lämpötilaluokittelu eli laitteen sallima suuri lämpötila noudattaa standardia SFS-EN 13463-1
 - Laiteluokkien lämpötilojen turvavälejä ja kipinäointia aiheuttavien laitteiden luokitteluun standardeja SFS-161-1 ja SFS-EN 1127.

Kuviossa 15 on näkyvissä esimerkki laitemerkintä, joka kattaa ATEX-laiteluokituksen vaatimia direktiivejä.



Kuvio 15. Ex-laitteiston merkintä (TUKES 2017, 19).

Biokaasulaitoksen ja tankkausasemien käyttöputkistossa, niihin liittyvien laitteiden ja laitteistojen sekä rakennevaatimuksien lisäksi käytössä noudatetaan painelaitelaki 114/2016 lainsäädäntöä (Painelaitelaki, 2016), jonka tarkoituksena on varmistaa painelaitteiden turvallinen käyttäminen, mihin voi kehittyä yli- tai alipainetta, joka voi siten aiheuttaa vaaratilanteita. Tätä lainsäädäntöä noudattaen varmistetaan painelaitteiden turvallinen käyttö, joka ei siten aiheuta vaaraa ihmisille ja vahinkoja sekä ympäristölle, että laitteille.

8 HANKEEN TUOTANNON VAATIMAN EDELLYTYKSET

Sieviin on tehty alustavaa kartoitusta BioKaMa-tutkimusryhmän avulla 3 maatilán yhteiseen liittymán biokaasulaitosta. Alustavien laskelmien pohjalta, mautilojen syötteen pystyvät tuottamaan noin 121,7 m³/h raakakaasua, joka oletetaan sisältävän yleisellä tasolla noin 57,4 % metaania ja 42,6 hiilidioksidia. Q Powerin tarjoama metanointiyksikkö hyödyntäisi laitokselta tulevan raakakaasun (ja sen sisältämän hiilidioksidin) ja lisäksi elektrolyysistä saatua vetyä raaka-aineena prosessissa. Nykyisten laskennan mukaan laitoksen koko ei ole riittävän kannattava raakakaasun tuotannon ollessa 121,7 m³/h, vaan noin 850 m³/h tuotanto olisi kannattavin tuotanto tämän kokoiselle laitokselle, mikäli tarvittava määrä raakakaasua saataisiin tuotettua laitokselle. Nykyiseen tuotantoon verrattuna tarvittava metaanimäärä olisi pieni ja tarvittava määrä olisi seuraava; 850 m³/h - 121,7 m³/h = 728,3 m³/h. Taulukkoon 11 on merkitty sekä biokaasulaitoksen ja Q Powerin metanointiyksikön tuottaman raakakaasun määrän vuodessa, lisäksi tarvittavan raakakaasun määrä laitoksen ulkopuolelta laitokseen.

Taulukko 11. Metaanin tuotannon määrä.

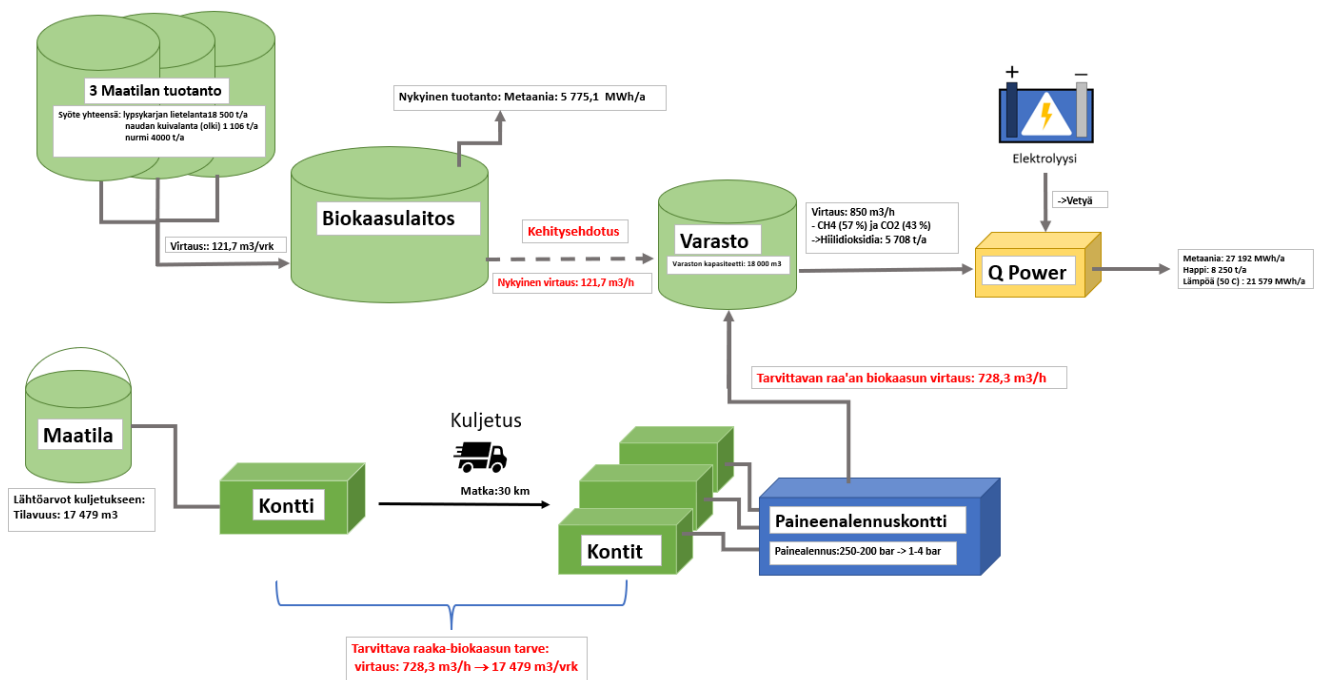
Kannattavuus nykyisen tuotannon kannalta											
Metanointi (Q power)	850	m ³ /h	20 400	m ³ /vrk	7 446 000	m ³ /a	←	Tarvittava määrä, että tuotanto kannattaa			
3 tila tuotto	121,7	m ³ /h	2 921	m ³ /vrk	1 066 092	m ³ /a	←	Nykyinen tuotanto			
Tarvittava määrä	728,3	m ³ /h	17 479	m ³ /vrk	6 379 908	m ³ /a	←	Tarvittava määrä			

Alustavien kartoitusten ja laskelmien pohjalta nykyinen tuotanto on liian pieni laitoksella, jota voitaisiin hyödyntää Q Powerin teknologialla. Laitoksen ulkopuolelta tarvitaan noin 6 379 908 m³/vuodessa raakakaasua, joka siten kattaisi Q Powerin metanointiyksikön tarpeen.

Ensimmäinen ajatus tulisi reaktorin koon nostaminen, mutta reaktorikoon kasvattaminen tuottaisi enemmän kustannuksia, mitä nykyinen suunnitelma. Joten kannattavampi ehdotus olisi raakakaasun siirto joko laitoksen lähetyville tai sitten koko metanointiyksikön siirtoa Scanfil-alueelle, josta teollisuudessa voidaan hyödyntää sivuvirtoja tehokkaasti.

8.1 Tutkimuksen hahmotus ja menettely

Tämän tutkimuksen lähtökohtana oli mahdollisen raakakaasun siirto laitoksen lähetyville, jonka pohjalta muodostin saatujen tietojen perusteella rakennekuvan mahdollisen laitoksen ainevirroista, jonka pohjalta raaka-kaasun siirtoa tapahtuisi, joka näkyy kuviossa 16. Lisäksi tutkimuskohde keskittyy paineistetun kaasuun siirtoon, jolloin tutkimuksen ulkopuolelle jätetään raakakaasun siirtäminen putkistolla, tarkan raakakaasu lähteen puuttumisen johdosta ja mikäli tulevaisuudessa mahdollisia lähteitä löytyy, voidaan kuljetus toteuttaa siten tarvittaessa.



Kuvio 16. Laitoksen suuntaa antava rakennekuvaus.

Alustavassa hahmotelmassa, mikäli Q Power tarjoama metanointiyksikköä sovellettaisiin laitoksen läheisyyteen, tarvitsisi se kannattavuutensa vuoksi yhteensä noin $850 \text{ m}^3/\text{h}$ raakabiokaasua, jonka sisältämä hiilidioksidin määrä kattaisi synteettisen metaanin tuotannon. Saatavan raakakaasun määrä kattaa $121,7 \text{ m}^3/\text{h}$ ja muualta tarvittava määrä olisi noin $728,3 \text{ m}^3/\text{h}$. Täten vuorokaudessa tarvittavan raakakaasun määrä olisi: $728,3 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h} = 17 479 \text{ m}^3$, joka asetetaan tutkittavaksi lähtöarvoksi kuljetuksen kapasiteetiksi. Kuljetettavan kaasun saatavuuteen ja sen etäisyydeksi lähdetään selvittämään Biomassa-Atlas-ohjelmalla, jonka avulla voidaan selvittää Suomessa saatavien mahdollisten biomassojen saatavuuden ja eri teollisuuden sivuvirroista ja jätteistä. Tutkimuksen rajaukseksi asetetaan maatilaluokan jäte eli eläinperäiseksi jäte eli lanta ja kasviperäinen jäte. Kuljetusmuodoksi valitaan koukkulava-kontti, joka voidaan vaihtaa ja kuljettaa laitoksen ja lähteen välillä. Kaasu kuljetetaan paineistettuna,

jonka paine on yleensä 200–250 bar luokkaa 15–25 asteen lämpötilassa. Riippuen syöttökohteen laadusta ja sen paineesta, kaasu täytyy paineistaa kompressorilla kuljetettavaan paineeseen. Konttien määräksi laitoksen ja raaka-aineen lähteen välillä olisi 2, jossa toinen olisi täytettävänä ja toinen kuljetuksessa. Laitoksen tuleva kaasu joko alennetaan jalostukseen sopivaan paineeseen tai voidaan varastoida mahdollisiin välivarasoihin, joidenka kapasiteetti kattaisi sekä laitoksen, että muualta tulleen raakakaasun kapasiteetin eli noin 17 479 m³.

8.2 Metaanituottopotentiaalien selvitys

Jotta yksikkö olisi kannattavaa, täytyy harkita puuttuvan biokaasun määrän kuljettamista muista lähteistä laitokseen, jolloin laitoksen mahdollisesta jalostusyksiköstä saataisiin tarvittava hiilidioksidin määrä Q Powerin metanointiyksikköön. Tutkimuksessa lähdetään liikkeelle tarkastelemalla Sievin läheisyydestä saatavien mahdollisten raaka-aineiden metaanituottopotentiaaleja. Alustavasti Sievin läheisyydestä raakakaasun määrä vuodessa on seuraava: 728,3 m³/h = 17 479 m³/vrk = 6 379 908 m³/v. Lisäksi työhön käytettäviä muita alustavia lähtötietoja maatilaluokan raaka-aineista, niiden ominaisuuksista ja pitoisuuksien oletusarvot otetaan luonnonvarakeskuksen biokaasulaskurin käyttämiä vakioarvoja (Luonnonvarakeskus 2022c), joita käytetään tutkimuksessa, on merkitty seuraavaan taulukkoon 12.

Taulukko 12. Metaanituottopotentiaalien lähtöarvot.

Biomassan tyyppi	Kuiva-aine % (TS)	Orgaaninen aine % (VS)	Metaani (CH ₄): t/m ³
Naudan lietelanta	9	80	200
Naudan kuivalanta	30	85	200
Sian lietelanta	8,2	82	320
Sian kuivalanta	21	85	230
Olki	90	94	280
Nurmi	30	90	350

Tämän tiedon perusteella lähdettiin aluksi selvittämään Sievin alueella olevien mahdollisten mautilojen ja nautojen määrä. Näiden lähtötietojen pohjalta voidaan lähteä arvioimaan sekä näiden syötteiden tuottamaa metaanimäärää, että jakaa se mautiloittain ja arvioida siten tarvittavien mautilojen määrää

tuotantoon. Maatilojen ja näiden nautojen määrä selvitettiin Luonnonvarakeskuksen yleisen tilastotietojen (Luonnonvarakeskus 2022b), joka antaa viimeisimpinä tietoina vuoden 2021 aikana Sievissä toimineiden maatilojen ja näiden nautojen määrän, joka asetetaan alustavaksi lähtöarvoiksi. Metaanituottopotentiaalit näiden tietojen avulla on laskettu kaavojen 5, 6 ja 7 avulla seuraavaan taulukkoon 8, jossa on käytetty naudalle ominaisia pitoisuusarvoja sen metaanituottopotentiaalin laskemiseen.

Kaavan 8 avulla selvitetään varsinaisen lietteiden tai kasvibiomassojen kuiva-aineen määrä (TS), joka sisältää varsinaista orgaanista ainesta.

$$t(TS) = \text{Syötemäärä (tonnia)} * TS(\%) \quad (8)$$

Kaavan 9 avulla selvitetään lietteen tai kasvibiomassan kuiva-aineesta, sen orgaanisen aineen määrä (VS), josta saadaan tuotettua metaania, ja lopuksi kaavan 10 avulla lietteen tai kasvibiomassan sisältämän orgaanisen aineen perusteella metaanituotto metaania kuutiometriä tonnia orgaanista ainetta kohden. Lantojen ja kasvibiomassojen kuiva-, ja orgaanisen aineen pitoisuuden lisäksi, sen metaanituottopotentiaali kuutiometriä tonnia kohden vaihtelee eri eläin ja kasvilajia kohden. Tutkimukseen eläin- ja kasvilajeja kohtaan käytettyjä arvoja on merkitty taulukkoon näkyville, joita käytetään laskuissa. Lisäksi tutkimuksessa otettiin huomioon metaanituottopotentiaalien lämpöarvot, paljonko kyseisen bio-kaasu määrä tuottaa energiaa (metaani: $1 \text{ m}^3 \rightarrow 10 \text{ KWh} \rightarrow 0,010 \text{ MWh}$).

$$t(VS) = t(TS) * VS(\%) \quad (9)$$

$$V_{Ml} = t(VS) * (\text{vakio})\text{m}^3/tVS \quad (10)$$

josta,

t = Määrä eli tonnia

TS = Kuiva-aine

VS = Orgaaninen aine

V_{ml} = Metaanituotto per kuutiometriä

Taulukko 13. Nykyisen tuotannon määrä 61 maatilan luokassa.

Tiedot:	Nautaa	lietelanta (kg/päivä)	lietelanta (t/päivä)	lietelanta (t/vuodessa)	Kuiva-aine (TS)	Orgaaninen aine (VS)	CH ₄ (m ³ /t)	Vuodessa CH ₄ (m ³)	KWh/v	MWh/v
61 Maatilaa	6211	403 715	404	147356	0,09	0,8	200	2 121 926	21 219 260	21 219
1 Maatila	102	6 618	7	2 416	0,09	0,8	200	34 786	347 857	348

Taulukko 14. Lantojen ja kasvibiomassojen metaanituottopotentialien määrä 30 km säteellä Sievistä.

Sievi valittu alue = 175100 ha (30 km)						
Biomassan tyyppi	Määrä	Yksikkö	Kuiva aine (TS)	Orgaaninen aine (VS)	m3/t	Yhteensä (m3/v)
Naudan lietalanta	302 112	t/v	0,09	0,80	200	4 350 413
Naudan kuivalanta	173 691	t/v	0,30	0,85	200	8 858 241
Sian lietalanta	27 269	t/v	0,082	0,82	320	586 742
Sian kuivalanta	412	t/v	0,21	0,85	230	16 915
Yhteensä						13 812 310
Sivuvirta: Olki	29 572	t (k-a)/a	0,90	0,94	280	7 005 015
Sivuvirta: Viherlannoitusnurmien mahdollinen alkusato	400	t (k-a)/a	0,30	0,92	350	38 640
Sivuvirta: Nurmen siemenen olki	1 178	t (k-a)/a	0,30	0,92	350	113 795
Sivuvirta: Kesantonurmi	1 356	t (k-a)/a	0,30	0,92	350	130 990
Sivuvirta: Suojavyöhykenurmi	1 585	t (k-a)/a	0,30	0,92	350	153 111
Yhteensä						7 288 440
Yhteensä eläin ja kasvibiomassa:						21 100 750

Näiden biomassatietojen pohjalta laskettiin seuraavaan taulukkoon metaanituottopotentialien tuotantotaulukko, jossa verrataan prosenttiosuuksittain, kuinka paljon alueelta vähintään täytyy olla mukana biomassaa, jonka koostumuksen pohjalta tarvittava raakakaasun määrä olisi riittävä. Lisäksi selvitettiin tuotetun kaasun energia-arvot.

Taulukko 15. Metaanituottopotentialimäärät Sievin läheisyydestä.

Prosenttiosuus (30 km)	Biomassaa		metaania		kWh/v	MWh/v	
10 %	0,1	53 758	t/v	2 110 075	m3/v	21 100 750	21 101
20 %	0,2	107 515	t/v	4 220 150	m3/v	42 201 500	42 201
30 %	0,3	161 273	t/v	6 330 225	m3/v	63 302 250	63 302
40 %	0,4	215 030	t/v	8 440 300	m3/v	84 402 999	84 403
50 %	0,5	268 788	t/v	10 550 375	m3/v	105 503 749	105 504
60 %	0,6	322 545	t/v	12 660 450	m3/v	126 604 499	126 604
70 %	0,7	376 303	t/v	14 770 525	m3/v	147 705 249	147 705
80 %	0,8	430 060	t/v	16 880 600	m3/v	168 805 999	168 806
90 %	0,9	483 818	t/v	18 990 675	m3/v	189 906 749	189 907
100 %	1	537 575	t/v	21 100 750	m3/v	211 007 498	211 007

Kuten taulukosta 15 voidaan nähdä raakakaasun määrä kuutioina riittävä, ja noin 40 % prosenttiosuus riittää, kun alueella olevat raaka-aineiden lähteet ovat mukana, saadaan riittävä määrä biokaasua tulevan laitoksen jalostukseen, ja sen sisältämä hiilidioksidin määrä metanointinprosessiin.

9 BIOKAASUN KULJETUS LAITOKSELLE

Tutkimusasetelmassa raakakaasun kuljetus toteutetaan oletetusti paineistettuna siirrettävillä siirtolava-konteilla, jonka tarkasteltavaksi kuljetuskapasiteetiksi on valittu tarvittava raakakaasun määrä noin 17 479 Nm³. Normaalisti biokaasun kuljetus toteutetaan kaasun paineistamisella noin 200–250 bar:in paineeseen. Mutta tämä pätee ainoastaan jalostetulle kaasulle. Raakakaasulle paineistus tuottaa ongelmia, sillä hiilidioksidi alkaa nesteytyä noin 60 bar:in kohdalla, minkä lisäksi hiilidioksidi voi jäättyä alemmissä lämpötiloissa. Alustavia tutkimuksia on tehty raakakaasun paineistuksesta ja pyritty selvittämään mahdollisia paineistamisen mahdollisuuksia jopa 120 bar:in asti (Hovland 2017). Tämä kuitenkin vaatisi sekä kosteuden, että muiden mahdollisten komponenttien, kuten rikin poiston. Eli puhuttaisiin puhtaasta metaanin ja hiilidioksidin seoksesta. Lisäksi varastoinnin osalta, tulee varastopatterit pitää sopivassa lämpötilassa, jottei hiilidioksidi lähtisi nesteytymään. Lisäksi kuljetusmateriaalina teräspullojen sijaan tulee käyttää komposiittipulloja, jotka eivät ruostu ja kestävät hiilidioksidia.

Tutkimuksen kuljetettavaksi raakakaasun lähtöarvoksi asetetaan päivän aikana tarvittava kaasun määrä eli 17 479 m³, joka oletetaan olevan 20 °C lämpötilassa ja normaalissa ilmanpaineessa (1,01325 bar). Biokaasun ainemäärä saadaan selvitettyä ideaalikaasulainvaktion avulla kaavalla 11, joka kuvaa yleisen ideaalikaasulain yhtälöä ja teoreettista kaasulakia. Ideaalikaasulain avulla voidaan selvittää kaasun olomuodon muutosta eri olosuhteissa. Kaasun massa taas voidaan selvittää kaavan 12 avulla.

$$pV = nRT \rightarrow n = \frac{p*V}{R*T} \quad (11)$$

jossa,

p = paine

V = Tilavuus

n = ainemäärä

R = Kaasuvakio

T = Lämpötila

Taas kaasun massa saadaan selvitettyä seuraavasti:

$$n = \frac{m}{M} \rightarrow m = n * M \quad (12)$$

jossa,

n = ainemäärä

m = massa

M = moolimassa

Seuraavan taulukon 16 mukaan, jossa kaasu oletetaan olevan aiemmin mainitussa lämpötilassa ja paineessa. Kaasun ainemäärä ja massa on selvitetty kaavojen 11 ja 12 avulla. Lisäksi selvitin kuljetettavan kaasun energiasisällön sekä painon, että tilavuuden mukaan.

Taulukko 16. Kuljetettavan kaasun lähtöarvot.

Biokaasun kuljetuksen lähtöarvo				
Tilavuus	17 479	Nm ³ /vrk		
R (Moolinen kaasuvakio)	8,31	Pa*m ³ /mol*K		
Paine	1,01	bar	101325	Pa
Lämpötila	288	K	15	°C
ainemäärä	739 666	mol		
Paino	11 866	kg		
Lampöarvo	9,7	kWh/m ³		
Lampöarvo	13,9	kWh/kg		
Energiarvo (kWh/m ³)	169 548	kWh	170	MWh
Energiarvo (kWh/kg)	164 944	kWh	165	MWh

Kuljetusmuodoksi maantiekuljetukseen valitaan siirtolavakontit, jossa toinen toimii täytössä ja toinen on kuljetuksessa. Konttien kokojen ja luokkien kohdalla lähestyttiin aihetta ottamalla yhteyttä eri biokaasuteknologiaan perehtyneitä yrityksiä, jotka toimittavat biokaasun laitteistojen ja konttimuotojen kanssa, jonka pohjalta saadaan arvokasta tietoa sekä konttien, että laitteiden kanssa. Raakakaasujen siirtoon ei tällä hetkellä ole mahdollista, mutta jalostetun kaasun kanssa saatiin siirtojärjestelyihin tietoja 6 eri konttiratkaisulle, jotka ovat näkyvissä seuraavassa taulukossa 17. Kaasun siirron vertailuun otettiin lisäksi sen sisältämä energia teho tilavuuden ja painon mukaan, jotka antoivat saman arvot konteille, jotka siten antavat sekä oikeanlaisen energiatehoarvon kuljetukseen, jolla voidaan arvioida siten myyntiarvoa.

Taulukko 17. Konttien siirtelyarvot ja kuljetusmäärät. (luottamuksellinen)

Konttien kuljetuksen hinta vaihtelee eri kuljetusyrittäjillä, riippuen miten yritykset laskuttavat kuljetuksesta ja tuleeko muita kustannuksia lisäksi. Mutta yleisellä tasolla eri kuljetusyrittäjien paras laskutus olisi tuntihinta tälle matkavälille, jonka arvio olisi nykyisellä tasolla noin 60–80 €/h luokkaa, jossa tässä tapauksessa asetetaan 70 €/h antaen suuntaa antavana arviona. Lisäksi asetetaan polttoainekustannukset lisänä kuljetuskustannuksiin. Näiden tietojen perusteella on laadittu yleinen kuljetuskustannusarvio 60 km kontin kuljetusmatkalle taulukon 18 avulla, jota hyödynnetään eri konttikokojen kanssa kustannuksien kanssa.

Tähän tutkimukseen polttoainekulutuksen arvioimiseen käytetään hyväksi Nylund, Erkkilä & Söderström 2004 tekemää tutkimusta kuorma-auton polttoainekulutuksen tutkimuksessa, jossa mitattiin neljän eri kuorma-autoluokan kulutusta: 18 t kuorma-auto, 26 t kuorma-auto, 42 t puoliperävaunuyhdistelmä ja 60 t täysperävaunuyhdistelmä. Yleisellä tasolla jakelusyklissä polttoaineen kulutus vaihtelee 25–42 l/100 km, maantiesyklissä taas 22–53 l/100 km, ja moottoritiesyklissä vastaavasti 22–50 l/100 km. Riippuen auton massasta, asetetaan polttoaineen kulutukseksi edellisten arvojen avulla sille keskiarvo, joka asetetaan arvoksi 30 l/100 km, joka antaisi siten todennukaisen arvon tutkimukselle. (Nylund, Erkkilä & Söderström 2015, 22.) Jos kuorma-auton matka on 60 km ja polttoaineen kulutus on 30 l/100 km (riippuen onko lasti tyhjä vai täysi), saadaan polttoaineen kulutukseksi dieselin hinnalla seuraavasti:

Taulukko 18. Biokaasun kuljetuskustannukset.

Biokaasun maantiekuljetuskustannukset		
Ajomatka (km)	60	km
Polttoaineen hinta (Diesel)	2,3	euro
Polttoaineen kulutus (l/100 km)	30	litraa
polttoainekulu	30	€/kerta
Kuljetushinta	70	€/h
Työaika (kuljetus+vaihto)	3	h
Yhden kontin kuljetuskustannus	240	€/kontti

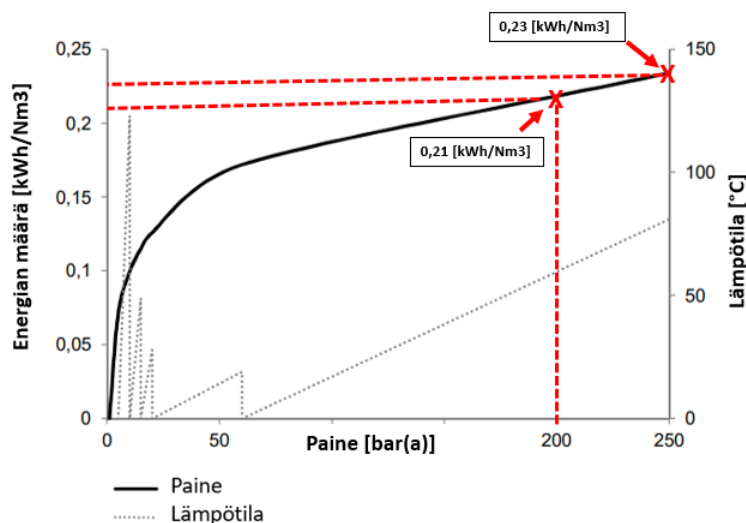
Kuljetuskustannuksiin pitää ottaa huomioon eri kuljetusyriyten erilaiset laskutus ja tarjoamat ratkaisut kuljetukseen, jotka siten vaikuttavat hintaan ja järjestelyihin. Lisäksi ajoneuvon tyyppi, sen käytämä polttoaine, sen koko ja kuljetettavan kuorman koko vaikuttavat polttoaineen kulutukseen, jolloin sille ei voida suoraan arvioida sen polttoainekulutusta. Lisäksi polttoaineiden hintojen vaihtelua vaikuttaa kuljetuskustannuksiin, mutta tässä tutkimuksena ajoneuvon polttoaineeksi oletetaan dieselnäyttöiseksi. Edellisten tietojen muodostettiin omien laskelmien perusteella yleisellä tasolla maantiekuljetuksen kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ja niiden antamien arvojen perusteella suuntaa antavaa hintaa kuorma-autolle kuljetukseen, jota hyödynnetään paineistetun kaasun siirron kuljetuskustannuksena.

Lisäksi työaikaan vaikuttaa kuorma-auton tuntinopeus ja vaihdokseen käytettävä aika. Taulukon työaikaan oletetaan kuorma-auton kulkevan 80 km/h, ajomatkan ollessa 60 km. Joten aika kuljetuksen on $\rightarrow (80 \text{ km/h}) / (60 \text{ km}) = 2 \text{ h}$ ja arvio kontin vaihtoon oletetaan noin alle puolituntia eli yhteensä yhden kuljetuksen ajaksi arvioksi asettuu noin 3 tuntia. Nämäkin voivat vaihdella eri kuljetusyhtiön mukaan, jolloin se on otettava huomioon.

Lisäksi kustannuksiin vaikuttaa kaasun paineistaminen kuljetuspaineeseen, joka 200–250 bar luokkaa, lisäksi myös paineen alentaminen kohteessa käyttöpaineeseen, riippuen varastoidaanko vai ohjataanko suoraan jalostukseen tai muuhun käyttöön (energiantuotantoon), joka on yleensä 4–12 bar luokkaa. Kaasun paineistamisen ja alentamisen hintatietoja lähestyttiin eri biokaasuteknologioihin erikoituneita yhtiöitä, joidenka avulla saatiin arvokasta tietoa ja heidän tarjoamia laiteratkaisuja. Laitteiden käyttökustannuksiin eli näiden tarvittavat energiatehot laskettiin ja selvitettiin erikseen seuraavasti.

Paineistamiseen tarvittava energia selvitettiin Fredric, Hulteberg, Persson & Tamm vuonna 2013 tekemän tutkimuksen kuvion 18 pohjalta, joka kuvaa biometaanin energiantarvetta sen puristukseen eri

painetasojen välillä, jonka pohjalta voidaan lähteä arvioimaan energiatarven määrää haluttuun paineistukseen eri painetasojen välillä. Kaasun lämpötila on pidetty puristuksen alussa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kuvaaja perustuu Aspen plus prosessisimulaatioohjelmaan, jossa biokaasu jäädytetään lämpötilakäyrän mukaisesti ja kompressorin isentrooppinen hyötysuhteen ollessa 0,85 ja moottorin hyötysuhde taas 0,9. Kaasun kohdalla vaikuttava tekijä kaasun paineistukseen tarvittavaan energiaan vaikuttaa aineiden ominaislämpökapasiteetti, mutta metaanin ja hiilidioksidin kohdalla arvot ovat lähellä toisiaan (metaani: 1,307 kJ/kgC ja hiilidioksidi 1,304 kJ/kgC, $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja 1 bar paineessa), jolloin kyseistä kuvaaja voidaan soveltaa paineistuksen tarvittavaan energiaan tässä tutkimuksessa. Lisäksi tutkimuksessa on tutkittu, että biokaasun koostumuksella eroilla ei ole merkitystä energiakulutuksen kanssa ja siten kompressorien hyötysuhde pysyy siten vakiolla erilaisille kuormituksille (eri tulopaineille ja lämpötiloille), jonka avulla voidaan soveltaa kyseistä kuvaaja myös raakakaasun puristuksen tarvittavaan energiaan. (Fredric, Hulteberg, Persson, ja Tamm 2013). Valituksi arvo asetetaan paineistus 0–250 bar, jolloin energiatarpeeksi nousee $0,23\text{ kWh/Nm}^3$ ja taas 0–200 bar:iin taas $0,21\text{ kWh/Nm}^3$.



Kuvio 18. Biokaasun paineistukseen tarvittava energiamäärä (Mukaiillen Fredric, Hulteberg, Persson & Tamm, 2013, 55.)

Lopuksi täytyy ottaa huomioon kaasukontin tyhjennyksessä paineen alentaminen laitteiston vaatimalle painetasolle tarvittaessa, jonka laitteisto kestää. Mikäli kaasukontti oletetaan tyhjennettävän suoraan laitoksen varaston/jalostuksen paineisiin (1-4 bar) paineen alentamisen paineenalennusjärjestelmän avulla, joita lähdettiin kyselemään laitevalmistajilta.

Paineen alentamisen käyttökustannuksiin ei saatu laitevalmistajien lisäksi mistään virallisesta kirjallisuudesta tietoa, joten paineenalentamisen käyttökuluihin hyödynnetään Haimilan tekemän tutkimuksen pohjalta, jossa paineenalentamisen käyttökustannuksen arvio on $0,015 \text{ Nm}^3/\text{€}$. (Haimila 2015, 46.)

Edellisten laitehintojen ja käyttökustannuksien pohjalta muodostettiin taulukko (20), jonka avulla arviointiin laitteistohintojen lisäksi niiden käyttökustannukset paikallisen sähköyrityksen Korpelan Voiman tämänhetkisen sähköhinnan mukaan. Lisäksi kustannukseen otetaan konttien ja laitteiden kohdalla yleisesti koneitten huolto- ja kunnossapitokustannukset, jotka määräytyvät 3–5 % näiden hankintahinnasta, jossa tähän tutkimuksen arvoksi asetetaan 4 %. (Työteho-seuran valtakunnallinen koulutus-, tutkimus- ja kehittämisorganisaatio.)

Komponenttien vuosittainen investointikustannus selvitettiin annuiteettimenetelmällä, joka selvittää komponenttien vuosittaisen kustannuksien suuruuden tietyllä aikavälillä. Annuiteettimenetelmän soveltamiseen tarvitaan investointikustannus, komponenttien käyttöikä ja laskentakorko-aika. Käyttöikä sekä laitteistoille, että konteille oletetaan olevan 15 vuotta ja laskentakorko-aika 15 %. Täten laitteistojen vuosittainen kustannus eli annuiteetti saadaan selville seuraavan kaavan 13 avulla:

$$A = I * \frac{p(1+p)^n}{(1+p)^n - 1} \quad (13)$$

josta,

A = Annuiteetti

I = Investointikustannus

p = laskentakorko-aika

n = käyttöikä

Seuraavaan taulukkoon 19 on asetettu lähtötietoja, joiden avulla edellisten menetelmien pohjalta lähdetään sekä selvittämään, että laskemaan paineistetun kaasun kuljetuksien eri kustannuksia, joiden pohjalta voidaan selvittää hinta-vertailua eri konttiratkaisujen pohjalta.

Taulukko 19. Paineistetun kaasun siirtämisen hintojen lähtötietoja. (luottamuksellinen)

Siirrettävän kaasun määrä	17 479 m ³
Konttien tilavuudet ja hinnat:	(Konttiratkaisut)*
Kompressorin hinta	*
Paineistamisen käyttökustannukset: (1–200 bar)	0,21 kWh/Nm ³
(1–250 bar)	0,23 kWh/Nm ³
Paineenalennuslaitteisto	*
Paineenalentamisen kustannukset	0,015 Nm ³ /€
Komponenttien käyttöikä (oletus)	15 vuotta
Laskentakorko (oletus)	15 %
Sähkön hinta (Korpelan Voima) = (Suomen aluehinta + Välityspalkkio)	4,79 snt/ kWh + 0,30 snt/kWh = 5,09 snt/ kWh
Huolto- ja kunnossapitokustannukset (oletus)	4 %
Kontin kuljetushinta (oletus)	240 €

*= Luottamuksellinen

Edellisten tietojen pohjalta on seuraavaan taulukkoon 20 laadittu hinta-arvio kaasun kuljetuksesta, jonka pohjalta voidaan arvioida näiden hintaeroja eri konttien järjestelyjen pohjalta ja arvioida edullisin vaihtoehto. Laskelmiin on otettu huomioon laitteistojen investointihinnat, joidenka vuotuinen kustannus on arvioitu anuititeettimenetelmällä, laitteiden käyttökustannukset, lisäksi niiden vuotuiset huolto- ja kunnossapitokustannukset.

Taulukko 20. Paineistetun biokaasun maantiekustannukset.

Investointikustannukset									
Siirtolavakontti	* €/vuosi (2 kpl)	* €/vuosi (2 kpl)	* €/vuosi (2 kpl)	* €/vuosi (2 kpl)	* €/vuosi (2 kpl)	* €/vuosi (2 kpl)	* €/vuosi (2 kpl)	* €/vuosi (2 kpl)	* €/vuosi (2 kpl)
Kompressori	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi
Paineenalennin	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi
Yhteensä	64 800 €/vuosi	69 900 €/vuosi	75 000 €/vuosi	80 100 €/vuosi	83 256 €/vuosi	88 416 €/vuosi	93 576 €/vuosi	98 736 €/vuosi	103 896 €/vuosi
Huolto- ja kunnossapitokustannukset									
Siirtolavakontti	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi
Kompressori	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi
Paineenalennin	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi
Yhteensä	17 280 €/vuosi	18 640 €/vuosi	20 000 €/vuosi	21 360 €/vuosi	22 720 €/vuosi	24 080 €/vuosi	25 440 €/vuosi	26 800 €/vuosi	28 160 €/vuosi
Käyttökustannukset									
Kuljetus	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi
Paineistus	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi
Paineenalennus	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi	* €/vuosi
Yhteensä	600 959 €/vuosi	516 125 €/vuosi	452 498 €/vuosi	398 871 €/vuosi	357 516 €/vuosi	326 161 €/vuosi	294 806 €/vuosi	263 451 €/vuosi	232 096 €/vuosi
Kustannukset yhteensä	683 039 €/vuosi	604 665 €/vuosi	547 498 €/vuosi	496 387 €/vuosi	458 976 €/vuosi	426 567 €/vuosi	394 158 €/vuosi	361 749 €/vuosi	329 340 €/vuosi
	<i>Konttiratkaisu 1</i>	<i>Konttiratkaisu 2</i>	<i>Konttiratkaisu 3</i>	<i>Konttiratkaisu 4</i>	<i>Konttiratkaisu 5</i>	<i>Konttiratkaisu 6</i>	<i>Konttiratkaisu 7</i>	<i>Konttiratkaisu 8</i>	<i>Konttiratkaisu 9</i>

* = Luottamuksellinen

Taulukon 20 tiedot koskevat jalostetun kaasun kuljetukseen laitearvoja, mitkä pitää ottaa huomioon tarkastelussa sekä laitteistojen, että hintatietojen kanssa. Sillä raakakaasua ei voida nykyisellä ratkaisulla paineistaa konttien ratkaisuihin, mutta mikäli raakakaasua voidaan paineistaa tulevaisuudessa, voidaan käyttää arvoja suuntaa antavina arvoina.

Raakakaasun siirtämisen ongelmaksi nousee sen sisältämien epäpuhtauksien johdosta sen soveltuvuus varsinaiseen käyttöön polttomoottoreissa varsinaisessa liikennekäytössä, jonka vuoksi sille ei ole kysyntää tai varsinaista markkinahintaa. Raakakaasun metaanin lisäksi, sisältää muita epäpuhtauksia, jotka siten sekä vähentävät sen energiatehokkuutta, että vaikuttavat laitteistoon kuntoon. Energiatuotannossa muut komponentit, jotka eivät tuota energiaa kuten hiilidioksidi, vähentävät metaanin määrä seoksessa, jonka johdosta energiatehokkuus jää alhaiseksi ja siten kannattomaksi. Lisäksi raakakaasujen laitteistojen ja polttomoottoreiden käytössä ongelmaksi nousee rikkivedyn esiintyminen raakakaasussa, jotka siten vähentävät niiden käyttöikä ja veden kanssa synnyttävät rikkioksidia, joka aiheuttaa korroosiota, jonka johdosta laitteistojen sekä käytön, että materiaalien kanssa kustannuksen kasvavat.

Raakakaasun järkevä ja kannattavin myyntiratkaisu keskitetyn jalostuslaitoksen lisäksi on lämmöntuotanto, jolloin sitä voidaan soveltaa suoraan energiatuotantolaitoksen soihutupolttomoottorissa, jonka johdosta investointi- ja käyttökustannuksia ei koidu epäpuhtauksien poistoon ja lisäksi kaasupolttimen avulla saadaan hyödynnettyä epäpuhtauksista huolimatta raakakaasusta jopa 95 % sen sisältämä energia. (Kymäläinen ja Pakarinen 2015, 150.)

Lähdettiin selvittämään idean pohjalta raakakaasun myyntiarvoa sen energiapitoisuuden mukaan, jos sitä hyödynnettäisiin lämmöntuotantoon. Tämä selvitys perustuu edellisen kappaleen pohjalta sen, joka siten ei ota sekä kantaa, eikä siten anna varsinaista tai voida siten antaa myyntiarvoa kaasulle.

Lisäselvityksessä lähdettiin tutkimaan raakakaasun ja jalostetun kaasun myyntiarvo, sen energia-arvon mukaan. Raakakaasulle ei ole varsinaista myyntiarvoa, sen epäpuhtauksien johdosta, jota ei voida siten voida varsinaisesti käyttää suoraan energiatuotannossa, että liikennepolttoaineena. Taas puhdistetussa, jossa on poistettu mahdolliset epäpuhtauden lisäksi kosteus, ja jalostetussa, joka sisältäisi pelkästään puhdasta metaania, olisivat käyttöriikkaampia eri käyttökohteisiin, joidenka käyttö ei siten rajoittuisi näiden epäpuhtauksien haittoihin sekä käytöltään, että energiatehokkuudeltaan. Kuljetettavaksi määräksi asetettiin Q Powerin tarvitseman määrän vuodessa taulukon 17 lähtöarvojen mukaan, biokaasun tuotantovirtauksen ollessa $728,3 \text{ m}^3/\text{h} = 17\,479 \text{ m}^3/\text{vrk} = 6\,379\,908 \text{ m}^3/\text{v}$ ja painon mukaan vuodessa se saadaan seuraavien kaavojen 11 ja 12 avulla.

$$(11) \rightarrow n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{101\,325 \text{ Pa} \cdot 6\,379\,908 \text{ m}^3}{8,31 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 288 \text{ K}} = 270\,108\,043 \text{ mol/vuodessa}$$

Josta biokaasun massa vuodessa on:

$$(12) \rightarrow m = n \cdot M = 270\,108\,048 \text{ mol} \cdot 0,016043 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 4\,333\,343 \text{ kg/vuodessa}$$

Tehtiin alustava lähtötietotaulukko 21, jossa näkyvät sekä lähtötiedot biokaasun myyntiarvojen vertailuun. Kuljetusarvoksi laitettiin sekä tilavuuden, että painon mukaan tarvittavan määrän vuodessa. Näillä lähtötiedoilla lähdettiin selvittämään täten edellisen tutkimuksen parhaalla konttiratkaisu 4 mahdollisia myyntiarvoja. Konteissa olevan kaasun myyntiarvo perustuu sekä lämmöntuotannossa Auris Energiaratkaisun tarjoaman Warm- ja Warmabion palvelun myymän biokaasulla tuotetun lämmönmyyntihinnan alkukevään 2022 hinnaston mukaan, sekä polttoaineena Gasum yleisen biokaasun tankkaushinnan mukaan (Gasum 2022). Kaasun kuljetus toteutetaan edellisen konttiverailussa konttiratkaisu 4 tilavuuden ja sen kuljetuskustannuksien mukaan, jonka avulla tehtiin alustavan konttien myyntiarvon, edellisten tietojen perusteella. Lisäksi selvitettiin biokaasun jalostukseen menevät kustannukset investoinnin ja käyttökustannuksien mukaan laitevalmistajilta, jonka sähköhinnaksi asetettiin Nordpoolin viimevuoden MWh/€ keskiarvon mukaan (NordPool 2022) ja puhdistuksen sähkönkulutuksen eri jalostusteknologioiden keskiarvoksi taulukon 7 mukaan eli 0,25 kWh/Nm³ luokkaa. Jalostuslaitteiston vuotuisen kustannuksen selvitettiin kaavan 13 annuiteettimenetelmällä, jossa myös oletettiin laitteiston käyttöiän 15 vuotta ja laskentakoroksi 15 %. Vuotuiset huolto- ja kunnossapitokustannukset oletetaan olevan 4 %.

Taulukko 21. Lähtöarvot ja jalostuksen kustannukset.

Lähtötiedot			
Kuljetettava määrä vuodessa (m ³)	6 379 835	m ³	
Kuljetettava määrä vuodessa (kg)	4 255 168	kg	
Kontin kapasiteetti (m ³)	4 314	m ³	
Kontin kapasiteetti (kg)	3 149	kg	
Jalostuslaitteiston investointihinta	*	€	
Metaanin lämpöarvo	9,97	kWh/m ³	
Sähkön hinta	72,34	MWh/€	← Nordpool-hinta (Vuoden 2021 keskihinta)
Lämmön myyntihinta	95,07	MWh/€	← WarmBio lämmön myyntihinta biokaasulla (2022 kevät)
Polttoaineen myyntihinta	1,93	kg/€	← Gasum (Nykyinen myynti-hinta)
Jalostuksen käyttökustannukset			
Vuorokauden tilavuuden määrä	17 479	Nm ³	
Energian tarve jalostukseen	0,25	kWh/m ³	← Eri jalostuslaitteistojen tehojen keskiarvo (taulukko 7)
	4 370	kWh/päivä	
	1 594 959	kWh/vuosi	
	1 595	MWh/vuosi	
Energian hinta jalostukseen	116 432	€/vuosi	
Jalostuslaitteiston kustannukset (Vesipesuri)			
Investointikustannukset	*	€/vuosi	← (15 vuoden pitoaika + 15% laskentakorko)
Huolto- ja kunnossapitokustannukset	*	€/vuosi	← (Huolto- ja kunnossapitokustannukset 4%)
Käyttökustannukset	116 432	€/vuosi	← (0,25 kWh/m ³ + sähkön hinta nordpoolin vuoden 2021 keskihinnan mukaan)
Jalostuksen kaikki kustannukset yhteensä	327 449	€	

*= Luottamuksellinen

Edellisten tietojen ja taulukon 21 avulla, mikäli kaasujen myyntiarvona käytetään yleisen tason biokaasun lämmön myyntihintaa (joka perustuu biokaasun sisältämän metaanipitoisuuden mukaan), jolloin nähdään minkälainen ero raakakaasun ja jalostetun kaasun välillä on ja onko siten kannattavaa sen perusteella. Konttien lämmöntuotantoon energia-arvon selvitys tapahtuu selvittämällä kaasussa olevan metaanin määrän, jonka avulla voidaan laskea metaanin määrän avulla metaanin yleisen lämpöarvon mukaan, joka on 9,97 kWh/m³. Lisäksi tutkittiin raakakaasun metaanipitoisuuden nostamista, kunnes ylittäisi jalostetun kaasun voittoarvon ja lopuksi verrattiin normaali jalostetun biokaasun liikennepolttoaineen myyntiarvon mukaan, yleisellä Gasumin tankkausasemien myyntihinnalla, jonka keskihinta oli toukokuussa noin 1,93 kg/€ (Gasum 2022.) Seuraavat laskelmat ja tulot on merkitty seuraavaan taulukkoon 22. Lisäksi taulukosta 22 on jätetty biokaasureaktorin kustannukset, energiantarve ja raakakaasun oletetaan olevan esipuhdistettu/kuivattu.

Taulukko 22. Biokaasun eri myyntiarvoja.

Biokaasun laatu	Raaka reaktorikaasu (45 %)	Jalostettu biokaasu (99 %)	Raaka biokaasu (75 %)		Biokaasu (liikennepolttoaine)	
Kuljetettavan kaasun määrä vuodessa	6 379 835	6 379 835	6 379 835	m ³ /vuodessa	4 255 168	kg/vuodessa
Metaanipitoisuus	70	99	81	%	99	%
Metaanin määrä kaasusta konteissa	3 020	4 271	3 494	m ³ /kontti (metaania)	3 149	kg/kontti
1 kontin energia-arvo (MWh)	19	43	32	MWh/kontti		
Päivän aikana kuljetettavan kaasun energia-arvo (MWh)	77	170	129	MWh/päivä		
Päivän kuljetuksien myyntiarvo	7 360	16 193	12 267	€/päivä	22 901	€/päivä
Vuoden aikana kuljetettavan kaasun energia-arvo (MWh)	28 258	62 167	47 097	MWh/vuosi		
Biokaasun laatu	Raaka reaktorikaasu (45 %)	Jalostettu biokaasu (biometaani)	Raaka biokaasu (75 %)		Biometaani (liikennepolttoaine)	
Metaanipitoisuus	45	99	75	%	99	%
Vuoden kuljetuksien myyntiarvo	2 686 483	5 910 263	4 477 472	€/vuodessa	8 359 004	€/vuodessa
Tulot	2 686 483	5 910 263	4 477 472	€/vuodessa	8 359 004	€/vuodessa
Jalostuskustannus (käyttö+huolto+investointi)	0	327 449	0	€/vuodessa	327 449	€/vuodessa
Kaasun siirron kustannukset (Käyttö+huolto+investointi)	458 976	458 976	458 976	€/vuodessa	458 976	€/vuodessa
Menot eli kustannukset yhteensä	458 976	786 425	458 976	€/vuodessa	786 425	€/vuodessa
Tulo	2 686 483	5 910 263	4 477 472	€/vuodessa	8 359 004	€/vuodessa
Menot	458 976	786 425	458 976	€/vuodessa	786 425	€/vuodessa
Kate (Tulo-Menot)	2 227 507	5 123 839	4 018 496	€/vuodessa	7 572 579	€/vuodessa

Kuten tuloksista voidaan huomata, raakakaasu lämpöarvoltaan lämmitykseen myyntiarvoltaan tuottaa jo voittoa, joka olisi täten kannattava ilman jalostamista, jo sen metaanipitoisuuden ollessa 45 % koko kaasuseoksesta. Mutta jos raakakaasun metaanipitoisuus saataisiin jo alkuvaiheessa reaktorissa raaka-aineiden ja käsittelyjen johdossa tuottamaan 75 % metaanipitoista biokaasua, olisi ero puhtaaseen biokaasun eli biometaanin verrattuna tuloerot huomattavan lähellä toisiaan. Vaikkakin jalostuksen johdosta tulee kustannuksia puhtaaseen biometaanin tuottamiseen, sen metaanipitoisuuden arvon johdosta on arvokkaampaa ja energiatehokkaampaa, jonka kautta on arvoltaan korkeampi ja sitä kautta tuottaa enemmän voittoa. Mutta jos biokaasua sovelletaan liikennepolttoaineeksi yleisille asemille, Gasumin yleisillä hinnoilla, olisi se täten kannattavin ratkaisu, omien laskelmien avulla.

Alustavat myyntiarvot sen energian perusteella, perustuvat yleisillä tasoilla Auris Energiaratkaisun tarjoaman Warmabio-kaasulämmityksen tuottaman lämmöntuotannon intrasivujen julkisten hintojen mukaan, jotka noudattava yleisen kaasukaupan TTF-indeksiä (Title Transfer Facility) ja omiin laskelmiin saatujen hintatietojen ja arvojen perusteella, jos raakakaasua myyntihintaa voidaan soveltaa tällä tavalla, joka siten ei ota kantaa raakakaasun realistiseen myyntiarvoon.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Nykyisellä kuljetusratkaisulla raakakaasun siirtoon maatietäpitkin paineistettuna ei voida soveltaa nykyisellä teknologialla, joka soveltuisi yleisille konttiratkaisuille. Sievin läheisyydessä olisi mahdollisia metaanituottopotentiaaleja maatilojen raaka-aineiden mittakaavassa, mutta pitäisi sekä tarkentaa kohteita maatilojen kohteita ja mahdolliset lisäselvityksiä näiden maatilojen kiinnostusta biokaasutuotannon investoinnista. Nykyisten polttoainehintojen nousujen takia, puuttuvan ja toimivan raakakaasun paineistusteknologian johdosta, järkevin ratkaisu olisi Q Powerin ratkaisu kannattaa soveltaa Scanfilteollisuusalueelle. Täten laitoksen raakakaasun käsittely kannattaa sijoittaa Sievin teollisuusalueelle, jolloin voidaan hyödyntää tehokkaasti teollisuusalueiden eri energiavirtoja. Sekä jalostuksen, että metanointiprosessin sivuvirtoja voidaan täten hyödyntää tehokkaasti, välttyen turhista hukkavirroista.

Alustavien konttiratkaisujen avulla, mahdollinen konttikuljetus kannattavinta konttiratkaisu 4 avulla. Ratkaisu olisi sekä hinnaltaan, että materiaaaliltaan soveltavin raakakaasun siirtämiseen, mikäli raakakaasu saadaan paineistettua kyseiseen paineeseen oikealla teknologialla. Tällä pitäisi osata vaikuttaa paineistuksen aikana oikean lämpötilan pitämiseen ja aineiden määrien hallintaan. Raakakaasun energia-arvo on olisi myös pienempi, pienemmän metaanipitoisuuden johdosta. Mutta kustannuksia ei tulisi jalostuksen kannalta, jolloin maatilalle jäisi voittoa, jos raakakaasun kohde hyödynnetään joko lämpövoimalaitokseen tai erilliselle jalostusyksikölle.

Alustavasti tärkeää on paineistetun konttikuljetuksen johdosta tehtävä reaktorista tulleelle raakakaasulle esipuhdistus ja kuivaus. Raakakaasun sisältämien rikki aiheuttaa veden kanssa rikkivetyä, joka aiheuttaa korroosiota ja vähentää laitteistojen käyttöikää. Lisäksi kaasussa oleva kosteus voi lämpötilojen vaihtelun johdosta aiheuttaa jäätyminen. Raakakaasun esipuhdistuksen jälkeen se sisältäisi pääosin enää metaania ja hiilidioksidia, jonka johdosta voidaan keskittyä vain hiilidioksidin olomuodon muutoksiin ja sen johdosta aiheuttamat ongelmiin. Raakakaasun siirtoon hiilidioksidin kanssa täytyy ottaa huomioon sen olomuodon muutos eli nesteytyminen paineen noustessa. Raakakaasu pitäisi saada pitämään kaasumaisena muodossa paineistamisen yhteydessä, jossa tärkeimpänä elementtinä on lämpötilan pitäminen stabiilisenä sekä paineistuksen yhteydessä, että tyhjentäessä. Kaasun paineen noustessa lämpötila nousee, ja paineen laskiessa lämpötila taas alenee. Tämä pitää siten ottaa huomioon sekä kuljetuksessa, että varastoinnissa, jolloin se ei alkaisi nesteytymään lämpötilan muutoksen johdosta. Tämä nimittäin aiheuttaa ongelmia kompressorien ja muitten laitteistojen kanssa, jotka eivät kestä yleensä hiilidioksidin nestemäistä muotoa ja kuluttavat täten pahasti laitteistoja ja siten vähentävät

käyttöikä huomattavasti. Yleisellä tasolla hiilidioksidi pitää saada pysymään kuvion 6 mukaisen kriittisen pisteen alapuolella, jolloin pysyisi kaasumaisessa muodossa, jossa sen kriittinen piste eli suurimassa paineessa kaasumaisessa muodossa olisi 73,8 bar paineessa ja lämpötilan pitäminen tässä paineessa alle 31 °C. Raakakaasun sekä kuljetuksessa, että säilytyksen kanssa pitää huolehtia tarkasta lämmityksessä. Tällöin omien olettamuksien eri tutkimuksien pohjalta on mielestäni tärkeää panostaa tilan lämmityksen säilymiseen stabiilisenä sekä kuljetuksen ja säilytyksen lisäksi kontteja täyttäessä ja tyhjentäessä. Raakakaasun kuljetuksen paineistettuna tulee ongelmaksi monimutkaisempi prosessijärjestely sen pitäminen kaasumaisessa muodossa, jolloin kustannuksia voi syntyä näiden järjestelyjen ylläpitämiseen, joka tulisi siten helpommaksi ja halvemmaksi jalostetun kaasun kanssa.

Mikäli raakakaasun tai jalostettua kaasua ajateltaisiin maatilojen mittakaava myyntiä paineistettuna alustavalla arvolla, takaisi raakakaasun myyntinä alustavasti kuluista. Joten selvitettiin laitokseen tarvittavalla raakakaasun määrällä yksittäisten maatilojen mittakaavassa, olisiko arvoltaan kannattava myydä suoraan vai jalostettuna. Alustavasti maantiellä paineistuksena raakakaasulle täytyy tehdä esipesu ja kuivaus ennen kuljetusta, mutta ne jätettiin huomiotta.

Alustavasti omien laskelmien ja olettamuksien pohjalta raakakaasun avulla tuotettaisiin voittoa, jolloin raakakaasua suoraan myyntiin olisi kannattava, mikäli sille ostajaa tai sijoituskohde löytyisi. Tehokain ja kannattavin ratkaisu olisi lämmön myyntinä, jossa raakakaasun metaanipitoisuus saataisiin pysymään 75 % puolella. Mutta kaikista tuottavin ratkaisu olisi kaasun jalostus ja käyttömyynti polttoaineeksi, joka tuottaisi se siten kaikista parhaiten, joka voitaisiin tällä hetkellä helpoiten toteuttaa. Vaikkakin biokaasun jalostamisesta tulee kustannuksia puhtaan biometaanin tuottamiseen, jalostuskustannukset eivät olisi merkittäviä sen tuottaman tulojen johdosta.

Lopuksi voidaan todeta aiempien tietojen ja omien laskelmien pohjalta, että raakakaasun paineistukseen ja sen avulla kuljetus joko keskitettyyn laitokseen tai suoraan myyntiä energiatuotantoon, tarjoaisi sen parhaan mahdollisen tuottotavan tavallisille maatiloille, joidenka ei tarvitsisi siten kasvattaa tiloja isojen prosessilaitteistojen johdosta. Sekä takaisi alustavasti omavaraisen energiatuotannon omaan käyttöön ja mahdollista myyntiä tarvittaessa ulkopuolisille.

LÄHTEET

- Alm, M. 2022. Varsinais-Suomen ELY-keskus. TEM toimialaraportti 2022:1. Uusiutuva energia: Biokaasulla kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163758/TEM_2022_01_T.pdf?sequence=1. Viitattu. 22.4.2022.
- Auris Energiaratkaisut Oy. 2021. Warm ja WarmBio lämpöenergian myyntihinnasto. Saatavissa: <https://suomenkaasuenergia.fi/julkaisimme-aern-kaasulammityspalvelun-syyshinnat/>. Viitattu 22.4.2022.
- Bauer, F. Hulteberg, C. Persson, T. Tamm, D. 2013. Biogas upgrading – review of commercial technologies, SGC Rapport 2013:270, Malmö 2012. Saatavissa: <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC270.pdf>. Viitattu 9.3.2022.
- Becker, W. Penev, M. & Braun R. 2019. Production of Synthetic Natural Gas from Carbon Dioxide and Renewably Generated Hydrogen: A Techno-Economic Analysis of a Power-to-Gas Strategy. Journal of Energy Resources Technology. Vol 141. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/327521285_Production_of_Synthetic_Natural_Gas_From_Carbon_Dioxide_and_Renewably_Generated_Hydrogen_A_TechnoEconomic_Analysis_of_a_Power-to-Gas_Strategy. Viitattu 28.2.2022
- Finder Oy. 2022. Sievin kunnan yritystiedot. Saatavissa: <https://www.finder.fi/search?what=Sievi>. Viitattu 2.2.2022
- Gasum 2018. Metaanin käyttöturvallisuustiedot. Saatavissa: https://www.gasum.com/globalassets/pdf-files/ktt-raakabiokaasu_20180201_fin.pdf. Viitattu 15.2.2022.
- Gasum. 2022. Maa- ja biokaasun tankkaushinnat asemilla. Saatavissa: <https://www.gasum.com/yksiyksille/tankkaa-kaasua/tankkaushinnat/>. Viitattu 7.4.2022.
- Luonnonvarakeskus 2022a. Biomassa-atlas biomassojen hakuohjelma. Saatavissa: <https://biomassa-atlas.luke.fi/?lang=en>.
- Luonnonvarakeskus 2022b. Tilastotietokanta. Saatavissa: http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_02%20Maatalous_04%20Tuotanto_12%20Kotielainten%20lukumaara/01_Kotielainten_lukumaara_kevaalla_ELY.px/. Viitattu 2.2.2022.
- Luonnonvarakeskus 2022c. Biokaasulaskuri. Saatavissa: <https://maatalousinfo.luke.fi/fi/laskurit/biogas>. Viitattu 2.2.2022.
- Haavisto, A., Nikkola, J. & Viljanmaa, L. 1996. Kemia: 3, Alkuaineiden kemia; Tutkimus ja teknologia. Uud. laitoksen 1. p. Helsinki: Kirjayhtymä.
- Haimila, P. 2015. Liikennebiokaasun jakelu Mikkelin seudulla: Teknologia-, kustannus – ja kannattavuustarkastelu. Opinnäytetyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tuotantotalouden tiedekunta, Tuotantotalous. <http://www.doria.fi/handle/10024/103406>. Viitattu 7.4.2022.

Hohteri, H. 2021. Maatilojen biokaasulaitosten investointituki nousee. Maaseudun Tulevaisuus. Saatavissa: <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/0b4a5b24-05e0-5c8e-b9d2-9fa78b926a36>. Viitattu 7.4.2022.

Hovland, J. 2017. Compression of raw biogas. A feasibility study. Saatavissa: <https://www.biogas2020.se/wp-content/uploads/2017/06/2217020-1compressionrawbiogas.pdf>. Viitattu 28.2.2022.

Kaasuyhdistys. Biokaasun käyttöturvallisuus. Saatavissa: <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/biokaasun-turvallisuusohje/>. Viitattu. 19.3.2022.

Korpelan Energia Oy. Sähkön myyntihintatiedot. Saatavissa: <https://www.korpelanvoima.fi/sahkon-myynti/sahkoa-kotiin-ja-yrityksille/valitse-sinulle-sopivin-sahkotuote/>. Viitattu 19.3.2022.

Kymäläinen, M & Pakarinen, O. 2015. Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-771-1>. Viitattu 10.2.2022

Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta, 2005. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050390>. Viitattu 9.4.2022.

LUT-University. 2018. Power-to-x (P2X) – Mitä se tarkoittaa ja miten se mullistaa energian- ja ruoantuotannon? Saatavissa: https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/power-to-x-p2x-%E2%80%93-mita-se-tarkoittaa-ja-miten-se-mullistaa-energia-ja-ruoantuotannon-. Viitattu 2.2.2022.

Motiva Oy 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf. Viitattu 10.2.2022.

Motiva Oy. 2020. Syöttötariffi eli takuuhintajärjestelmä. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/ohjaukset/syottotariffi_eli_takuuhintajarjestelma. Viitattu 22.4.2022.

Nylund, N. Erkkilä, K. Söderström, C. RAKETRUCK 2004: Euro 3 kuorma-autokaluston polttoaineen kulutus ja pakokaasupäästöt. 2015. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/1036/HD-energia_RAKETRUCKVuosisrap2004.pdf. Viitattu 3.3.2022.

NordPool. 2022. Europe's leading power market. Vuoden 2021 energiamyynnin keskihinta. Saatavissa: <https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data/1/Dayahead/Area-Prices/FI/Yearly/?view=table>. Viitattu.7.4.2022.

OVA-käyttöturvallisuustiedote, 2017a. Hiilidioksidin käyttöturvallisuustiedote. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/ova/hiilidioksidi.html>. Viitattu 15.2.2022.

OVA-käyttöturvallisuustiedote, 2017b. Metaani käyttöturvallisuustiedote. Saatavissa: <https://www.ttl.fi/ova/metaani.html>. Viitattu 15.2.2022.

Painelaitelaki. 2016. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161144>. Viitattu 9.3.2022.

Ruokavirasto. 2022. Yritystuet. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/tuet-ja-rahoitus/maatalouden-investointituet/>. Viitattu 22.4.2022.

Sievin kunta. 2022. Kuntainfo. Saatavissa: <https://www.sievi.fi/kuntainfo>. Viitattu 2.2.2022.

Suomen Biokierto ja Biokaasu ry. 2021. Saatavissa: <https://biokierto.fi/eun-elpymisrahaa-haettavissa-biokaasu-ja-ravinnekiertoinvestointeihin/>. Viitattu 22.4.2022.

Suomen kaasuyhdistys. 2014. Maakaasun käsikirja. Saatavissa: <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/maakaasun-kasikirja/>. Viitattu 15.2.2022.

Taavitsainen, T. 2006. Maatalouden biokaasulaitoksen perustaminen ja turvallisuustarkastelu. Savonia-ammattikorkeakoulun julkaisusarja D 5/2006. Kuopio: Kuopion kaupungin painatuskeskus 2006. Viitattu 10.2.2022.

The engineer toolbox 2022a. Methane - Thermophysical Properties. Saatavissa: https://www.engineeringtoolbox.com/methane-d_1420.html. Viitattu 15.2.2022

The engineer toolbox 2022b. Carbon dioxide- Thermophysical Properties. Saatavissa: https://www.engineeringtoolbox.com/CO2-carbon-dioxide-properties-d_2017.html. Viitattu 15.2.2022.

TUKES. 2017. ATEX-starttipaketti. Saatavissa: <https://tukes.fi/documents/5470659/8293726/ATEX-starttipaketti-2017.pdf/b440ed57-218e-4eda-a5b9-42df468e0b5f/ATEX-starttipaketti-2017.pdf>. Viitattu 9.3.2022.

TUKES. 2018. Koulutusaineisto: Räjähdyksvaaralliset tilat. Saatavissa: <https://tukes.fi/teollisuus/rajahdyksvaaralliset-tilat#1fa4c755>. Viitattu 9.3.2022.

TUKES. 2022. Maakaasu ja biokaasun käsittely ja varastointi. Saatavissa: <https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-biokaasu/biokaasu>. Viitattu 9.3.2022.

Työtehoseuran valtakunnallinen koulutus-, tutkimus- ja kehittämisorganisaatio. Saatavissa: https://www.tts.fi/tutkimus_ ja_ kehitys/tutkimushankkeet/maatalous/koneurakointi/lisatietoa_koneurakoinnista/kustannuslaskenta. Viitattu 17.2.2022.

Valtioneuvoston asetus räjähdyskelpoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta. 2003. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030576>. Viitattu 9.4.2022.

Valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta. 2009. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090551>. Viitattu 9.4.2022.

Valtioneuvoston asetus maakaasu-, nestekaasu- ja öljylämmityslaitteistojen asennus- ja huoltotoimintaa sekä maanalaisten öljysäiliöiden tarkastusta harjoittavien hyväksymisestä. 2012. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120558>. Viitattu 9.4.2022.

Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta. 2015. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150685>. Viitattu 9.4.2022.

Woikoski Oy. 2022 Hiilidioksidin tuotekuvaus. Saatavissa: <https://www.woikoski.fi/hitsaus/hitsaus-kaasut/hiilidioksidi.html>. Viitattu 15.2.2022.

Woikoski Oy. 2021. Hiilidioksidin käyttöturvallisuustiedote. Saatavissa: https://www.woikoski.fi/media/02-teollisuus-ja-elintarviketeollisuus/kaasut/kayttoturvallisuustiedote/hiilidioksidi_kayttoturvallisuustiedote_woikoski.pdf. Viitattu 15.2.2022.

Q Power 2022a. Yrityksen intrasivut. Saatavissa: <https://qpower.fi/fi/>. Viitattu 10.2.2022.

Q-Power 2022b. Yksityinen sähköposti. Viitattu 10.2.2022.

LIITTEET

LIITE 1

Laitoshyväksyntä ja Elinkeinoilmoitus

Biokaasulaitokset, jotka käsittelevät maatilaluokan orgaanisia raaka-aineita laitoksessa ja siitä syntyvä mädätysjäännöstä joko sen omilla pelloilla tai lannanlevityssopimuksen piirissä olevilla pelloilla, tarvitsevat tämän luvan. Lisäksi, mikäli laitoksella käsitellään laitoksen ulkopuolelta tulevia raaka-aineita, tai mädätysjäännöstä aiotaan markkinoida sen ulkopuolella, täytyy sen hakea laitoshyväksyntää elinkeinoilmoituksen kanssa tai myydään lannoitteena, vielä erikseen täyttää lannoitelainsäädännön 539/2006 laatuvaatimukset. Sekä laitoshyväksyntää, että elinkeinoilmoitus haetaan Elintarvikevirastolta eli Eviralta. (Taavitsainen 2006, 14–15.)

LIITE 2**Rakennus- tai toimenpidelupa**

Biokaasulaitokset rakentamiseen tarvitaan maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaiset rakennus- tai toimenpideluvan, jonka lisäksi laaditaan luvan liitteeksi laitoksen rakennepiirustukset laitoksesta. Lopuksi laitoksen valmistuttua ennen käyttöönottoa, tehdään sille rakennuslain mukainen loppukatselmuks, johon voi tarvittaessa osallistua pelastusviranomainen. Joissain tapauksissa rakennusvalvonta voidaan hyväksyä eli käyttöönottaa tietyin edellytyksin ennen loppukatselmuksista. (Taavitsainen 2006, 15.)

LIITE 3**Ympäristölupa**

Biokaasulaitokset tarvitsevat ympäristölainsäädännön 86/2003 ja 169/2000 mukaisen ympäristöluvan, joka vaaditaan toiminnan mahdollisella ympäristön vaarantumisella ja pilaantumisella, jota toiminta voi aiheuttaa. Lupa täytyy laittaa liikkeille ennen laitoksen aloittamista ja toimintaa ei saa aloittaa ennen kuin lupapäätös on lainvoimainen lupaviranomaisen johdosta, joka maatilaluokan tapauksissa on joko kunta tai alueellinen ympäristökeskus. (Taavitsainen 2006, 15.) Lupaviranomainen määräytyy laitoksen eli toiminnan laajuuden mukaan, joka määräytyy ympäristösuojeluasetuksen 169/2000 asettaman eläin- ja jätemäärän mukaan, jona näkyvissä liitteissä (Taavitsainen 2006, 15).

LIITE 4**Pelastussuunnitelma**

Ennen laitoksen käyttöönotto on laadittava pelastussuunnitelma asetuksen 379/2011 mukaan, jolla pyritään ennaltaehkäisemään vaaratilanteet, ryhdytään vaaratilanteen sattuessa sen vaatimiin toimenpiteisiin ja tulipalon sattuessa sammutuksen vaatiman välineistöt ovat oikeanlaiset.

Ilmoitus pelastusviranomaisille

Biokaasulaitoksen toiminnanharjoittaja on tehtävä ilmoitus vaarallisten kemikaalien käsittelystä ja varastoinnista, joka määräytyy laitoksen läheisyydessä käytettävien vaarallisten kemikaaleista, niiden määristä ja raja-arvoista, joka määräytyy vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista asetuksen 59/1999 mukaan. Raja-arvot on esitetty raja-arvoissa tonneina, jotka voivat esiintyä laitoksen putkistoissa, varastoinnissa tai laitteissa. Raja-arvon ylittyessä laitos on ilmoitusvelvollinen. Biokaasun sisältäen metaania, määritellään se erittäin helpoksi syttyväksi kaasuseokseksi, jonka määrä erityisesti, jonka raja-arvot ja niiden vaatiman toimenpiteet määräytyvät 59/1999 mukaan. Biokaasun ilmoitusraja ylittyy 1 tonnin kohdalla ja 5 tonnin jälkeen vaaditaan erillinen lupa Tukesilta. Yleisellä tasolla vaarallisten aineiden ilmoitus- ja lupahakemus arvioidaan niiden toiminnan laajuuden ja niiden ominaisuuksien mukaan, joka määritetään seuraavan kaavan 2 avulla, joka noudattaa asetuksen 59/1999, 12 § kohtaa (Taavitsainen 2006, 39–40):

$$s = \frac{q_1}{Q_1} + \frac{q_2}{Q_2} \dots \frac{q_n}{Q_n} \quad (2)$$

, Jossa

s = suhdelukujen summa

q = Laitoksessa olevien kemikaalien määrä

Q = Asetuksen 1 osan 2 vastaava vähittäismäärä

Ilmoitus on tehtävä pelastusviranomaisille, jos yhdenkin vaarallisen kemikaalin ilmoitusraja ylittyy tai kahden vaarallisen kemikaalin suhdeluku on suurempi kuin 1.

- Ilmoitus Pelastusviranomaisille on tehtävä säädöstä 59/1999 mukaan, jossa on selvittävä:

- ➔ Laitoksen harjoittajan tiedot ja laitoksen sijainti
- ➔ Laitoksessa käsiteltävien vaarallisten kemikaalien käsittely, käyttölaitteistot ja varastoinnin kemikaalien määrät.
- ➔ Toiminnan aloitusajankohta.
- Lisäksi laitoksessa käsiteltävien vaarallisten kemikaalien kanssa täytyy tehdä erillinen liite vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista asetuksen 484/2005 mukaan.
- ➔ Käyttöturvallisuustiedotteet käsiteltävistä kemikaaleista
- ➔ Selvitys kemikaalien käytössä laitoksessa

- ➔ Selvitys mahdollisista häiriö- ja vaaratilanteista kemikaalien kanssa, lisäksi paljotorjunnasta ja sammutuskalustoista.

LIITE 6**Räjähdysasiakirja**

Räjähdysasiakirja on laadittava sellaisissa kohteissa, missä käsitellään vaarallisia räjähtäviä kemikaalisia tuotteita ja joidenka tiloissa työntekijät ovat läsnä. Biokaasulaitoksessa käsiteltävä metaani on erityäin helposti syttyvä kaasu, jonka johdosta asiakirja on laadittava. Sen voi laatia joko toiminnanharjoittaja tai laitevalmistaja, joka valmistaa laitoksen kyseistä laitekonceptia. (Taavitsainen 2006, 16–17.)

Sopimukset sähkö- ja verkkoyhtiön kanssa

Kaikki laitokset, jotka aikovat tuottaa sähkö, täytyy verkkoon liittymisestä sopia paikallisen verkkoyhtiön kanssa, riippuen tuotetaanko vain omaan käyttöön tai yleiseen jakoon. Biokaasulaitoksen harjoittajan on tehtävä seuraava sopimukset tai tarkistaa seuraavasti (Taavitsainen 2006, 16.):

- ➔ Liittymissopimukset: Yleisellä tasolla kaikilla mautiloilla on yleinen liittymissopimus paikallisen verkonjakajan kanssa, mutta biokaasulaitoksen yhteydessä tarkistus tulee tehdä, jossa muutoksia voi tulla näiden välisten johdotuksien kanssa, jonka kokoa täytyy muuntaa sähköntuotannon mukaan. (Taavitsainen 2006, 16.)
- ➔ Verkkosopimus: Sopimus täytyy laatia paikallisen jakeluverkkohaltijan kanssa, jossa sovitaan sähkönsiirrosta laitoksesta yleiseen verkkoon ja sen ostosta. (Taavitsainen 2006, 16.)
- ➔ Myyntisopimus: Myyntisopimus laaditaan sähkönsiirron myyjän ja sähkönsiirron myyntiyhtiön kesken, jossa sähkönsiirron tuottaja voi kilpailuttaa myyntiyhtiöt ja valita ostajan parjaan tarjouksen mukaan. Myyntiyhtiö toimii sekä sähkönsiirron ostajan lisäksi sen myyjänä laitoksen tuotettua yli tuotetun ja tarvittavan määrän. Myyntisopimuksen voi tehdä ainoastaan yhden yhtiön kanssa. (Taavitsainen 2006, 16.)