

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

FOSSIILISEN PROPAANIN KORVAAMINEN BIOMETAANILLA

TEKIJÄ Ville Nissinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Ville Nissinen	
Työn nimi Fossiilisen propaanin korvaaminen biometaanilla	
Päiväys 8.5.2025	Sivumäärä/Liitteet 42
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Boliden Harjavalta Oy	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Boliden Harjavalta Oy. Yrityksessä on tunnistettu kohde, jossa käytetään fossiilista polttoainetta lämmön tuotantoon ja jossa polttoaineen vaihdos uusiutuvaan polttoaineeseen olisi mahdollista toteuttaa tulevan laitemodernisoinnin yhteydessä. Toimeksiantaja halusi, että työssä selvitetään biometaanin ominaisuuksia verrattuna nykyiseen polttoaineeseen sekä millaisia muutoksia polttoaineen vaihdos vaatisi säiliön infrastruktuuriin ja apulaitteisiin.</p> <p>Työssä perehdyttiin biokaasuun ja sen jalostettuun muotoon biometaaniin. Työssä tarkasteltiin biometaanin soveltuvuutta toimeksiantajan pilottikohteessa. Työssä tutkittiin biokaasuteknologiaa, -lakia ja -varastointiratkaisuja aiheista julkaistujen materiaalien pohjalta. Muiden toimijoiden paineistetun biometaanin varastointiratkaisuja havainnoitiin sekä yritysten verkkosivujen pohjalta että julkisia kuvia hyödyntäen. Toimeksiantajalla oli tehtynä myös aiempia selvityksiä aiheesta ja näitä selvityksiä sovellettiin työssä. Työn toimeksiantajaa haasteltiin ja pilotointihankkeen prosessiin perehdyttiin paikan päällä yhdessä laitteiston huoltajan edustajan kanssa. Maastokatselmuksen ja satelliittikuvien pohjalta voitiin selvittää toimeksiantajalle paineistetun biometaanin eri varastointimahdollisuuksia selvitettyyn taustamateriaaliin peilaten. Tietoa lainsäädännöstä, muiden yritysten toteutuneista projekteista, biometaanilaitteistoista, varastointimahdollisuuksista, päästöistä ja päästökaupasta etsittiin julkaisuista. Kerätyn tiedon ja selvitysten pohjalta toimeksiantajalle luotiin vaihtoehtoja paineistetun biometaanin varastointiratkaisuihin liittyen. Lisäksi määritettiin hankkeen taloudellisia vaikutuksia ja biometaaniin liittyviä muita mahdollisuuksia.</p> <p>Työssä todettiin, että polttoaineen vaihto uusiutuvaan polttoaineeseen on mahdollista ja kohteeseen sopisi kaksi paineistetun biometaanin kaasunsiirtokonttia. Toinen kaasunsiirtokontti olisi vaihdettavissa terässäiliöstä koostuvaan bufferikonttiin, mikä toisi toimeksiantajalle säästöjä ja helpotusta luvitukseen. Arvio koko projektille olisi kaikkienensa noin luokkaa 0,8 miljoonaa Euroa 50% tarkkuudella. Kokonaishinnassa ei ole huomioitu mahdollisia ongelmatilanteiden mallinnuksia, putkistotöitä, asennustöitä, käyttöönottoa, tarkastuksia, asiakasliittymälaitteita ja turva-automaatiota. Uusiutuvan polttoaineen käyttö kohteessa olisi vuodessa noin 20% kalliimpaa verrattuna nyt käytettyyn fossiiliseen polttoaineeseen. Hiilidioksidipäästöistä saavutettu säästö olisi noin 14 000 Euroa vuodessa.</p>	
Avainsanat Polttoainevaihdos, Biokaasuteknologia, Biometaani, Päästövähennä	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author(s) Ville Nissinen	
Title of Thesis Replacing fossil propane with biomethane	
Date 8.5.2025	Pages/Appendices 42
Client Organisation /Partners Boliden Harjavalta Oy	
<p>Abstract</p> <p>The thesis was commissioned by Boliden Harjavalta Oy. The company has identified a site where fossil fuel is used for heat production and where a fuel change to renewable fuel would be possible in connection with a future equipment modernization. The client wanted the work to investigate the properties of biomethane compared to the current fuel and what changes the fuel change would require to the storage infrastructure and auxiliary equipment.</p> <p>The work examined biogas and its refined form biomethane and the suitability of biomethane at the client's pilot site. The work investigated biogas technology, -law and -storage solutions based on published materials on the topics. Other companies compressed biomethane storage solutions were observed both on the basis of the companies websites and using public images. The client had also conducted previous studies on the topic and these studies were applied in the work. The client was interviewed and the pilot project process was familiarized with on-site together with a representative of the equipment maintainer. Based on the field survey and satellite images, the client was able to find out about the various storage options for compressed biomethane, reflecting the background material studied. Information on legislation, completed projects by other companies, biomethane equipment, storage options, emissions and emissions trading were searched in publications. Based on the information collected and the studies, alternatives were created for the client regarding compressed biomethane storage solutions. In addition, the economic impacts of the project and other opportunities related to biomethane were determined.</p> <p>The work found that switching to renewable fuel is possible and that two compressed biomethane gas transport containers would be suitable for the site. The second gas transport container could be replaced with a buffer storage which gas containers are made from steel, which would bring savings to the client and facilitate permitting. The estimate for the entire project would be approximately 0.8 million Euros with an accuracy of 50%. The total price does not take into account possible problem modeling, piping work, installation work, commissioning, inspections, customer premises equipment and security automation. The use of renewable fuel at the site would be approximately 20% more expensive compared to the fossil fuel currently used. The savings achieved in carbon dioxide emissions would be approximately 14,000 Euros per year.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Fuel exchange, Biogas technology, Biomethane, Emission reduction</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	TOIMEKSIANTAJAN KOHTEEN ESITTELY	6
3	BIOKAASU	9
3.1	Raakabiokaasu.....	9
3.2	Biometaani	12
3.2.1	Biometaanin käsittely, kuljetus ja varastointi	13
3.2.2	Paineistetun biometaanin tuotanto, saatavuus ja laitteistojen toimittajat	13
3.2.3	Paineistetun biometaanin varastointiratkaisut	16
3.2.4	Biokaasun edut, syntyvät päästöt ja haitat	16
4	NESTEKAASU ELI PROPAANI	18
4.1	Propanin päästöt.....	18
5	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AIKATAULUTUS.....	19
6	PROPAANIN JA BIOMETAANIN PÄÄSTÖJEN KUSTANNUKSET.....	20
7	BIOKAASULAINSÄÄDÄNTÖ	21
7.1	Lainsäädäntö	21
8	TURVALLISUUS- JA KEMIKAALIVIRASTO	22
8.1	Rakentamislupa ja ilmoitukset.....	23
8.2	Biometaanin varastointi	23
8.3	Käytönvalvojan nimeäminen	24
8.4	Asennus, tarkastus ja käyttöluva.....	24
9	PAINEISTETUN BIOMETAANIN LAITTEISTOKOKONAISUUS.....	25
10	PAINEISTETUN BIOMETAANIN VARASTOINTIRATKAISUIDEN SOVELTUVUUS KOHTEESSA	27
10.1	Biometaanin varastointiratkaisun ja polttoainevaihdon kustannukset	28
10.2	Ulkoalueen soveltuvuus paineistetulle biometaanille	29
10.3	Kaasuvaraston suojaetäisyydet	30
11	POHDINTA.....	32
11.1	Tutkimusmenetelmien ja opinnäytetyöprosessin pohdinta.....	32
11.2	Opinnäytetyön tulosten pohdinta	32
12	LÄHDELUETTELO.....	37

1 JOHDANTO

Euroopan unionin uusiutuvan energian direktiivin päivityksen myötä nostettiin uusiutuvien energialähteiden osuuden tavoitetta EU-tasolla 42,5 %:iin vuoteen 2030 mennessä. EU-maita kannustetaan kuitenkin tavoittelemaan jopa 45 prosentin osuutta. Tavoitteena on vähentää kasvihuonepäästöjä sekä vähentää riippuvuutta venäläisestä tuontienergiasta (Europarl 2024.) Tämä näkyy myös kansallisen lainsäädännön päivityksenä, jonka tavoitteena on päästä kansallisella tasolla asetettuihin tavoitteisiin (Ympäristöministeriö 2023). Yritystasolla suunnitellaan toimenpiteitä lisätä uusiutuvan energian käyttöä ja jotta on mahdollista päästä asetettuihin tavoitteisiin vuoteen 2030 mennessä, on toimenpiteiden suunnittelu sekä toteuttaminen käynnistettävä pikaisesti. Koska kysyntä uusiutuville energialähteille kasvaa, on havaittavissa myös tarjonnan/saatavuuden kasvua (Ilmasto-opas 2022.)

Tämän työn toimeksiantaja on Boliden Harjavalta Oy (myöhemmin Boliden Harjavalta). Yrityksellä on toimipiste Harjavallassa sekä Porissa. Boliden Harjavalta tuottaa päätuotteenaan metalleja kuten kuparia, nikkeliä, kultaa ja hopeaa sekä rikkihappoa (Boliden 2024a.) Boliden Harjavallassa on asetettu tavoite vähentää toiminnan suorista sekä ostoenergiasta syntyviä hiilidioksidipäästöjä 41 %:a vuosien 2021 ja 2030 välisenä aikana (Boliden 2024b). Yrityksessä on tunnistettu kohde, jossa käytetään fossiilista polttoainetta lämmön tuotantoon ja jonne suunnitellaan modernisointia. Laitteiston modernisoinnin yhteydessä olisi mahdollista toteuttaa polttoaineen vaihdos fossiilisesta polttoaineesta uusiutuvaan polttoaineeseen. Boliden Harjavalta haluaisi selvittää, voidaanko kohteessa käytetty propaanisäiliö ja sen apulaitteet korvata biometaanilaitteistolla, mitä toimenpiteitä se vaatisi, millainen olisi 50 %:n tarkkuudella laadittu kustannusarvio näistä kustannuksista sekä millainen päästövähennys biometaaniin siirtymisellä voidaan saavuttaa.

Yrityksen näytteenvalmistuosastolla on polttouuni, jossa käsitellään elektroniikkaromua. Uunissa syntyviä savukaasuja poltetaan savukaasujen jälkipolttimessa noin 800°C lämpötilassa, jotta syntyneet dioksiini ja furaanipäästöt hajoavat. Modernisoinnin tavoitteena on korottaa jälkipolttimen lämpötilaa tehostamaan päästöjen hajoamista. Savukaasujen jälkipolttimen modernisointia suunnitellaan myös turvallisuussyistä (Malmi 2024.) Laitteiston turva-automaatiota pitäisi päivittää, sillä sen tulisi olla riippumaton käyttöautomaation suojaustoiminnoista (Tukes 2021).

Työn aihe rajataan koskemaan polttoaineen varastointia sekä siihen liittyviä oheislaitteita. Toimeksiantajan antamien tietojen, lainsäädännön ja Turvallisuus- ja kemikaaliviraston vaatimusten perusteella pyritään selvittämään kaavaillun alueen soveltuvuus biometaanin varastointiin. Tutkimuskysymykset liittyvät rakennuksen ulkopuolella olevan kaasuinfran muutoksiin. Rakennuksen sisällä oleva laitteistokokonaisuus käydään työssä lyhyesti läpi.

2 TOIMEKSIANTAJAN KOHTEEN ESITTELY

Kohteen laitteisto koostuu sisätiloissa olevasta polttokaapista, savukaasujen jälkipolttimesta, kaasuputkistosta sekä ulkona olevasta höyrytimestä, polttoainesäiliöstä ja muista polttoprosessin oheislaitteista. Savukaasujen jälkipolttimessa käytetään propaania polttoaineena. Laitteisto käytiin läpi yhdessä toimeksiantajan edustajan ja huoltoedustajan kanssa.

Näytteenvalmistusosastolla polttokaapissa muovipitoiset elektroniikkaromut esikäsitellään polttamalla näytteet 350 °C lämpötilassa. Käsittelyssä muodostuneet palokaasut poltetaan jälkipolttimessa 750 °C:n lämpötilassa. Savukaasujen jälkipolttimessa käytetään propaania polttoaineena. Tavoitteena näytteiden esikäsitteilyllä on nopeuttaa ja tehostaa niille suoritettavaa seuraavaa työvaihetta eli pyriittisulatusta ja samalla määritetään massan muutokseen perustuva polttohäviö, jota käytetään raaka-aineen lämpöenergian arvioimisessa sekä ympäristöosastolla laskennassa. Lisäksi polttoprosessi toimii varsinaisena näytteenvalmistustapana tietyille rikkihappopitoisille näytteille sekä pelletöidylle elektroniikkaromulle. Näytteiden sisältämä kloori muodostaa esikäsitteilyssä dioksiini ja furaaniyhdisteitä (PCDD/F), joiden hajottaminen vaatii korkeaa lämpötilaa savukaasujen jälkipolttimessa. Polttoaineena jälkipoltin käyttää propaania, jonka vuosikulutus on noin 56 000 kg vuodessa. Kuvassa (kuva 1.), vasemmalla näkyy vihreä polttokaappi ja oikealla harmaa lieriö on jälkipoltinkammio, jonka alaosasta löytyy palamisilmapuhallin (kuva 2.) ja itse jälkipoltin (kuva 3.) (Malmi 2024.)



KUVA 1. Polttokaappi, poltin ja oheislaitteet (Nissinen 2023).



KUVA 2. Palamisilmapuhallin (Nissinen 2023).



KUVA 3. Jälkipoltin (Nissinen 2023).

Propani on varastoitu kuvan (kuva 5.) mukaisesti rakennuksen ulkopuolella olevassa säiliössä. Säiliö on aidattu ja lukittu. Säiliön tilavuus on 9500 litraa. Propanisäiliö sijaitsee rakennuksen itäisellä sivustalla. Propanin polttaminen vaatii myös nestekaasuhöyrystimen, jotta propaani voidaan saattaa kaasumaiseen muotoon. Alueen koko on esitetty kuvassa (kuva 4.). Tälle alueelle tulisi mahtua painestetun biometaanin kaasunsiirtokontit sekä muut ulkopuolisen infran vaatimat oheislaitteet (Malmi 2024.)



KUVA 4. Ilmakuva polttoainesäiliön alueesta. Polttoainesäiliö löytyy keskeltä kuvasta (Google Maps 2024a).



KUVA 5. Polttoainesäiliö ja säiliön oikealla puolella rakennuksen seinustalla oleva nestekaasuhöyrystin (Malmi 2024).

3 BIOKAASU

Termillä biokaasu viitataan usein raakabiokaasuun, joka on tuotettu hapettomasti mädättämällä tai saatu talteen kaatopaikalla muodostuneesta luontaisesta metaanista (Motiva 2020a). Puhekielessä termi biokaasu ei yleensä kerro kaasuseoksen puhdistus- ja jalostustasosta. Kaasuautoilijan kuulekin usein tankkaavan autoonsa biokaasua, vaikka teknisesti henkilöautoilija tankkaa autoonsa paineistettua biometaania. Kaasun lopullinen käyttötarkoitus määrittää kaasun laadulliset vaatimukset (Jaakkola 2015, 56.)

3.1 Raakabiokaasu

Hapettomissa olosuhteissa orgaanisesta jätteestä syntyy raakabiokaasua. Raakabiokaasua voidaan tuottaa monista erilaisista eloperäisistä materiaaleista, kuten biojätteestä, kasvibiomassasta, lannasta, jätevesilietteestä, jätevesistä ja teollisuuden sivutuotteista. Raakabiokaasua saadaan reaktoreissa mädättämällä tai suoraan kerättynä kaatopaikalta (Suomen biokierto & Biokaasu ry 2022a.)

Raakabiokaasu koostuu lähinnä 50-70% metaanista, 30-50% hiilidioksidista ja pienistä määristä muita yhdisteitä (Kinnunen & Rintala 2015, 17-18). Raakabiokaasu pitää metaanin ja hiilidioksidin lisäksi sisällään pieniä määriä vettä, rikkivetyä, typpeä, siloksaania ja muita epäpuhtauksia (Motiva 2020a). Siloksaanit ovat polymeerisiä yhdisteitä. Polymeerit ovat pitkiä molekyyliä, jotka koostuvat toistuvista pienemmistä yksiköistä. Siloksaani molekyylirakenteessa on vuorotellen pii- ja happiatomeja. Siloksaanit päätyvät biokaasuun yleensä jätevesien kautta. Siloksaaneja käytetään muun muassa vettä hylkivien materiaalien- ja kosmetiikan raaka-aineina (EBA, 2024; Tuset, 2024.) Tässä työssä termillä biokaasu tarkoitetaan raakabiokaasua. Raakabiokaasun sisältämän metaanin osuus vaihtelee kaasuseoksen tuotantotapojen ja tuotanto-olosuhteiden mukaan (Al Seadi, ym. 2008, 41). Mädätyksessä syntyvä käsittelyjännös kerätään talteen jatkokäyttöä varten (Kinnunen & Rintala 2015, 18-19).

TAULUKKO 1. Raakabiokaasun sisältämiä yhdisteitä ja niiden vaikutus prosessiin, ympäristöön ja mahdollinen puhdistusmenetelmä (Lampinen 2015, 131).

Yhdiste	Vaikutus prosessiin	Vaikutus ympäristöön	Puhdistusmenetelmät
Vesihöyry	Kemiallinen-/eroosiokorroosio, jäätyminen → tukkiutuminen	-	Absorptio (silikageeli), adsorptio (glykoli), paineistus, jäähdytys
Rikkiyhdisteet	Pistesyöpyminen, rikki reagoi veden kanssa tuottaen rikkihappoa, korkeissa lämpötiloissa reagoi herkästi muiden aineiden kanssa	Happamoituminen, myrkyllisyys, haju	Biologinen, absorptio (vesi), adsorptio (rauta, aktiivihili)
Halogenoidut hiilivedyt	Syöpyminen, raejakorroosio, voivat reagoida veden kanssa ja muodostaen vahvoja happoja, haurastuttaa mm. muovia/kumia	Happamoituminen, myrkyllisyys	Absorptio, adsorptio, jäähdytys
Ammoniakki	-	Myrkyllisyys, rehevöityminen	Absorptio (vesi), adsorptio
Siloksaanit	Karstoittuminen	-	Absorptio (aktiivihili, silikageeli), kemiallinen adsorptio, jäähdytys
Hiukkaset	Karstoittuminen	-	Absorptio, suodatus, sykroni
Happi	Räjähdy- tai leimahdusvaara	-	Adsorptio, kemiallinen

Taulukossa (taulukko 1.) on esitetty raakabiokaasusta löytyvien yhdisteiden vaikutuksia sekä prosessiin että ympäristöön. Taulukossa on esitetty myös mainitun yhdisteen mahdollinen puhdistustapa.

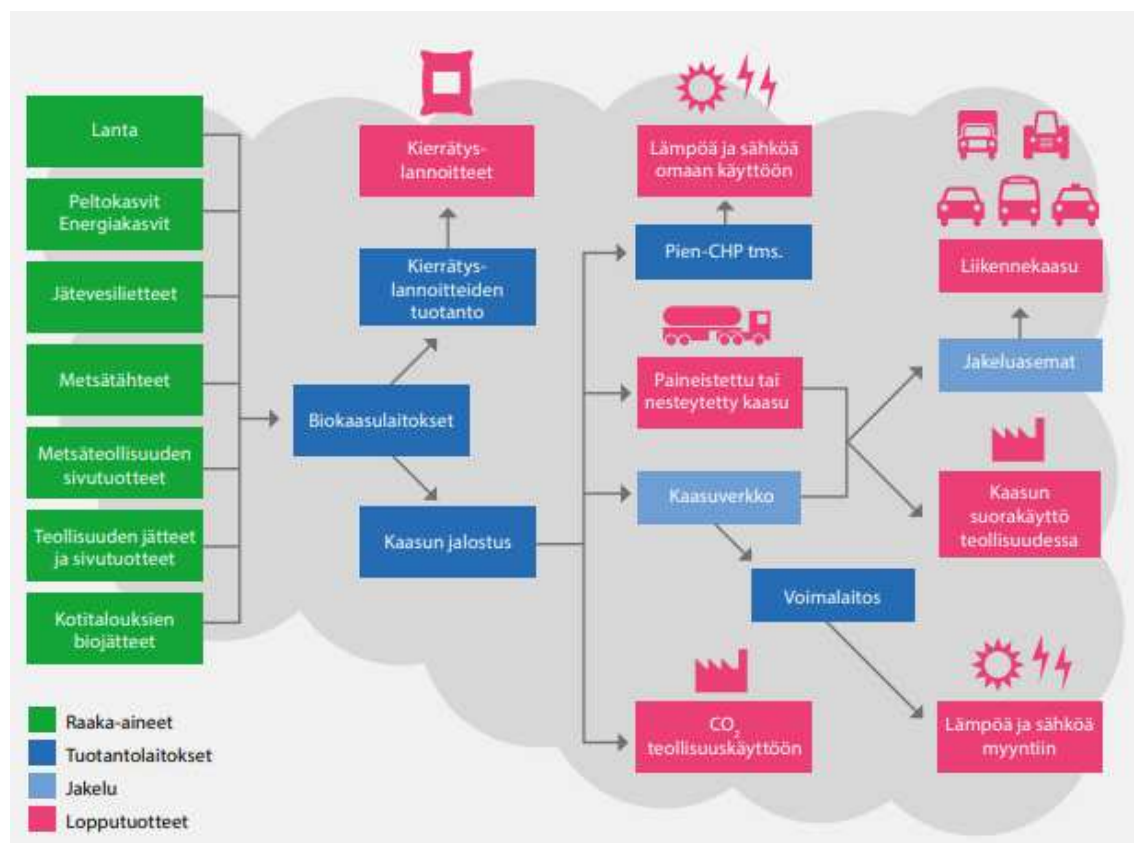
Kaasuseoksen korkea hiilidioksidipitoisuus laskee kaasun energiatihyyttä. Puhdistamatonta biokaasua ei ole järkevää varastoida, vaan biokaasu tulee jatkopalostaa, jotta varastointi olisi kustannustehokasta ja järkevää (Latvala 2009, 41-43 & 69-70). Raakabiokaasun suunniteltu loppusijoituskohte sanelee vaadittavan metaanipitoisuuden sekä puhdistettavat että poistettavat yhdisteet. Puhdistuksessa poistetaan vähintään rikkivety, vesi ja siloksaanit. Puhdistettua biokaasua voidaan useimmiten käyttää sellaisenaan sähkön- tai lämmöntuotannossa. Puhdistettu biokaasu voidaan jatkopalostaa esimerkiksi liikennemetaanimoottoreille sopivaksi kasvattamalla kaasun energiasisältöä. Puhdistetusta biokaasusta saadaan biometania, kun metaani ja hiilidioksidi on lähes kokonaan saatu erotettua toisistaan. Jalostetun biokaasun metaanipitoisuus on yleensä 95-99%. Yhdisteistä käytetään myös nimeä biometani (Lampinen 2015.)

Kuvassa (kuva 6.) on esitetty lyhyesti, miten biokaasun syötteistä saadaan tuotettua biometaania eri prosessien kautta ja miten tuotetta voidaan hyödyntää. Vihreällä pohjalla toimenpide ja sinisellä pohjalla tuote (Gasum 2024a.)

Biohajoavat elintarvikkeet ja jätteet	
↓	
Esikäsittely	Jäte murskataan ja jätteeseen lisätään nestettä.
↓	
Kuumennus	Biojäte lämmitetään haluttuun lämpötilaan.
↓	
Mädätys	Mikrobit hajottavat orgaanista ainesta ja tuottavat raakabiokaasua ja kiintoaineita.
↓	
Raakabiokaasu	Metaanipitoisuus on alle 80%. Yleinen koostumus 50-70% metaani, 30-50% hiilidioksidi ja pieniä määriä vettä, rikkivetyä, typpeä, siloksaania ja muita epäpuhtauksia. Ei kelpaa juuri mihinkään moderniin hyötykäyttöön.
↓	
Puhdistus	Lopullinen käyttökohde ja laitevalmistajan vaatimukset ratkaisevat vaadittavan puhdistustason ja metaanipitoisuuden.
↓	
Puhdistettu biokaasu	Vähintään rikkivety, vesi ja siloksaanit on poistettu. Voidaan useimmiten käyttää sellaisenaan sähkön- ja lämmöntuotannossa.
↓	
Jalostus	Metaanipitoisuuden tulee olla jalostamisen jälkeen vähintään 85%.
↓	
Jalostettu biokaasu/ biometaani	Jalostetun biometaanin metaanipitoisuus on yleensä 95-99% ja voidaan syöttää sellaisenaan kaasuverkkoon. Metaani ja hiilidioksidi on erotettu lähes kokonaan toisistaan ja laskettu typpikaasujen osuutta.

KUVA 6. Biometaanin valmistuksen vaiheet (Gasum 2024a).

Biokaasuliiketoiminnan elinkaarta voidaan kuvata kuvan (kuva 7.) mukaisella tavalla.



KUVA 7. Kuvaus biokaasun syötteistä, tuotantolaitoksista, jakeluvaihtoehdoista sekä lopputuotteista (Mutikainen 2016, 4).

3.2 Biometaan

Biokaasu voidaan jalostaa biometaaniksi erilaisia menetelmiä hyödyntäen. Jalostusmenetelmän valintaan vaikuttaa esimerkiksi biokaasun lopullinen käyttötarkoitus, metaanipitoisuuden tavoitearvo, investoinnin suuruus ja olosuhteet. Kilo jalostettua biokaasua eli biometaanina sisältää energiaa noin 13,8 kWh tai vaihtoehtoisesti 50 MJ. Kustannustehokkain ja käytetyin menetelmä on biokaasun vesipesu. Vesipesulla on helppo poistaa hiilidioksidia ja samalla muita epäpuhtauksia, kuten rikkiyhdisteitä. Biometaanii sopii käytettäväksi kaikissa liikennemetaanimootoreissa metaanipitoisuuden ollessa vähintään 95 % (Lampinen 2015, 126-131.) Taulukossa (taulukko 2.) on eritelty muita jalostusmenetelmiä hiilidioksidin erotteluun ja muiden epäpuhtauksien poistoon (Lampinen 2015, 131).

TAULUKKO 2. Biokaasun jalostamisen menetelmät (Lampinen 2015, 131).

Biokaasun jalostamisen menetelmät
Vesipesu
Kemikaalipesu
Paineenvaihteluadsorbtiio -menetelmä
Membraanierotus eli kalvojalostus
Kemiallinen absorptio eli amiinipesu
Kryojalostus

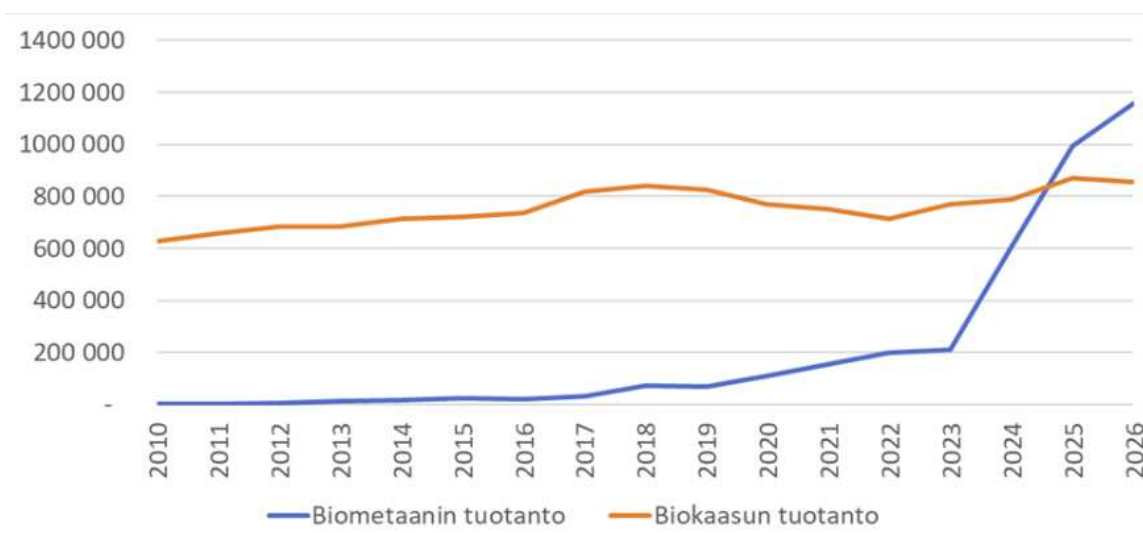
3.2.1 Biometaanin käsittely, kuljetus ja varastointi

Biometaani voidaan nesteyttää jäädyttämällä kaasua ja vastaavasti täytyy höyrystää ennen käyttöä. Biometaani nesteytyy noin $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Nesteyttämisen tarkoituksena on puristaa kaasu mahdollisimman pienen tilaan, joka helpottaa biometaanin liikuteltavuutta ja varastointia. Nesteytetyn biometaanin tiheys on noin 600 kertaa suurempi kuin kaasumaisen biometaanin tiheys normaalipaineessa. Tämä tarkoittaa, että sama massa biometaania vie nesteytettyinä noin 600 kertaa pienemmän tilavuuden. Nesteytetyn biometaanin varastointi ja varsinkin pitkäaikainen varastointi on ongelmallista. Mikäli varastoidulla kaasulla ei ole kulutusta, niin nesteytetty biometaani alkaa höyrystymään varastointisäiliön lämmitessä. Nestemäisen metaanin varastoinnissa tulee ottaa huomioon boil-off kaasun vapautuminen. Boil-off kaasun muodostuminen lisää säiliön painetta, koska höyrystyessään kaasun tilavuus kasvaa ja pahimmassa tapauksessa säiliö voi jopa revetä. Boil-off kaasu voidaan esimerkiksi kerätä talteen ja nesteyttää uudelleen, jolloin säiliö pysyy jatkuvasti kylmänä. Nesteytettyä biometaania käytetäänkin yleensä suuremman mittakaavan prosesseissa. Nesteytettyä biometaania käytetään muun muassa rahtilaivojen polttoaineena ja teollisuudessa sähkön- ja lämmön tuotannossa keskeytymättömässä palamisprosessissa (Ahokas 2022; Biovoima Oy 2019a; Söderena 2019, 19-21.)

Toinen tapa biometaaniin käsittelyyn ja varastointiin on paineistaminen korkeaan paineeseen, yleensä noin 250 bar:iin. Paineistamisen tarkoituksena on pienentää kaasun tilavuutta kuljetusta ja varastointia varten. Kaasun paineen korottaminen nostaa kaasun lämpötilaa ja näin ollen paineistettu biometaani kestää hyvin varastointia (Ahokas 2022; Biovoima Oy 2019a; Söderena 2019, 27.)

3.2.2 Paineistetun biometaanin tuotanto, saatavuus ja laitteistojen toimittajat

Kuvassa (kuva 8.) on esitetty biokaasun ja biometaanin tuotantoa. Biokaasun tuotanto on ollut taasaista ja hieman kasvusuuntaista koko 2010-luvun ajan aina 2023 vuodelle asti. Vuoden 2023 jälkeen biometaanin osalta on odotettavissa jyrkempää nousua. Etenkin biometaanin tuotannon osalta arvio tulevaisuudesta on nousujohteista (Suomen biokierto & Biokaasu ry 2024b.) Suomeen on rakenteilla uusia biokaasulaitoksia noin 900 GWh edestä. Näistä yli puolet on tarkoitettu nesteytetyn biokaasun valmistukseen. Suomeen valmistuneita laitoksia vuonna 2020–2023 oli yhteensä 31 kpl. Näistä 22 kpl tuotti biokaasua ja 9 kpl nesteytettyä tai paineistettua biometaania. Suurin osa valmistuneista laitoksista oli niin sanottuja maatilalaitoksia, joissa syntynyt biokaasu käytettiin itse omassa tuotannossa. Tämänhetkisen tiedon mukaan vuosina 2024–2027 on suunnitteilla yhteensä 55 biokaasulaitosta, joista 14 tuottaa biokaasua ja loput paineistettua tai nesteytettyä biometaania (Elinkeinoelämän keskusliitto 2024.)



KUVA 8. Biokaasun ja biometaanin tuotanto Suomessa nyt ja tulevaisuudessa MWh. Biokierto on listannut tulevaisuuden näkymiin energiainvestointitukea saaneet tai hakeneet investointihankkeet (Suomen biokierto & Biokaasu ry 2024b).

TAULUKKO 3. Biopohjaisten kaasujen tuotantokapasiteetti Suomessa nyt ja tulevaisuudessa (Suomen biokierto & Biokaasu ry 2024b).

GWH	2024	2025	2026	2027
Biometaani	334	621	858	1425
Biokaasu	795	873	872	843
Synteettinen metaani	0	0	120	270
Yhteensä	1129	1495	1850	2539

Taulukossa (taulukko 3.) on esitetty biopohjaisten kaasujen tuotantokapasiteettia. Biopohjaisten kaasujen tuotantokapasiteetin on arvioitu tuplaantuvan nykyisestä vuoteen 2027 mennessä (Suomen biokierto & Biokaasu ry 2024b.)

Boliden Harjavallan teollisuusalueen välittömään läheisyyteen on nousemassa vihreän vedyn tuotantolaitos. Vihreä vety on yksi osa synteettisen metaanin valmistusprosessia. Prosessissa vedestä valmistetaan elektrolyysissä vetyä uusiutuvan sähkön avulla. Tuotettu vihreä vety yhdistetään kerätyn biogeenisen hiilidioksidin kanssa, jolloin saadaan tuotettua synteettistä metaania markkinoille (P2X 2023.)

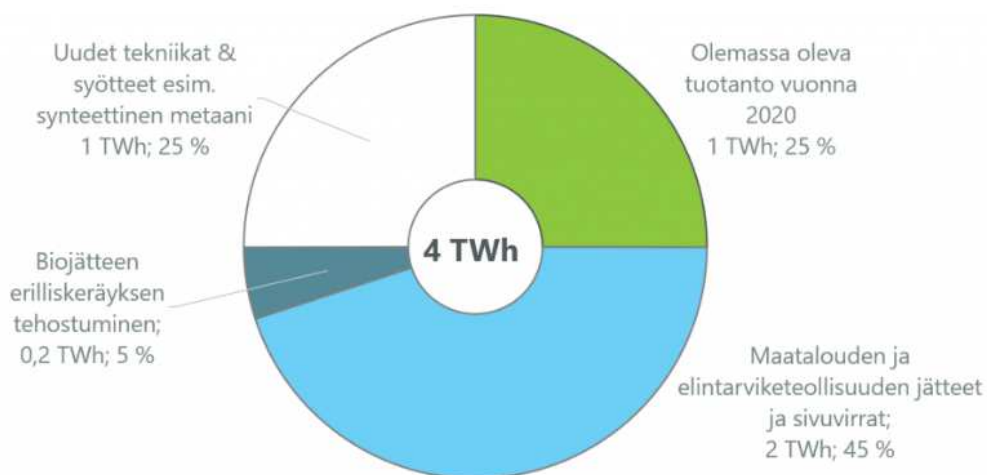
Biometaanin saatavuus Satakunnan alueella ei tällä hetkellä ole ongelma. Toimijoita löytyy lähialueilta ja tarvittaessa biometaanin voidaan kuljettaa pidemmältäkin ongelmitta. Luotettavia laitteiston toimittajia kiitettävillä referensseillä löytyy Suomesta hyvin (Suomen biokierto & Biokaasu ry 2024c.) Alla olevassa taulukossa (taulukko 4.) on esitelty biometaanin parissa toimivia yrityksiä.

TAULUKKO 4. Biometaanin ja laitteiston toimittajia (Nissinen 2023).

	Kaasun toimittaja	Laitteiston toimittaja
Gasum	x	
Sarlin		x
Viafin		x
Jepua	x	x
Biovoima		x
Envor	x	

Porin Kaanaan alueelle on jo pitkään ollut suunnitteilla BioEnergion biokonversiolaitos. BioEnergio suunnittelee puuraaka-aineen konversiolaitosta. Laitoksen kapasiteetti on toteutuessaan noin 200 000 kuivatonna puubiomassaa vuodessa. Laitoksella tuotettaisiin yrityksen mukaan toisen sukupolven bioetanolia, ligniiniä ja nesteytettyä biokaasua (Bioenergo Oy 2023.)

Kuvassa (kuva 9.) on esitetty vuoden 2030 biokaasutuotantotavoite, joka on 4 TWh. Yli 70 % tuotannosta olisi nesteytettyä tai paineistettua biometaanina (Bioenergia ry, Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK, Suomen Biokierto ja Biokaasu ry, Suomen Kaasuyhdistys ry, Suomen Kiertovoima ry, Suomen Lähienergialiitto ry 2022.) Teoreettinen teknistaloudellinen biokaasupotentiaali Suomessa on noin 10 TWh luokkaa, josta 90 % potentiaalista löytyy maataloudesta (Luostarinen 2020, 4).



KUVA 9. Vuoden 2030 tuotantotavoitteet (Suomen biokierto & Biokaasu ry 2022b).

3.2.3 Paineistetun biometaanin varastointiratkaisut

Paineistettua biometaania on saatavilla eri kokoisissa kaasunsiirtokonteissa. Taulukossa (taulukko 5.) on esitetty biometaanikonttien kokoja ja tilavuuksia. Kyseisessä esimerkissä kaasunsiirtokonttien kaasusäiliöiden materiaalina on käytetty lasikuitua. (Biovoima Oy 2019b.)

TAULUKKO 5. Biometaanin kaasunsiirtokonttien kirjo (Biovoima Oy 2019b).

Kontin tyyppi	20" MEGC Koukukulavakontti Standard	20" ISO Standard	20" ISO High cube	40" ISO Standard	40" ISO High cube	45" ISO Standard	45" ISO High Cube
Tilavuus (l)	14850	14850	18150	30600	37400	34650	42350
Kaasumäärä (kg) 200 bar (15°C)	2667	2667	3260		5497	6718	7607
Kaasumäärä (kg) 250 bar (15°C)	3149	3149	3849	6489	7931	7348	8981

Paineistetulle biometaanille tarkoitettuja kaasunsiirtokontteja on saatavilla hyvin. Kaasunsiirtokontteista löytyvät kaasusäiliöt luokitellaan viiteen eri luokkaan niiden valmistusmateriaalin mukaan. Kaasusäiliöiden luokitukset on esitetty taulukossa (taulukko 6.). Tyypin 4 ja 5 mukaisesti valmistetut kaasusäiliöt soveltuvat hyvin siirrettäviksi. Teräksestä valmistetut kaasusäiliöt soveltuvat paremmin paikallaan pidettäviksi. Yleinen käytössä oleva kaasunsiirtokontti on 20 jalan tai 40 jalan kokoinen ja kaasusäiliöt on valmistettu lasikuidusta (Suomen kaasuyhdistys ry 2020, 11-12; Biovoima Oy 2019b.)

TAULUKKO 6. Säiliöiden luokitukset (Red 2014).

Korkeapaineistettujen kaasusäiliöiden luokittelu:	
Tyyppi I	Teräs
Tyyppi II	Teräs & lasikuitu / hiilikuitu
Tyyppi III	Teräs / alumiini & hiilikuitu
Tyyppi IV	Polymeeri & lasi / hiilikuitu
Tyyppi V	Komposiitti

3.2.4 Biokaasun edut, syntyvät päästöt ja haitat

Biokaasun saatavuus Suomessa kasvaa. Biokaasun tuotanto, jakelu ja käyttö luo työpaikkoja. Biokaasun tuotanto parantaa Suomen huoltovarmuutta ja vähentää riippuvuutta fossiilisiin polttoaineisiin. Biokaasun valmistus tukee kiertotaloutta. Kaatopaikalle vietävän jätteen määrä vähenee. Samalla minimoidaan vapaasti muodostuvat metaanipäästöt (Luostarinen 2020, 6.) Biokaasun tuotannon sivuvirroista saadaan arvokasta lannoitetta talteen. Lannoite voidaan käyttää itse tai myydä eteenpäin (Gasum 2024a.) Biokaasun tuotannon kannattavuuteen vaikuttaa merkittävästi syötteiden saatavuus, energiasisältö ja sijainti. Biokaasun tuotanto kannattaakin keskittää paikkoihin, joissa orgaanisen jätteen saatavuus on hyvä (Kymäläinen 2015, 21.)

Biometaanin valmistuksen päästökertoimeksi on määritetty 1,12 kg CO₂e/kg. Määritelmän mukainen biometaanin on tuotettu biojätteestä ja jonka metaanipitoisuus on vähintään 95 %. Suomen tilastokeskuksen mukaan biometaanin polttamisesta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen laskennallinen päästökerroin on 54,6 tCO₂/TJ. Päästökerroin on kuitenkin kompensoitu biometaanin elinkaaren tuotantoketjussa. Todellinen kompensoitu päästökerroin biometaanille on 0 tCO₂/TJ (SYKE 2021). Poltettaessa biokaasua syntyy hiilidioksidipäästöjä. Hiilidioksidi on sitoutunut biokaasun syötteisiin fotosynteesin kautta. Näin ollen biokaasun polttaminen ei juuri lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta. Elinkaarenaikaisia hiilidioksidipäästöjä pystytään vähentämään jopa 90 % fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Käytettäessä lantaa biokaasun syötteenä ehkäistään lannankäsittelyssä syntyviä kasvihuonepäästöjä. Samalla pystytään estämään pelloille levitetyn lannan vapauttaman metaanin päätyminen ilmakehään. Lannan käyttäminen mahdollistaa jopa miinusmerkkiset elinkaaren aikaiset päästöt (Suomen biokierto & Biokaasu ry 2022, 9.)



KUVA 10. Biokaasun elinkaaren päästöt (Gasum 2024b).

Kuvassa (kuva 10.) on kuvattu biokaasun elinkaaren päästöt. Biokaasun valmistukseen on investoitu ja biokaasuinvestointien johdosta biokaasun kokonaispäästöt on kasvaneet (Suomen biokierto & Biokaasu ry 2024a.) Biokaasun kysynnän kasvaessa on rakennettu uusia biokaasun tuotantolaitoksia. Biokaasun päästöjä voidaan vähentää tehostamalla biokaasun tuotantoa ja valitsemalla tuotannon syötteen huolellisesti (Winquist 2021.) Biokaasun laatu määritellään usein eurooppalaisen standardin SFS EN 16723-1 Maakaasun ja biometaanin käyttö liikenteessä ja biometaanin syöttö maakaasuverkostoon. Osa 1: Biometaanin laatuvaatimukset maakaasuverkostoon syötössä ja SFS EN 16723-2 Maakaasun ja biometaanin käyttö liikenteessä ja biometaanin syöttö maakaasuverkostoon. Osa 2: Ajoneuvojen polttoaineiden vaatimukset. Nämä standardit määrittelevät biokaasun laadulliset vaatimukset (SFS EN 16723-1, 2016; SFS EN 16723-2, 2017 & Tukes 2024a.)

4 NESTEKAASU ELI PROPAANI

Nestekaasua eli propaania käytetään laajasti ja monipuolisesti tehokkaana energianlähteenä. Kilo nestekaasua sisältää energiaa noin 12,8 kWh tai vaihtoehtoisesti 46 MJ. Nestekaasua saadaan erottamalla propaani ja butaani maakaasusta tai raakaöljystä. Kansainvälisesti nestekaasu on propaanin ja butaanin seos (U.S department of energy 2021.) Suomessa nestekaasu on lähtökohtaisesti pelkästään propaania. Propaani kaasuuntuu kylmissä olosuhteissa. Butaani on vastaavasti huono kaasuuntumaan kylmissä olosuhteissa. Nestekaasu pitää sisällään pieniä määriä hiilivetyjä, kuten etyyli-merkaptania. Tällä aineella saadaan kaasuun pistävä tuoksu vuotojen havaitsemista varten. Nestekaasu palaa puhtaasti päästämättä ilmaan hiukkaspäästöjä tai nokeamatta poltinfraa (Linde Gas 2024.)

4.1 Propaanin päästöt

Suomessa propaania käytetään pääasiassa lämmityksessä ja teollisuudessa polttoaineena. Propaani on fossiilinen polttoaine. Propaanin poltossa syntyy ilmakehää kuormittavia hiilidioksidipäästöjä. Propaanin palamisessa syntyy pääasiassa vesihöyryä ja hiilidioksidia. Palamisreaktiossa syntyy hyvin pieniä määriä typpioksi- ja rikkidioksidipäästöjä. Propaanin päästöt ovat kuitenkin kokonaisuutena pienempiä verrattuna esimerkiksi hiilen tai öljyn palamiseen. Tämän vuoksi propaania voidaan pitää suhteellisen ympäristöystävällisenä energianlähteenä. Propaanin päästökerroin on 64,90 tCO₂/TJ (Työterveyslaitos 2022; SYKE 2021.)

Markkinoille on ilmestynyt uusiutuvaa propaania. Uusiutuvaa propaani syntyy uusiutuvan biodieselin tuotannon sivutuotteena. Uusiutuvan propaanin eli ns. biopropaanin tonnihinta on noin kaksi kertaa kalliimpaa verrattuna fossiilisen propaaniin hintaan (Neste Oy 2018; S&P Global 2023.)

5 TUTKIMUSMENETELMÄT JA AIKATAULUTUS

Tutkimuksessa hyödynnettiin kirjallisuuskatsausta ja asiantuntijahaastatteluita. Kirjallisuutta haettiin sekä painetuista lähteistä että verkosta. Työssä perehdyttiin biokaasusta kirjoitettuun lakiin ja ase-
tuksiin. Asiantuntijoita haastateltiin niin vanhaan kuin uuteen polttoaineinfraan liittyen. Vanhan infra-
struktuurin osalta haastattelu tehtiin toimeksiantajan kohteessa yhteistyössä poltinhuoltajan kanssa. Biometaanin laitteistoihin liittyvät haastattelut toteutettiin joustavasti sähköpostitse ja puhelimitse. Kerätty aineisto analysoitiin SWOT-analyysin avulla, jonka perusteella laadittiin vaihtoehtoja biome-
taanin varastointiin. Lisäksi tutkittiin pilottihankkeen taloudellisia vaikutuksia ja kartoitettiin muita mahdollisia biometaanin käyttötapoja

Taulukossa (taulukko 7.) on esitetty opinnäytetyöprosessin aikataulu. Työ eteni taulukossa kuvatulla tavalla.

TAULUKKO 7. Opinnäytetyöprosessin aikataulu (Nissinen 2025).

Orientaatio	Opinnäytetyöprosessiin perehtyminen	Kevät 2023
	Aiheesta sopiminen toimeksiantajan kanssa	
	Aiheeseen perehtyminen	
Aloitus	Suunnitelman tekeminen	Kevät 2023
	Ohjaajan kanssa yhteistyön aloittaminen	
	Sopimus opinnäytetyöstä	
Toteutus	Taustamateriaalin kerääminen ja tarkastelu	Syksy 2023-Syksy 2024
	Tiedon varmistaminen laitteistotoimittajilta	
	SWOT-analyysi	
	Kirjoittaminen	
Julkaisuvalmistelu	Valmiin työn palautus opettajalle	Syksy 2024
	Korjaukset työhön	
	Lopullinen versio	
Julkaisuseminaari	Oman työn esittäminen	Kevät 2025
	Kypsyysnäyte	
Viimeistely	Opinnäytetyön viimeistely	Kevät 2025
	Työn painatus ja toimitus toimeksiantajalle	

6 PROPAAANIN JA BIOMETAAANIN PÄÄSTÖJEN KUSTANNUKSET

Tilastokeskuksen mukaan vuoden 2023 Suomen kasvihuonepäästöt olivat 40,6 miljoonaa tonnia CO₂-ekv (Tilastokeskus 2024). Propanin palamisreaktiossa syntyy hiilidioksidia. Aiheutuvasta hiilidioksidipäästöstä maksetaan päästökaupan mukaista hintaa. Vuonna 2023 yhden CO₂ tonnin päästön hinta oli 84 Euroa (Energiavirasto 2023). Taulukossa (taulukko 8.) on esitetty näytteenvalmistuosaston polttaman propanin hiilidioksidipäästöt. Suomen ympäristökeskuksen Y-hiilari niminen työkalu laskee propanin vuosikulutuksen, tehollisen lämpöarvon ja päästökertoimen avulla vuoden 2023 CO₂ päästökseksi noin 167 t/ CO₂-ekv. (Malmi 2024; SYKE 2021).

TAULUKKO 8. Hiilidioksidipäästöistä aiheutuvat kustannukset (Malmi 2024; Nissinen 2023).

Vuoden 2023 päästöjen hinta	
Propanin CO ₂ päästö vuodessa, tonnia	167
CO ₂ päästön keskiarvohinta, €/t	84
Yhteensä, €	14 028
Vuoden 2030 päästöjen hinta-arvio	
Propanin CO ₂ päästö vuodessa, tonnia	167
CO ₂ päästön arvioitu hinta, €/t	150
Yhteensä, €	25 050

Vuoden 2050 päästöjen hinta-arvio	
Propanin CO ₂ päästö vuodessa, tonnia	167
CO ₂ päästön arvioitu hinta, €/t	500
Yhteensä, €	83 500

Päästökaupan kehitystä on hankala ennustaa. GMK-center tutkimuskeskuksen arvio CO₂ päästön hinnasta vuonna 2030 on noin 150 €/t. Hurjimpien ennusteiden mukaan hinta voisi hipoa vuonna 2030 jo 300 €/t (Jan 2024, 1.) Luku oli paljon korkeampi vielä muutama vuosi sitten. Vuoden 2050 ilmastopöimusten mukaisten toimenpiteiden johdosta on arvioitu, että CO₂ päästöjen hinta kohoaisi noin 500 €/t (GMK-center 2023). Tällä hetkellä hiilidioksidin talteenotto maksaa Suomessa enemmän, mitä päästöoikeuden hinta EU:n päästökaupassa. Päästökaupan päästöoikeuden hinta-arvio vuonna 2030 alkaa olemaan lähellä oletettuja hiilidioksidin talteenottokustannuksia. Hiilidioksidin talteenoton voidaan olettaa kiihtyvän, mikäli päästökaupan päästöoikeuden hinta jatkaa nousuaan (Kujanpää, Koponen, Linjala, Mäkikouri & Arasto 2023.)

7 BIOKAASULAINSÄÄDÄNTÖ

Biometaaniin sovelletaan samaa lainsäädäntöä, kuin maakaasuun. Biokaasuun, joka sisältää 80% tai enemmän metaania sovelletaan maakaasun luparajoja (Tukes 2024b.) Tukes on listannut luotettavia ja hyväksi todettuja lähteitä, mistä saa paljon apua biokaasuun tai biometaaniin liittyvissä kysymyksissä. Näitä ovat muun muassa Suomen kaasuyhdistyksen julkaisemat maakaasu käsikirja, ohje kaasun tankkausasemille, Liquefied Natural Gas-asiakassäiliöt ja biokaasun turvallisuusohje (Tukes 2024c.)

7.1 Lainsäädäntö

Euroopan unionissa sovelletaan tällä hetkellä kaasulaiteasetusta EU/2016/426, jota kaikkien jäsenvaltioiden on noudatettava. Taulukkoon (taulukko 9.) on listattu biokaasulainsäädäntöön liittyvät lait ja asetukset. Tummalla värillä laki/asetus ja sen alapuolella lyhyt määritelmä. (Suomen Kaasuyhdistys ry 2024, 10-11; Tukes 2024b.)

TAULUKKO 9. Kaasulainsäädäntö (Suomen Kaasuyhdistys ry 2024, 10-11; Tukes 2024b).

LAINSÄÄDÄNTÖ	
Valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta	551/2009
Säädetään muun muassa tankkausasemia	
Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden turvallisuudesta	390/2005
Vaarallisten kemikaalien käsittely ja varastointi	
Kaasulaiteasetus	EU/2016/2426
Ohjaa toimia ja toimii perustana	
Valtioneuvoston asetus maakaasu-, nestekaasu- ja öljylämmityslaitteistojen asennus- ja huoltotoimintaa sekä maanalaisien öljysäiliöiden tarkastusta harjoittavien hyväksymisestä	558/2012
Säädetään asentavien tahojen pätevyysvaatimuksia	
Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta	685/2015
Koskee varastointia ja valvontaa	
Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista	856/2102
Sovelletaan biokaasun valmistusta; teknistä käyttöä ja varastointia	
Maankäyttö ja rakennuslaki	132/1999
Säädetään kaavoituksesta ja rakennuslupien myöntämisestä	
Painelaitelaki	1144/2016
Painelaitteiden vaatimukset, rekisteröinnit, tarkastukset, rakennevaatimukset	
Valtioneuvoston asetus räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviä tarkoitettujen laitteiden ja suojausmenetelmien vaatimustenmukaisuuksia	1439/2016
Määrittää tekniset vaatimukset tankkausasemin laitteille ja suojausjärjestelmille	
Mittauslaitelaki	707/2011
Mittauslaitteille ja menetelmille vaatimukset ja niiden varmistaminen	
Pelastuslaki	379/2011
Pelastusviranomaisen toiminta, tehtävät, onnettomuuksien ehkäisy	

8 TURVALLISUUS- JA KEMIKAALIVIRASTO

Turvallisuus- ja kemikaaliviraston eli Tukesin tehtävä on edistää tuotteiden, palveluiden ja teollisen toiminnan turvallisuutta (Suomi.fi 2024; Tukes 2023). Tukes antaa ohjeita ja esimerkkejä koskien kaasuturvallisuutta. Tukes soveltaa biometaanin käyttöön samoja vaatimuksia, kuin maakaasulle. Tukes-ohje 7/2015 liittyy maakaasun käsittelyn turvallisuuteen (Tukes 2015.) Tämä ohje tarkentaa maakaasun käsittelyn turvallisuudesta annettua valtioneuvoston asetusta 551/2009 (Tukes 2009). Tukes hyväksyy, tarkastaa ja antaa lupia liittyen biometaanin lainsäädäntövaatimuksiin. Taulukoon (taulukko 10.) on kerätty tietoa Tukesin myöntämistä luvista liittyen biometaanin varastointiin. Taulukosta (taulukko 10.) löytyviä asioita on poimittu Tukesin myöntämistä luvista liittyen paineistettuun biometaaniiin. Tarkasteltavia kohteita oli useita. Esimerkkitapaukset koskivat muun muassa Huittisista löytyvän Lihajaloste Korpelan biometaanin syöttöaseman rakentamista ja Lahdesta löytyvän Kujalan biokaasulaitoksen laajentamista. Tukes on todennut hakemuksia tarkasteltaessa taulukosta (taulukko 10.) löytyvät asiat on otettu huomioon ja luvan myöntämiselle ei ole estettä.

TAULUKKO 10. Lupakäsittely: Tukesin painottamia asioita (Tukes 2019a; Leppäkosken Lämpö Oy 2021; Tukes 2019b; St1 Oy 2024; Tukes 2019c).

Tukesin painottamia asioita:
Perustelut, että lain vaatimukset täyttyvät
Riskiarvioinnit ja ongelmatilanteiden mallinnus
Putkisto- ja instrumentointikaaviot
Räjähdyssuojasiasiakirja
Tilaluokituksen piirustukset
Laitteiston rakenne ja sijainti
Varastointialueen infra ja suojaus
Ulkopuoliset tekijät huomioitu
Turva-automaation toimivuuden selittäminen
Koeajot suoritettu ja dokumentoitu
Suojaetäisyydet, jos poikettu miten/miksi
Alueellinen varoittaminen kaasunvuototilanteessa
Turva-automaation virta/data kahdennettu
Vastuuhenkilöt nimetty
Kaasuputket on asentanut Tukesin hyväksymä asennusliike
Sääolosuhteet huomioitu
Sopia pelastusviranomaisen kanssa järjestelyistä
Huoltosuunnitelma
Henkilöstö koulutettu
Pääsulkuventtiilejä riittävästi ja merkattu
Sammutuskalusto
Varoitusmerkit
Toimintaohjeet
Kaasu on hajustettua

8.1 Rakentamislupa ja ilmoitukset

Pienet käyttökohteet tarvitsevat Tukesin myöntämän maakaasuputkiston rakentamisluvan ja kemikaali-ilmoituksen vähäisestä toiminnasta. Tällaisia kohteita ovat muun muassa alle 5 tonnia sisältävät kaasuvälikammiot. Pienempien käyttökohteiden ilmoituksen tavoitekäsittelyaika on 80 vuorokautta (Tukes 2024d.) Biometaanin varastointimäärän ollessa vähintään 5 tonnia tarvitaan Tukesin myöntämä rakentamislupa ja lupahakemus kemikaalien laajamittaisesta varastoinnista. Ilmoituksen käsittelyn tavoiteaika on 8 kuukautta. Lupamenettelyn tarkoituksena on varmistaa kaasulaitteiston ja kaasuputkiston turvallinen sijoitus. Kaasuputkistot ja kaasulaitteet tulee olla rakennettu ja varusteltu lain edellyttämällä tavalla. Kaasuinfra tilaajan tulee tarkastella, miten kaasuinfra vaikuttaa lähialueen, liikenteen ja asumisen turvallisuuteen (Tukes 2024d.) Tilaajan tulee varmistaa mahdollistaako nykyinen ympäristölupa valitun kohteen suunnitteilla olevat muutokset. Ympäristöluvan myöntää sen laajuudesta riippuen joko aluehallintovirasto tai kunnan ympäristäsuojeluviranomainen (Aluehallintovirasto 2024.)

8.2 Biometaanin varastointi

Biometaanin varastoidaan joko paineistettuna tai nesteytettynä. Taulukossa (taulukko 11.) on esitetty biometaanin varastoinnin rajat. Biometaanin varastointimäärä määrittää Tukesin vaatimat toimenpiteet. (Tukes 2024e.)

TAULUKKO 11. Varastoinnin rajat (Tukes 2024e).

Vaarakategoria	Vaadittava toimenpide			
	Ilmoitus Tukesille	Lupa	Toimintaperiaateasiakirja	Turvallisuusselvitys
Maakaasu ja siihen rinnastettava biokaasu eli biometaani (määrä, tonnia)	0,2	5	50	200

8.3 Käytönvalvojan nimeäminen

Käytönvalvojan tehtävä on varmistaa ja valvoa kaasuinfran turvallinen käyttö ja huolehtia tarvittavien kunnossapitotehtävien ja tarkastusten suorittamisen valvonta. Käytönvalvojan tulee olla suorittanut hyväksytysti Tukesin järjestämä maakaasun käytönvalvojan koe. Käytönvalvojan tehtävään vaaditaan soveltuva tutkinto ja vähintään kahden vuoden työkokemus maakaasuun siirtoon perehdyttävissä tehtävissä (Tukes 2024f.) Taulukossa (taulukko 12.) on esitetty kohteet, joihin vaaditaan käytönvalvoja ja käytönvalvojan sijainen.

TAULUKKO 12. Tilanteet, joissa kohteelle vaaditaan käytönvalvoja ja sijainen (Tukes 2024f).

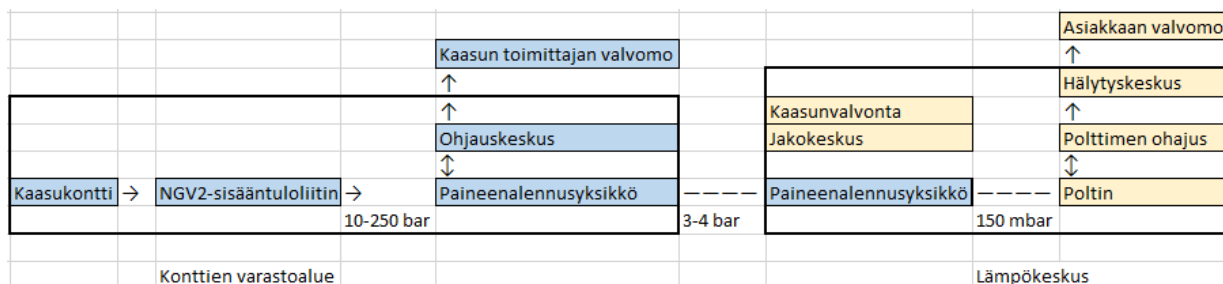
Maakaasuputkisto/-kohde	Maakaasuputkiston käytönvalvoja	Käytönvalvojan sijainen
Siirtoputkisto	x	x
Jakeluputkisto	x	x
Käyttöputkisto	x	x
Käyttöputkisto > 1,2 MW, mutta < 6 MW	x	Tarvittaessa
Tankkausasema	x	Tarvittaessa
Maakaasuvarasto > 0,2 t, mutta < 5 t	x	Tarvittaessa
Maakaasuvarasto \geq 5 t	x	x

8.4 Asennus, tarkastus ja käyttöluva

Asennusliikkeen tulee olla Tukesin hyväksymä. Biometaanin siirtoputkistoa ja teräksistä jakeluputkistoa saa asentaa asennusliike, joka omaa maakaasuasetuksen vaatimat toimintaedellytykset. Tukesin rakentamisluvan vaatineelle kaasuinfralle tehdään käyttöönottotarkastus ja asianmukaiset määräaikaistarkastukset hyväksytyn tarkastuslaitoksen toimesta. Mikäli biometaanin varastointimäärä ylittää 5 tonnin rajan tekee Tukes kohteelle tarkastuksen ja antaa käyttöluvan (Tukes 2024g.)

9 PAINEISTETUN BIOMETAANIN LAITTEISTOKOKONAISUUS

Paineistetun biometaanin laitteistokokonaisuus on esitetty kuvassa (kuva 11.) Kokonaisuus on jaettu karkeasti varastointialueeseen sekä rakennuksen sisäpuoliseen lämpökeskukseen.



KUVA 11. Laitteistokokonaisuus ja biometaanin paineen muutokset (Malmi 2024; Nissinen 2023).

Tässä luvussa perehdytään biometaanikonttien varastointialueeseen sekä lämpökeskukselta löytyvään paineenalennusyksikköön. Kaasunsiirtokonttien varastointialue koostuu paineistetun biometaanin kaasunsiirtokontista tai -konteista. Kuvassa (kuva 12.) on esitetty biometaanille soveltuva kaasunsiirtokontti.



KUVA 12. Biometaanille tarkoitettu kaasunsiirtokontti (Biovoima Oy 2019b).

Paineistetun biometaanin kaasunsiirtokontista kaasu siirretään kaasupolttoaineelle tarkoitetun NGV2 (natural gas vehicle type 2) -sisääntuloliittimen kautta PRS (pressure reduction station)-paineenalennusyksikköön, jossa paine pudotetaan kaasunsiirtokontin noin 250 bar varastointipaineesta noin 3-4 bar:iin. Paineenalennusyksikkö voi olla oma erillinen modulaarinen verkkoliitoskontti. Kontista voi löytyä myös kaasun hajustusyksikkö ja virtausmittaus. Verkkoliitoskonttiin voidaan lisätä kaasukromatografilta, joka mittaa kaasun koostumusta. Kaasukromatografian avulla toimeksiantaja pystyy seuraamaan, että kaasuntoimittaja toimittaa sellaista kaasua, mitä sopimuksessa on sovittu. Kuvissa (kuvat 13. ja 14.) on esitetty siirreltävä paineenalennusyksikkö, jossa kaasun painetta alennetaan haluttuun paineeseen. Paineenalennusyksikkö sijoitetaan yleensä turvallisuussyistä kaasunsiirtokontteja suojaavan suojamuurin toiselle puolelle (Ahokas 2022; Gasum 2023 C.)



KUVA 13. Paineenalennusyksikkö (Biovoima Oy 2019b).



KUVA 14. Paineenalennusyksikkö (Biovoima Oy 2019b).

Lämpökeskuksen sisältä polttimen välittömästä läheisyydestä löytyvä paineenalennusyksikössä paine pudotetaan siirtopaineesta polttimen käyttöpaineeseen, esimerkiksi noin 150 mbar. Kokonaisuutta ohjataan alueelta löytyvästä ohjauskeskuksesta. Ohjauskeskukselle tulee ja lähtee tietoa muun muassa paineenalennusyksiköiltä ja jakokeskukselta. Ohjauskeskukseen on liitettävissä myös turva-automaatiota, kuten esimerkiksi poikkeamatilanteiden automaattista ilmoitusta hätäkeskukseen ja kaasuntoimittajan valvomoon (Ahokas 2022; Gasum 2023 C.)

10 PAINEISTETUN BIOMETAANIN VARASTOINTIRATKAISUIDEN SOVELTUVUUS KOHTEESSA

Propanin mahdolliseksi korvaajaksi on mietitty biometaania, mikä olisi varastoituna korkeaan paineeseen. Tässä luvussa perehdytään tutkimaan soveltuvuutta nimenomaan rakennuksen ulkopuolisen kaasuinfran näkökulmasta. Näytteenvalmistusosasto käyttää savukaasujen jälkipolttimessa propania vuosittain noin 56 000 kg. Vastaava määrä melkein puhdasta biometaania olisi noin 52 000 kg suoraan biometaanin lämpöarvolla laskettuna. Paineistetun biometaanin tiheys on huomattavasti pienempi, kuin propanin eli biometaanikuutioita on siirrettävä huomattavasti enemmän, mitä propania. Biometaanin määrä vastaisi kulutuksessa noin 18 täyttä kaasunsiirtokonttia vuodessa. Yksi 20 jalan paineistetulle biometaanille tarkoitettu kaasunsiirtokontti pitää energiaa sisällään noin 40 MWh edestä (Gasum 2023 C; Malmi 2024.) Varastoitavan paineistetun biometaanin määrällä on suuri merkitys. Biometaanin kaasunsiirtokonttien määrän valinnan helpottamiseksi on tehty SWOT-analyysi. Taulukoissa (taulukko 13. ja 14.) on esitetty yhden ja kahden kaasunsiirtokontin valintaan perustuva SWOT-analyysi. SWOT-analyysissä perehdytään arvoon nelikentän avulla (Opetushallitus 2024). Bufferikontilla tarkoitetaan staattiseksi varastoksi suunniteltua kaasunsiirtokonttia.

TAULUKKO 13. SWOT-analyysi perustuen yhden kaasunsiirtokontin käyttöön (Nissinen 2023).

Vahvuudet	Heikkoudet	Mahdollisuudet	Uhat
Hinta	Vaihtokertojen ajoittaminen	Toisen kontin lisääminen jälkikäteen	Poikkeamatila --> Yhden kontin varassa
Tilankäyttö	Toimintavarmuus, koska vain yksi kontti käytettävissä	Olemassa olevan järjestelmän hyödyntäminen varajärjestelmänä	Lakko --> Toimitusten epävarmuus
Tukesin luvitus	Biometaanin toimitusaika	Bufferikontti	Biometaanin saataavuus
		Yhdistelmäpoltin propanille ja biometaanille	

TAULUKKO 14: SWOT-analyysi perustuen kahden kaasunsiirtokontin käyttöön (Nissinen 2023).

Vahvuudet	Heikkoudet	Mahdollisuudet	Uhat
Toimintavarmuus	Hinta	Vanhasta järjestelmästä luopuminen	Biometaanin saataavuus
Biometaania aina reservissä	Tilan ahtaus		
Propanista päästään kokonaan eroon	Tukesin luvitus		

Biometaanin varastointikapasiteettia mietittäessä on hyvä tiedostaa yhden tai kahden kaasunsiirtokontin tuomat hyödyt ja haitat. Vuotuista kaasunkulutusta ajatellen yhden 20 tai 40 jalan varastointikontin käyttäminen olisi järkevää, jos varastokontin vaihtaminen saataisiin ajoitettua aina sellaiseen ajankohtaan, kun kaasulle ei ole käyttöä. Teoriassa yhden kaasunsiirtokontin käyttäminen olisi kustannustehokkainta, mutta käytännössä haastavaa toteuttaa. Pahimmassa tilanteessa käyttökelpoista kaasua tulisi vietyä takasin tankkausasemalle turhaan ja näin ollen vaihtokertojen määrä kasvaisi. Käytettäessä yhtä kaasunsiirtokonttia tulee ottaa huomioon kaasunsiirtokonttien määräaikaishuollot ja mahdolliset vikatilat. Kaasunsiirtokonttiin voi tulla vika kesken käytön. Pahimmassa tapauksessa polttoprosessi keskeytyy, mikäli ei ole käytössä bufferikonttia tai toista kaasunsiirtokonttia. Tukesin lupaprosessin osalta yhden 20 jalan kokoisen kaasunsiirtokontin käyttämiseen riittää Tukesille pelkkä ilmoitus. Kahden 20 jalan kaasunsiirtokontin kokonaisuus vaatii raskaamman lupaprosessin.

TAULUKKO 15. Toimeksiantajan mahdolliset varastointivaihtoehdot paineistetulle biometaanille (Nissinen 2023).

Vaihtoehto 1	Kaasunsiirtokontti x1 + vanha kaasuinfra varalla
Vaihtoehto 2	Kaasunsiirtokontti x2
Vaihtoehto 3	Bufferikontti x1 + kaasunsiirtokontti x1

Taulukossa (taulukko 15.) on esitetty kolme erilaista varastointiratkaisua paineistetulle biometaanille.

10.1 Biometaanin varastointiratkaisun ja polttoainevaihdoksen kustannukset

Biometaanin varastointi- ja käyttöönottoratkaisun osalta puhutaan merkittävästä investoinnista biometaanin käyttöön nähden. Taulukossa (taulukko 16.) on esitetty varastointiratkaisun pääkomponenttien suuntaa antavaa hinta-arviota. Kyseiset hinnat on saatu kysymällä hintoja laitteiston toimittajilta ja eri tietolähteistä. Näistä hinnoista on laskettu keskiarvo. Hintoja ei ole esitetty työssä tarkemmin, jotta hintaa ei voi yhdistää toimijaan. Kokonaishinnassa ei ole huomioitu mahdollisia ongelmatilanteiden mallinuksia, putkistotyötä, asennustyötä, käyttöönottoa, tarkastuksia, asiakasliittymälaitteita ja turva-automaatiota. Laskelmassa toimeksiantaja ostaa kaasunsiirtokontit itselleen.

TAULUKKO 16. Investoinnin hinta-arvio (Nissinen 2023).

Investoinnin hinta-arvio, €		
Luvitus	5000	€
Suunnittelu	20000	€
Konttipurkupaikka ja suojaus	100000	€
Kontti-investointi yht. 2 kpl	500000	€
Paineenalennuslaitteisto	150000	€
Huolto- ja kunnossapitokustannukset 4%/a	20000	€
Yhteensä:	795000	€
Riskiarvio, mallinukset, putkistotyöt, asennustyöt, käyttöönotto, tarkastukset, asiakasliittymälaitteet ja turva-automaatio	Ei hinnoiteltu	

Taulukossa (taulukko 17.) on esitetty nykyisen käytössä olevan polttoaineen ja mahdollisen korvaavan polttoaineen vuotuiset laskennalliset polttoainekustannukset. Polttoaineen vuotuisen kustannukseen on laskettu mukaan kuljetukset ja polttoaineen käytöstä aiheutuvat päästökaupan mukaiset maksut. Päästöjen määrä ja hinnat on esitetty taulukossa (taulukko 8.). Polttoaineen hinta koostuu polttoainetoimittajilta saatujen hintojen keskiarvosta.

TAULUKKO 17. Näytteenvalmistussosastolla käytetyn polttoaineen vertaaminen paineistetun biometaanin käyttöön (Nissinen 2023).

Polttoainekulut € / a	
Propani, € / a	61 410€/a
Vuoden 2023 keskiarvohinta propanin CO ₂ päästöille, € / a	14 028€/a
Yhteensä	75 438€/a
Paineistettu biometaani, € / a	92 109€/a
Vuoden 2023 keskiarvohinta paineistetun biometaanin CO ₂ päästöille, € / a	0€/a
Yhteensä	92 109€/a

10.2 Ulkoalueen soveltuvuus paineistetulle biometaanille

Biometaanilaitteiston osalta ulkoalueelle kaavailtuun kaasufraan kuuluvat kaasinsiirtokontti/-kontit. Paineenalennusyksikkö, ohjauskeskus ja siirto- ja käyttöputkisto. Infralle kaavailtu alue on esitetty aiemmin työssä kuvassa (kuva 4.). Suunnitellulle alueelle sopii yksi kaasinsiirtokontti ilman suurempia poikkeusjärjestelyitä. Kahden kaasinsiirtokontin sijoittaminen alueelle vaatii pieniä muutoksia, mutta toimeksiantajan puolesta kulkureittejä ja polkupyöräparkkeja on mahdollista muuttaa. Rakennuksen ympäri pääsee ajamaan, mikä helpottaa kaasinsiirtokonttien liikuttelua.

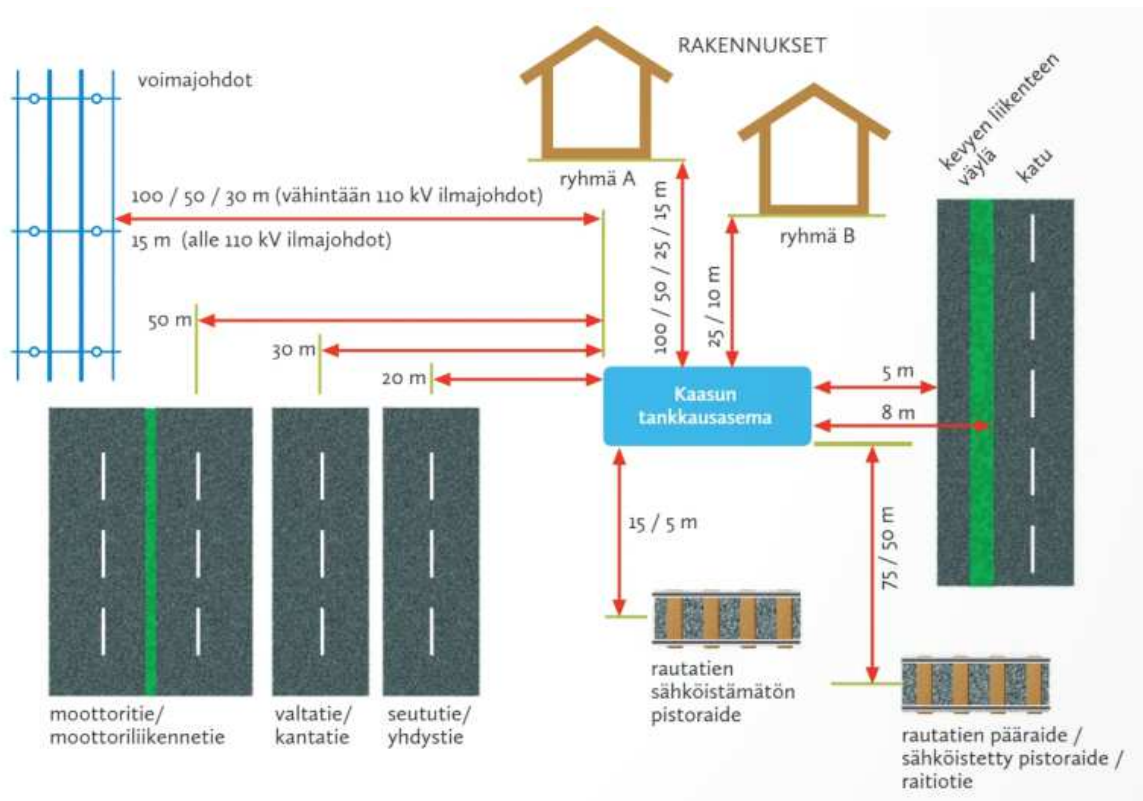
Kuvassa (kuva 15.) on esitetty Neste Tiilimäen paineistetun biometaanin infra, joka kattaa kaksi kaasinsiirtokonttia ja yhden kontin, josta löytyy paineenalennusyksikkö ja muut oheislaitteet. Kokonaisuuden koko on noin luokkaa. 15 m x 10 m. Kuvassa (kuva 15.) esitetty kokoonpano on yleinen tapa toteuttaa paineistetun biometaanin varastointiratkaisu.



KUVA 15. Neste Tiilimäen paineistetun biometaanin varastointiratkaisu (Google Maps 2024b).

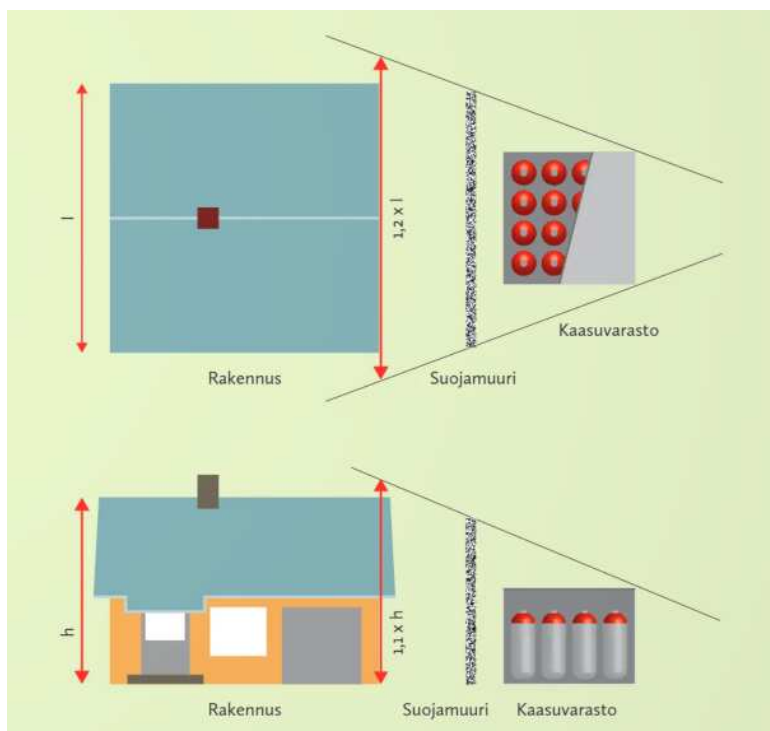
10.3 Kaasuvaraston suojaetäisyydet

Valtioneuvoston asettaman minietäisyydet eivät täyty sellaisenaan pilottikohteessa (Valtioneuvoston asetus 551/2009 2009). Etäisyyksistä voidaan kuitenkin poiketa riittäväillä suojaustoimenpiteillä, joilla tulee pystyä näyttämään toteen, että suunnitellut etäisyydet voidaan toteuttaa turvallisesti (Suomen Kaasuyhdistys ry 2024, 19).



KUVA 16. Suojaetäisyydet (Suomen Kaasuyhdistys ry 2024, 19).

Kuvasta (kuva 16.) käy ilmi, että Tukesin vaatimat minimietäisyydet eivät täyty verrattaessa etäisyyksiä kuvaan (kuva 4.). Muun muassa etäisyyttä kaasuinfran ja rakennuksen välillä ei saada riittävän suureksi ilman suojaustoimenpiteitä. Riittäväillä suojaustoimenpiteillä ja hyvällä suunnitelmalla etäisyyksistä voidaan poiketa, koska jokainen tapaus voidaan katsoa tapauskohtaisesti. Kaasuvarastolle asetetuista etäisyyksistä voidaan poiketa esimerkiksi riittävien suojamuurein. Suojamuurin paloluokka tulee olla EI 120 tai suurempi. Alla olevassa kuvassa (kuva 17.) on esitetty esimerkki kaasuvaraston suojaustoimenpiteistä (Suomen Kaasuyhdistys ry 2024, 19).



KUVA 17. Suojamuurien määrittäminen (Suomen Kaasuyhdistys ry 2024, 15).

Suojamuureja suunniteltaessa on hyvä tuoda ilmi suojamuurin toimivuus poikkeustilanteessa. Suojamuurin toimivuutta kohteessa on hyvä perustella esimerkiksi mallinnuksella mahdollisesta poikkeamatilanteesta. Mallinnuksella voidaan osoittaa suojamuurin toimivuus ja perustella valvovalle viranomaiselle millä perusteilla ja johtopäätöksillä vaadituista etäisyyksistä on poikettu. Kun kohteessa arvioidaan olevan räjähdysvaara, toiminnanharjoittajan on laadittava räjähdysuojasiasiakirja. Asiakirjassa tulee olla arvioinnin tulokset, tekniset ja organisatoriset suojaustoimenpiteet ja räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu. Räjähdysuojastoimenpiteiden pohjalta luodaan räjähdysuojasiasiakirja. Toiminnan laajuudesta riippuen räjähdysuojasiasiakirja tarkastetaan pelastusviranomaisen tai Tukikesin toimesta (Söderena 2019, 10.)

11 POHDINTA

11.1 Tutkimusmenetelmien ja opinnäytetyöprosessin pohdinta

Aluksi työssä tehtiin kirjallisuuskatsaus, jossa tietoa etsittiin sekä julkaistusta alan kirjallisuudesta sekä internetistä. Biokaasuteknologia kehittyy hurjaa vauhtia ja usein internetistä löytyi ajankohtaisempaa tietoa, mitä julkaistusta materiaalista. Lähteissä on käytetty rinnakkaislähteitä, jotta tieto on varmistettu useammasta kuin yhdestä lähdeviitauksesta. Kirjallisuudesta löytyi hyvin vähän spesifiä tietoa liittyen paineistetun biometaanin kaasunsiirtokonttien varastointiratkaisuihin. Internetlähteitä käyttäessä tulee ottaa huomioon lähdekriittisyys. Varsinkin biometaanin tuotannon ja päästökaupan kehityksen osalta vähän lähteestä riippuen ennusteista löytyi hyvinkin suuria eroja. Kerätyn taustamateriaalin pohjalta haluttiin varmistaa tiettyjä asioita biokaasulaitteistojen osalta suoraan laitteistoja myyviltä tahoilta. Haastatteluja ei avattu työssä erityisemmin, koska esimerkiksi hintojen ja biometaanin kaasunsiirtokonttiratkaisujen osalta ei haluttu spesifioida hintaa tiettyyn toimijaan. Haasteltavilta ihmisiltä olisi ollut hyvä vaatia, että haastattelut esitetään työssä. Näin ollen haastattelu olisi tuonut paljon enemmän painoarvoa asiantuntijahaastattelu muodossa. Biokaasulainsäädäntö ja asetukset pohjautuvat pitkälti maakaasulainsäädäntöön, joten näistä kirjoitettu tieto on eri teoksissa kuitenkin hyvin yhtenäistä. Lakiin ja Tukesin päätöksiin perehtyminen loi opinnäytetyölle mielenkiintoisen näkökulman.

Opinnäytetyöprosessissa ilmeni haasteita. Suunnitelma oli alkuun vähän ympäröörä ja suunnitelma muuttuikin aika paljon työn edetessä. Tutkimuskysymykset tarkentuivat paljon alkuperäisistä. Aihetta olisi voinut rajata fiksummin ja jakaa laajoja aihekokonaisuuksia kirjoitusvaiheessa pienempiin kokonaisuuksiin. Näin ollen työn kirjoittaminen pätkissä olisi ollut huomattavasti helpompaa. Opinnäytetyön aikataulu venyi alkuperäisestä suunnitelmasta. Tämä mahdollinen työn aikataulun venyminen tiedostettiin jo työn suunnitteluvaiheessa ja kirjattiinkin ylös. Perhe-elämän ja kokopäivätyön yhdistäminen opinnäytetyöprosessiin ei ollut helppoa. Laiminlöin paljon kirjoittamisprosessia asettamalla perhe-elämän opinnäytetyön edelle. Aikataulun venymisestä ilmoittaminen ohjaavalle opettajalle unohtui. Työn toimeksiantajan kanssa yhteydenpito toimi paremmin.

11.2 Opinnäytetyön tulosten pohdinta

Työssä tehty selvitys pyrkii tukemaan toimeksiantajan modernisointiratkaisuja liittyen näytteenvalmistuosaston kaasuinfraan. Polttoaineenvaihdos olisi mielestäni hyvä toteuttaa kyseisessä kohteessa niin sanottuna pilottihankkeena. Toimeksiantaja näkisi suhteellisen pienellä investoinnilla hankkeen konkreettiset hyödyt ja haitat. Päästöjen vähentämisen ja pilottihankkeen koeponnistuksen kannalta siirtyminen propaanista biometaaniin olisi näin ollen järkevä ratkaisu. Biometaanin käyttöä kohteessa on vaikea perustella investoinnin tuomilla säästöillä. Biometaanin hinta on keskimääräisesti noin kolmanneksen kalliimpaa, mitä vastaava määrä propaania. Jos huomioon otetaan päästöistä aiheutuvat kustannukset, niin biometaanin käyttö kohteessa olisi noin 20 prosenttia kalliimpaa. Biometaanin tuoma säästö näkyisi pienemmän CO₂-päästön seurauksena. Taloudellisesta näkökulmasta katsottuna siirtyminen propaanista biometaaniin ei ole mielestäni järkevää. Mikäli toi-

meksiantaja ei valitse biopohjaista polttoainetta, niin näytteenvalmistusosastolle suunnitellussa päivityksessä tulisi ottaa huomioon mahdollinen myöhempi siirtyminen biometaanin tai synteettiseen metaanin.

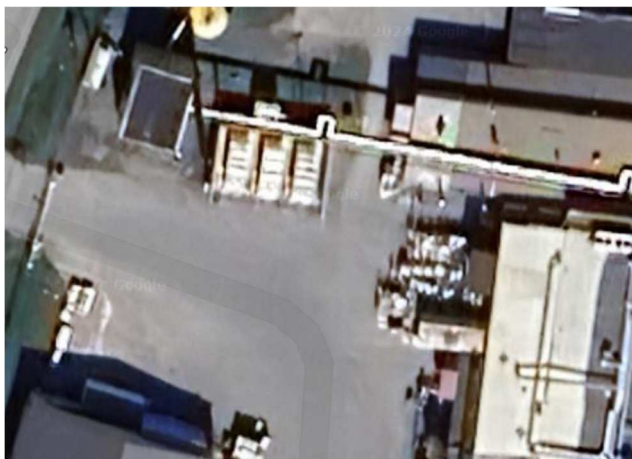
Taulukossa (taulukko 15.) on esitetty kolme erilaista varastointiratkaisua paineistetulle biometaanille. Siirreltävät kaasunsiirtokontit kuuluisivat luokitukseltaan tyyppiin 4 tai 5 ja bufferikontti tyyppiin 1. Vaihtoehto 1 on helpoin toteuttaa sekä luvituksen että maankäytön osalta. Investointina tämä ratkaisu on myös edullisin. Vaihtoehdossa 1 ei päästä kokonaan eroon propanin polttamisesta. Propani toimisi varapolttoaineena, jos biometaanin loppuisi kesken ajon. Vaihtoehto 1 vaatisi lämpökukukseen yhdistelmäpolttimen, jotta samalla polttimella voitaisiin polttaa sekä biometaanin että propania. Vaihtoehdossa 2 toimeksiantaja siirtyisi kokonaan pois propanin käytöstä ja valitsisi kaksi kappaletta siirreltäviä standardeja 20 jalan paineistetun biometaanin kaasunsiirtokontteja. Ratkaisu olisi luvituksen osalta työläin, koska varastointiraja ylittäisi 5000 kg rajan, jolloin pelkkä ilmoitus Tukesille ei enää riitä. Tämä ratkaisu on kallein, mutta huoltovarmin. Käytössä olisi vain yksi ja sama polttoaine. Toinen kaasunsiirtokontti olisi ajossa ja toista kaasunsiirtokonttia voitaisiin huoltaa ja täyttää ilman suurempia murheita. Vaihtoehdossa 3 toimeksiantaja ottaisi vaihtoehtoon 2 verrattuna toisen kaasunsiirtokontin tilalle hieman pienemmän, painavamman ja halvemmän niin sanotun staattisen bufferikontin. Tämän kontin idea olisi toimia ensisijaisena polttoainevarastona paineistetulle biometaanille. Tämän teräspulloilla varustetun bufferikontin etu on hinta. Pienemmän kontin ideana on se, että varastoitavan paineistetun biometaanin kokonaismäärä ei ylittäisi Tukesin luvituksen vaatimaan yli 5000 kg varastointirajaa. Bufferikontin koko olisi 1815 kg (15 °C, 250 bar) ja siirreltävän paineistetun biometaanin kaasunsiirtokontin koko olisi standardi 20 jalan 3149 kg (15 °C, 250 bar) kaasutilavuuden omaava kontti. Näin kokonaisvarastointimäärä olisi 4964 kg eli juuri ja juuri alle Tukesin raskaamman lupamenettelyn vaatiman 5000 kg rajan. Tässä vaihtoehdossa tulisi ottaa huomioon ongelmatilanteet ja mahdollinen bufferikontin ohittaminen. Paineistetun biometaanin kaasunsiirtokontit ovat suhteessa yksi investoinnin kallein osa. Vaihtoehdossa 3 saataisiin tätä kuluja painettua hieman pienemmäksi. Bufferikontin alhaisempi hinta selittyy kontin tyyppin mukaan. Taulukon (taulukko 6.) mukaan teräksisen bufferikontin tyyppi olisi tässä tapauksessa 1. Siirreltävien kaasunsiirtokonttien luokitukset olisivat tyyppiä 5. Tyyppi 5 luokan kontit ovat valmistusmateriaaliltaan kevyempiä ja näin ollen helpompia ja edullisempia siirrellä.

Investoinnin suurin kuluerä muodostuu paineistetun biometaanin kaasunsiirtokonteista. Työssä esiintyvässä taulukossa (taulukko 15.) on esitetty mielestäni järkevimät vaihtoehdot toteuttavaa paineistetun biometaanin varastointi. Arvio koko projektille olisi kaikkinsa noin luokkaa 0,8 miljoonaa Euroa 50% tarkkuudella. Kokonaishinnassa ei ole huomioitu mahdollisia ongelmatilanteiden mallinnuksia, putkistotöitä, asennustöitä, käyttöönottoa, tarkastuksia, asiakasliittymälaitteita ja turva-automaatiota. Laskelmassa toimeksiantaja ostaa kontit itselleen. Hintaan vaikuttaa eniten varastointikonttien määrä ja materiaali. Arvion kontit olisivat siirreltäviä tyyppin 5 kontteja. Toimeksiantajalla on varmasti useiden toimijoiden kanssa olemassa olevia sopimushintoja esimerkiksi putkisto ja maanrakennustöille. Kokonaisuus tulisi miettiä sellaiseksi, että toimeksiantaja hoitaa hallitsemansa osa-alueet yhdessä oman urakoitsijaverkoston turvin ja jättää kaikki muut laitteiston toimittajalle ja heidän aliurakoitsijoilleen.

Biometaanin kaasunsiirtokonttien laskennallista vaihtomäärää laskiessa tulee muistaa, että kontin mukana lähtee yleensä pieni määrä kaasua takaisin toimittajalle. Kaasuvarastoa ei käytetä koskaan kokonaan tyhjäksi. Tällä estetään muun muassa tyhjiön muodostumista varastointisäiliöön, mikä voisi vahingoittaa kaasusäiliötä tai sen komponentteja. Vaihtokertoja tulee todellisuudessa siis enemmän.

Hakemuksia ja myönnettyjä lupia tutkiessa selvisi, että monessa hakemuksessa on jouduttu poikkeamaan lain asettamista vaatimuksista. Kyseinen tapahtuma ei ole ollut valvovalle viranomaiselle eli Tukesille ongelma. Hakija on perustellut riittävän hyvin, miksi vaatimuksista on poikettu ja mitä toimenpiteitä on tehty, jotta poikkeama on hyväksyttävä. Hakemuksia tarkastellaan paljon tapauskohtaisesti toimeksiantajan antamien esiselvitysten pohjalta. Perehtyessäni lukuisiin myönnettyihin päätöksiin huomasin, että Tukesin lupatarkastaja on kommentoinut päätöksissään taulukossa (taulukko 10.) esiintyviä asioita. Tukesin vaatimia rakentamis- ja kemikaalilupia hakiessa kannattaa siis käännyä konsulttipalvelun tai luvituksiin erikoistuneen yrityksen puoleen.

Lihajaloste Korpela siirtyi vuonna 2019 käyttämään biometaanin kattiloidensa polttoaineena. Kuvassa (kuva 18.) on esitetty Lihajaloste Korpelan paineistetun biometaanin varastointiratkaisu. Kaasuvarasto koostuu kolmesta kaasunsiirtokontista (keskellä kuvassa). Tukesin lupahakemuksessa ei ilmennyt kaasunsiirtokonttien sijainnin puolesta ongelmaa. Pelastuslaitos ohjeisti, että kohteessa on paljon raskasta liikennettä ja varastoinnissa tulee kiinnittää huomiota mekaaniseen suojaukseen sekä ajoneuvojen paikoitukseen. Kohde on osittain verrattavissa toimeksiantajan suunnitelmiin liittyen paineistetun biometaanin varastointiin (Tukes 2019d.)



KUVA 18. Lihajaloste Korpelan toteuttama paineistetun biometaanin varastointiratkaisu. (Google Maps 2024c).

Harjavaltaan on nousemassa P2X solutionin vetylaitos, jossa tuotetaan vihreää vetyä uusiutuvan sähkön avulla. Suurteollisuuspuiston tuottamia hiilidioksidipäästöjä voitaisiin käyttää hyödyksi yhdessä P2X solutionin tuottaman vihreän vedyn kanssa ja tuottaa synteettistä metaania suurteollisuuspuistolle yhdistämällä vihreä vety ja kierrätetty hiilidioksidi. Pitkässä juoksussa fossiilipohjaisten hiilidioksidipäästöjen kierrättäminen ei ole järkevää, koska hiilidioksidi pääty lopulta takaisin ilmakehään. Hiilidioksidi tulee saada talteen biopohjaisen polttoaineen polttamisesta. Hiilineutraalin synteettisen metaanin valmistuksessa biopolttoaineen, kuten biometaanin poltosta syntyvä hiilidioksidi

olisi järkevintä yhdistää vihreän vedyn kanssa. Joka tapauksessa P2X solution avaa mahdollisuuksia pienentää hiilidioksidipäästöjä merkittävästi.

Harjavaltaan kaavailtu Satbiogasin biokaasulaitos oli vähän aikaansa edellä. Laitoksen toteuttamisesta luovuttiin vuonna 2017 rahoitusvaikeuksien johdosta. Alueella olisi tällä hetkellä aivan varmasti kysyntää uusiutuvalle biopohjaiselle polttoaineelle. Tutkittuani hieman biokaasulaitokselle tulevia mahdollisia syötteitä huomasin, että alueella toimii paljon enemmän siipikarjatiloja, mitä karjatiloja. Karjatilojen määrä on ollut vuosi vuodelta laskussa. Siipikarjan lannassa on ongelmana sen suuri typpipitoisuus, minkä poistaminen lisää biokaasun tuotantokustannuksia.

Työssä saadun tutkimusdatan pohjalta voidaan todeta, että biometaanin tuotanto ja kysyntä on kasvussa. Kaasun kysynnän kasvaessa moni biokaasuntuottaja varmasti pohtii biokaasulaitoksen lisäkapasiteetin rakentamista. Biometaanin hinnan on arvioitu saavuttavan propaanin hinnan 2030 luvulla ja viimeistään vuonna 2040 biometaani olisi halvempaa, kuin propaani. Mielestäni investoinnin kannattavuutta ei kannata laskea rahallisesti, koska tällä hetkellä kulut eivät pienene siirryttäessä paineistetun biometaanin käyttöön. Investointi toisi ensikäden tietoa siitä, mitä siirtyminen biometaanin käyttöön vaatii. Kaasun markkinahinnat ovat heitelleet todella paljon viimeisen parin vuoden aikana. Varsinkin Euroopassa kaasujen korkea kysyntä on nostanut hintoja huomattavasti.

Paineistettua ja nesteytettyä biokaasua ei voida sekoittaa keskenään. Nesteytettyä maakaasua voidaan sekoittaa vapaasti nesteytetyn biometaanin kanssa vapaalla sekoitusuhteella. Nesteytetyn biometaanin rinnalla voisi käyttää nesteytettyä synteettistä e-metaania tai nesteytettyä maakaasua. Mikäli toimeksiantajalla olisi tulevaisuudessa kyky toimittaa koko Boliden Harjavallan alueelle biometaanina, niin pilottihankkeen toteutuessa tulisi miettiä onko järkevää kuljettaa poltettava kaasu kohteeseen siirtoputkella vai kaasunsiirtoasteilla. Mikäli toimeksiantaja siirtyisi käyttämään biometaanina koko tehtaan alueella tulisi biometaanin varastoida sen nesteytyksessä muodossa. Alueelle tulisi tehdä oma nesteytetyn biometaanin jakeluterminaali. Jos toimeksiantajan pilottikohteeseen tuodaan myöhemmin kaasun siirtoputki nesteytetyn biokaasun jakeluterminaalilta, niin paineistetulle biometaanille rakennettu kaasuinfra jäisi turhaksi. Volyyymilla saadaan painettua polttoaineen yksikköhintaa alemmaksi. Yksi yhteinen ja sama polttoaineen varastointimuoto olisi varmasti kustannustehokkain. Mikäli toimeksiantaja rakentaa nesteytetyn biometaanin jakeluterminaalin, niin tämän infran valmistamisen aikana toimeksiantaja voisi mahdollisesti kokeilla pilottikohteessa uusiutuvaa propaania.

Savukaasujen jälkipoltin tullaan päivittämään revisiossa modernimpaan polttimeen. Kohteeseen sopisi hyvin yhdistelmäpoltin, millä voidaan polttaa tarvittaessa sekä propaania, että biometaanina. Tällaisia polttimia on saatavilla. Polttimen parametrit säädetään aina käytetyn polttoaineen mukaan. Revisiossa kaasuputkisto tulisi päivittää sellaiseksi, että kaasuputkisto kestää biometaanin vaatiman suuremman virtausmäärän. Turva-automaatio tulisi päivittää automaattiseksi, että esimerkiksi polttin häiriön tai kaasuvuodon seurauksesta pikasulkuventtiilit estävät kaasun pääsyn rakennukseen. Biometaanin on mahdollisessa ongelmatilanteessa turvallisempaa kuin propaani. Biometaanin on ilmaa kevyempää, joten kaasu haihtuu ilmaan. Propaani taas on ilmaa raskaampi kaasu ja vuototilanteessa jää maanpinnan läheisyyteen.

Fossiilisten polttoaineiden käyttöön perustuvien yritysten suurin pelko on mielestäni se, että päästökauppa lakkautetaan ja fossiilisten polttoaineiden käyttö kielletään kokonaan. Tällaisessa tilanteessa yrityksillä olisi hyvin vähän aikaa siirtyä uusiutuviin energialähteisiin. Koska siirtyminen uusiutuviin polttoaineisiin on monimutkainen prosessi, on yritysten viisasta aloittaa suunnittelu ja investoinnit jo ennakkoon. Yritykset, jotka ovat investoineet uusiutuviin energialähteisiin, ovat valmiita tulevaisuuden haasteisiin riippumatta siitä, mitä päästökaupalle tapahtuu.

12 LÄHDELUETTELO

- Ahokas, M. (2022). Biokaasun käytän tekniset vaihtoehdot ja kannattavuus. Haettu 10.1.2024 osoitteesta https://oamk.fi/wp-content/uploads/2020/08/arvoketjujen_kuvaus_esitys_korjattu_mikko_20062022.pdf
- Al Seadi, T.;Rutz, D.;Prassl, H.;Köttner, M.;Finsterwalder, T.;Volk, S.;& Janssen, R. (2008). Biogas Handbook. Esbjerg, Tanska: University of Southern Denmark Esbjerg. Haettu 1.10.2023
- Aluehallintovirasto. (2024). Ympäristölupa. Haettu 11.12.2024 osoitteesta <https://avi.fi/asioi/yritystai-yhteiso/luvat-ilmoitukset-ja-hakemukset/vesi-ja-ymparisto/ymparistolupa>
- Bioenergia ry, Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK, Suomen Biokierto ja Biokaasu ry, Suomen Kaasuyhdistys ry, Suomen Kiertovoima ry, Suomen Lähienergialiitto ry. (2022). Biokaasu 2030. Haettu 1.2.2024 osoitteesta <https://biokierto.fi/biokaasu/biokaasu2030/>
- Bioenergo Oy. (2023). Tuotteet. Haettu 12.4.2024 osoitteesta <https://bioenergo.fi/fi/products/>
- Biovoima Oy. (2019a). Kaasun kompressointi ja nesteytys. Haettu 11.1.2024 osoitteesta <https://biovoima.com/ratkaisut/kaasun-kompressointi-ja-nesteytys>
- Biovoima Oy. (2019b). Kaasunsiirtokontit. Haettu 1.8.2024 osoitteesta <https://biovoima.com/ratkaisut/kaasunsiirtokontit>
- Boliden. (2024a). Boliden Harjavalta. Haettu 23.11.2024 osoitteesta <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-harjavalta/>
- Boliden. (2024b). Climate. Haettu 1.5.2024 osoitteesta <https://www.boliden.com/sustainability/our-approach-to-sustainability/climate/>
- EBA. (2024). European biogas association: Solving the siloxane measurement problem. Haettu 9. 12. 2024 osoitteesta <https://www.europeanbiogas.eu/solving-the-siloxane-measurement-problem/>
- Elinkeinoelämän keskusliitto. (2024). Vihreän siirtymisen investoinnit Suomessa. Haettu 15.9.2024 osoitteesta <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYzcyOGUwOWQtNGE4Mi00YzYzLTg2MzAtODhkNWRjMzFiZmU1IiwidCI6IjM0MmU2NDIhLWM0MDgtNDY4Ny1hOTMwLTM0YVWVjZDNIjllNiIsImMiOjhh9>
- Energiavirasto. (2023). Päästökaupan huutokauppatulot kasvoivat 581,6 miljoonaan euroon. Haettu 4.5.2024 osoitteesta <https://energiavirasto.fi/-/paastokaupan-huutokauppatulot-kasvoivat-581-6-miljoonaan-euroon>
- Europarl. (2024). Uusiutuva energia: Euroopan kunniahimoiset tavoitteet. Haettu 21.3.2024 osoitteesta <https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20171124STO88813/uusiutuva-energia-euroopan-kunniahimoiset-tavoitteet>
- Ferch, W. (2023). How to avoid a tank collapse. Haettu 1.7.2024 osoitteesta https://www.cryogenicsociety.org/index.php?option=com_dailyplanetblog&view=entry&year=2022&month=11&day=27&id=122:how-to-avoid-a-tank-collapse

Gasum. (2023 c). Kaasukonversio, Tilaaajan asiakas-case. Haettu 1.7.2023

Gasum. (2024a). Miten biokaasua tuotetaan? Haettu 4.1.2024 osoitteesta

<https://www.gasum.com/fi/gasum/tuotteet-ja-palvelut/biokaasu-ja-nesteytetty-biokaasu-lbg/miten-biokaasua-tuotetaan/>

Gasum. (2024b). Uusiutuvalla biokaasulla voidaan tehokkaasti vähentää päästöjä. Haettu 1.2.2024

osoitteesta <https://www.gasum.com/fi/gasum/tuotteet-ja-palvelut/biokaasu-ja-nesteytetty-biokaasu-lbg/biokaasun-paastot/>

GMK center. (2023). Carbon prices in the EU in 2030. Haettu 20.11.2023 osoitteesta

https://gmk.center/wp-content/uploads/2023/10/2023-EU_CO2-forecast.pdf

Google Maps. (2024a). Suurteollisuuspuisto, Teollisuuskatu 1. Haettu 12.7.2024 osoitteesta

https://www.google.com/maps/place/Teollisuuskatu+1,+29200+Harjavalta/@61.3164878,22.1180381,542m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x46896bc26722765f:0xe8cdfbdef76244b!8m2!3d61.3185136!4d22.1198816!16s%2Fg%2F11llrzb2?entry=tту&_ep=EgoyMDI0MTExOS4yIKXMDSOASAFQAw

Google Maps. (2024b). Neste Tiilimäki, Google Maps. Haettu 11.7.2024 osoitteesta

https://www.google.com/maps/place/Neste+Pori+Tiilim%C3%A4ki/@61.4775419,21.7802392,262m/data=!3m1!1e3!4b1!5s0x46890b3ca323acd1:0x29c39af6f104615e!4m6!3m5!1s0x46890b3cc9b77615:0x49b5de4093821c56!8m2!3d61.4775412!4d21.7809688!16s%2Fg%2F1tf7l61w?entry=tту&_

Google Maps. (2024c). Lihajaloste Korpela. Haettu 20.7.2024 osoitteesta

https://www.google.com/maps/place/Lihajaloste+Korpela+tehtaanmyym%C3%A4l%C3%A4+Huittinen/@61.1971229,22.6930436,257m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x46894ea946c4b7c9:0xab5d693c9d9d2053!8m2!3d61.197108!4d22.6940296!16s%2Fg%2F1td4hrzc?entry=tту&_ep=EgoyMDI0MTExO

Ilmasto-opas. (2022). Suomen kasvihuonepäästöt laskussa. Haettu 1.11.2023 osoitteesta

<https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/suomen-kasvihuonekaasupaastot-ovat-laskussa>

Jaakkola, U. (2015). Biokaasutuotannon raaka-aineiden esikäsittely. Teoksessa M. P. Kymäläinen, Biokaasuteknologia - Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteen hyödyntäminen (s. 56).

Hämeenlinna: HAMK Publications. Haettu 1.10.2023

Jan, A. S. (2024). Optimal allocation of the EU carbon budget: A multi-model assessment. Haettu

5.9.2024 osoitteesta [https://pdf.sciencedirectassets.com/280851/1-s2.0-S2211467X23X00029/1-s2.0-S2211467X23002213/main.pdf?X-Amz-Security-](https://pdf.sciencedirectassets.com/280851/1-s2.0-S2211467X23X00029/1-s2.0-S2211467X23002213/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEEsaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIBwbA19tLnBGmQvb46Pof2h%2FtxdoJXQ4OXWCsrshOMfgAiB9vi2xxHjA19FhJwF2ZkprAO7E4zUwTe2GLXRz4pwBsC)

[Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEEsaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIBwbA19tLnBGmQvb46Pof2h%2FtxdoJXQ4OXWCsrshOMfgAiB9vi2xxHjA19FhJwF2ZkprAO7E4zUwTe2GLXRz4pwBsC](https://pdf.sciencedirectassets.com/280851/1-s2.0-S2211467X23X00029/1-s2.0-S2211467X23002213/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEEsaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIBwbA19tLnBGmQvb46Pof2h%2FtxdoJXQ4OXWCsrshOMfgAiB9vi2xxHjA19FhJwF2ZkprAO7E4zUwTe2GLXRz4pwBsC)

Kinnunen, V.;& Rintala, J. (2015). Biokaasualan monet mahdollisuudet. Teoksessa M. P. Kymäläinen, Biokaasuteknologia - Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna:

HAMK Publication. Haettu 1.3.2024

- Kymäläinen, M. (2015). Biokaasutuotannon raaka-aineet. Teoksessa M. P. Kymäläinen, Biokaasuteknologia. Hämeenlinna: HAMK publications. Haettu 10.5.2024 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf
- Lampinen, A. (2015). Biokaasun käsittely ja hyödyntäminen. Teoksessa M. Kymäläinen;& O. Pakarinen, Biokaasuteknologiaa - Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Hämeenlinna: HAMK Publications. Haettu 3.1.2024
- Latvala, M. (2009). Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Haettu 10.7.2024 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/2a5c5d06-add0-4eb9-89d9-7de9bcd7d7c0/content>
- Leppäkosken Lämpö Oy. (2021). Hakemus 215525. Haettu 2.10.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/documents/5470659/54028933/HakemusLeppakoski.pdf/75a0b5ce-4b4a-c6d0-3143-874ab768aaa3/HakemusLeppakoski.pdf?version=1.0&t=1616559749592>
- Linde Gas. (2024). Nestekaasu on muutakin kuin grillikaasu. Haettu 12.4.2024 osoitteesta https://www.linde-gas.fi/fi/news_ren/linde_stories/lpg-is-more-than-just-barbecue-gas.html
- Luostarinen, S. R. (2020). Biokaasun tuotantopotentiaali, biokaasun ympäristö- ja talousvaikeudet. Haettu 4.1.2024 osoitteesta https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/d99a3ae3-b7f9-49df-afd2-c8f2efd3dc1d/4b8c9229-1966-4f0e-85e3-17b8e6b7b5d4/MUISTIO_20200304145319.pdf
- Malmi, J. (2024). Näytteenvalmistussosaston esiselvitys.
- Motiva. (2020a). Biokaasu. Haettu 1.11.2023 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/biokaasu
- Mutikainen, M. S. (2016). Biokaasusta kasvua. Sitra. Haettu 5.1.2024
- Neste Oy. (2018). Neste delivers first batch of 100% renewable propane to European market. Haettu 10.6.2024 osoitteesta <https://www.neste.com/news/neste-delivers-first-batch-of-100-renewable-propane-to-european-market>
- Nissinen, V. (2023). Näytteenvalmistussosasto. Haettu 19.6.2023
- Opetushallitus. (2024). Osio 2: Minä ja strategia - Swot-analyysi. Haettu 2.5.2024 osoitteesta <https://www.oph.fi/fi/ohjelmat/osio-2-mina-ja-strategia-swot-analyysi>
- P2X. (2023). P2X Solutionsin Harjavallan vetylaitos saavutti harjakorkeutensa. Haettu 3.1.2024 osoitteesta <https://p2x.fi/p2x-solutionsin-harjavallan-vetylaitos-saavutti-harjakorkeutensa/>
- Red, C. (12. 1 2014). Pressure vessels for alternative fuels, 2014-2023. Haettu 1.12.2023 osoitteesta <https://www.compositesworld.com/articles/pressure-vessels-for-alternative-fuels-2014-2023>
- S&P Global. (2023). Haettu 3.7.2024 osoitteesta <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/oil/090123-european-bio-propane-demand-falters-under-margin-squeeze-lack-of-regulation>

SFS EN 16723-1. 2016. Maakaasun ja biometaanin käyttö liikenteessä ja biometaanin syöttö maakaasuverkostoon. Osa 1: Biometaanin laatuvaatimukset maakaasuverkostoon syötössä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS EN 16723-2. 2017. Maakaasun ja biometaanin käyttö liikenteessä ja biometaanin syöttö maakaasuverkostoon. Osa 2: Ajoneuvojen polttoaineiden laatuvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

St1 Oy. (2024). Hakemus 489665. Haettu 3.10.2024 osoitteesta

<https://tukes.fi/documents/5470659/0/ST1+%C3%84%C3%A4ne+hakemus.pdf/4c4222a3-f4fb-baf5-0ffb-50f49abe8f31/ST1+%C3%84%C3%A4ne+hakemus.pdf?version=1.0&t=1718616053694>

Suomen biokierto & biokaasu ry. (2022). Biokaasu 2030. Haettu 1.11.2023 osoitteesta

<https://biokierto.fi/biokaasu/biokaasu2030/>

Suomen biokierto & biokaasu ry. (2022). Biokierto ja biokaasu. Haettu 6.5.2024 osoitteesta

https://biokierto.fi/wp-content/uploads/2022/06/Biokierto-ja-biokaasu_2022_aukeamittain2.pdf

Suomen biokierto & biokaasu ry. (2022a). Biokaasun tuotanto. Haettu 1.12.2023 osoitteesta

<https://biokierto.fi/biokaasu/tuotanto/>

Suomen biokierto & biokaasu ry. (2024a). Suomeen on suunnitteilla ja rakenteilla 42

biokaasulaitosinvestointia vuosina 2024-2027. Haettu 10.6.2024 osoitteesta

<https://biokierto.fi/tiedote-suomeen-on-suunnitteilla-ja-rakenteilla-43-biokaasulaitosinvestointia-vuosina-2024-2027/>

Suomen biokierto & biokaasu ry. (2024b). Biokaasu tilastot. Haettu 22.3.2024 osoitteesta

<https://biokierto.fi/tilastot/biokaasutilastot/>

Suomen biokierto & biokaasu ry. (2024c). Biokaasulaitokset kartalla 2024. Haettu 10.9.2024 osoitteesta

<https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1ZHpWSB6Av2QQIZSGySCriDCW7piuXnBM&femb=1&ll=63.22339970257594%2C25.0194409999999993&z=6>

Kujanpää, L. Koponen, K. Linjala, O. Mäkikouri, S. ja Arasto, A. (2023). Teknologisten hiilinielujen mahdollisuudet ja niiden edistäminen Suomessa. Haettu 10.12.2024 osoitteesta <https://ilmastopaneeli.fi/hallinta/wp-content/uploads/2024/02/ilmastopaneelin-raportti-5-2023-teknologisten-hiilinielujen-mahdollisuudet-ja-niiden-edistaminen-suomessa.pdf>

Suomen kaasuyhdistys ry. (2020). Biokaasun turvallisuusohje. Haettu 1.12.2023 osoitteesta

<https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/biokaasun-turvallisuusohje>

Suomen Kaasuyhdistys ry. (2024). Suunniteluohje maa- ja biokaasun tankkausasemille. Haettu 12.6.2024 osoitteesta <https://www.kaasuyhdistys.fi/julkaisut/suunnitteluohje-maa-ja-biokaasun-tankkausasemille/>

- Suomi.fi. (2024). Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Haettu 10. 6. 2024 osoitteesta <https://www.suomi.fi/organisaatio/turvallisuus-ja-kemikaalivirasto-tukes/8d8c4594-1388-4e3d-a66d-336b021a4815>
- SYKE, S. y. (2021). Yrityksen hiilijalanjäljen laskenta. Haettu 1.6.2024 osoitteesta https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Kiertotalous/Laskurit/YHiilari
- Söderena, P. S. (2019). Biometaanin väliavarastointi ja varastointi ajoneuvoissa: Tulevaisuuden mahdollisuudet. VTT. Haettu 1.12.2023 osoitteesta https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/26400504/Biometaanin_v_livarastointi_ja_varastointi_ajoneuvossa_Tulevaisuuden_mahdollisuudet.pdf
- Tilastokeskus. (2024). Kasvihuonekaasut. Haettu 1.4.2024 osoitteesta <https://stat.fi/tilasto/khki>
- Tukes. (2009). Valtineuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta 551/2009. Haettu 21.6.2024 osoitteesta <https://tukes.edilex.fi/fi/lainsaadanto/20090551>
- Tukes. (2015). Tukes-ohje 7/2015 Maakaasun käsittelyn turvallisuus. Haettu 20.6.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/documents/5470659/6373024/Tukes-ohje+-+Maakaasun+k%C3%A4sittelyn+turvallisuus/ca791766-bf7e-4cf8-8460-555911debbdc/Tukes-ohje+-+Maakaasun+k%C3%A4sittelyn+turvallisuus.pdf?t=1526828346000>
- Tukes. (2019a). Päätös 571/341/2019. Haettu 1.10.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/documents/5470659/11695082/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s+Gasum+571/904bbfab-1d8f-f6e8-b814-ad9a109311cc/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s+Gasum+571.pdf>
- Tukes. (2019b). Päätös 1300/341/2019. Haettu 1.10.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/documents/5470659/20429854/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s%20Gasum%20Huittinen/e85fb5b4-0256-b580-37e4-dfaade327acf/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s%20Gasum%20Huittinen.pdf>
- Tukes. (2019c). Päätös 1428/341/2019. Haettu 4.10.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/documents/5470659/20429854/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s+Gasum+Oy%2C+Lahti/8d030b1d-54ee-f2f3-808f-6ffd97bae0c6/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s+Gasum+Oy%2C+Lahti.pdf>
- Tukes. (2019d). Paineistetun maa-/biokaasun (CNG/CBG) syöttöaseman rakentaminen. Haettu 1.7.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/documents/5470659/11695082/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s+Gasum+571/904bbfab-1d8f-f6e8-b814-ad9a109311cc/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s+Gasum+571.pdf>
- Tukes. (2021). Turva-automaatio prosessiteollisuudessa. Haettu 1.12.2023 osoitteesta <https://tukes.fi/turva-automaatio-prosessiteollisuudessa>
- Tukes. (2023). Tietoa Tukesista. Haettu 11.8.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/tietoa-tukesista>

- Tukes. (2024a). Maakaasua koskevat standardit 2024. Haettu 12.8.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/documents/5470659/8178747/Maakaasua+koskevat+standardit+2024.pdf/b742a662-d699-bdd9-2552-04d77abe4dc8/Maakaasua+koskevat+standardit+2024.pdf?t=1714459814891>
- Tukes. (2024b). Biokaasu. Haettu 10.8.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-biokaasu/biokaasu>
- Tukes. (2024c). Maakaasu ja biokaasu. Haettu 1.7.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-biokaasu>
- Tukes. (2024d). Rakentamisluvan hakeminen ja ilmoitukset. Haettu 10.6.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-biokaasu/rakentamisluvan-hakeminen-ja-ilmoitukset>
- Tukes. (2024e). Maakaasun varastointi. Haettu 11.6.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-biokaasu/maakaasun-varastointi>
- Tukes. (2024f). Maakaasuputkiston/-kohteen käytönvalvoja. Haettu 12.6.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-biokaasu/kaytonvalvoja>
- Tukes. (2024g). Maakaasuputkiston/-laitteistojen asennus, tarkastus ja käyttö lupa. Haettu 13.6.2024 osoitteesta <https://tukes.fi/teollisuus/maakaasu-ja-biokaasu/asennus-tarkastus-ja-kayttolupa>
- Tuset, S. (2024). Siloxanes in biogas: Origin, effect and treatment. Haettu 9. 12. 2024 osoitteesta <https://condorchem.com/en/blog/siloxanes-biogas-treatment/>
- Työterveyslaitos. (2022). Nestekaasut. Haettu 10.6.2024 osoitteesta <https://ova.ttl.fi/nestekaasut>
- U.S department of energy. (2021). Propane production and distribution. Haettu 3.1.2024 osoitteesta <https://afdc.energy.gov/fuels/propane-production>
- Valtioneuvoston asetus 551/2009. (2009). Valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta. Haettu 1.2.2024 osoitteesta <https://tukes.edilex.fi/fi/lainsaadanto/20090551>
- Winqvist, E. (2021). Biokaasun tuotanto maatalouden sivuvirroista – ympäristöhyötyjä ja resurssitehokkuutta. Haettu 4.8.2024 osoitteesta <https://www.luke.fi/fi/blogit/biokaasun-tuotanto-maatalouden-sivuvirroista-ymparistohyotyja-ja-resurssitehokkuutta>
- Ympäristöministeriö. (2023). Suomen kansallinen ilmastopoliittika. Haettu 10.7.2023 osoitteesta <https://ym.fi/suomen-kansallinen-ilmastopoliittika>