



**macon**

# BIOKAASUN TUOTTAMINEN JA JALOSTAMINEN KESKITETYSSÄ ISOSSA LAITOKSESSA



## BIOKAASUN TUOTTAMINEN JA JALOSTAMINEN KESKITE- TYSSÄ ISOSSA LAITOKSESSA

Biokaasun tuottamista ja jalostamista keskitetyssä isossa laitoksessa pidetään kannattavana, jos tuotettavan biokaasun määrä on noin 13 GWh (noin 160 m<sup>3</sup>/h). Laitos tarvitsee noin 20 000 tonnia erilaisia anaerobiseen käsittelyyn soveltuvia syötteitä. Syötemateriaaleja voivat olla muun muassa kaupan ja teollisuuden biopohjaiset jätteet ja sivuvirrat, jotka eivät sisällä vaarallisia aineita, maa- ja metsätaloudessa syntyvät biojätteet ja -sivuvirrat, kunnalliset jätevesilietteet sekä kotitalouksissa syntyvät biojätteet. Laitokseen sisällytetään yleensä myös erillinen hygienisointi.

Tässä konseptissa raakakaasu käsiteltäisiin erillisellä biokaasun puhdistus ja paineistusyksikössä. Suurin osa puhdistetusta kaasusta nesteytetään ja osa kaasusta voidaan paineistaa erilliseen varastoon (CNG).

Nesteytyksen yhteydessä on integroitu lämmön talteenotto, jossa hukkalämpö voidaan hyödyntää biokaasulaitoksen omassa prosessissa.

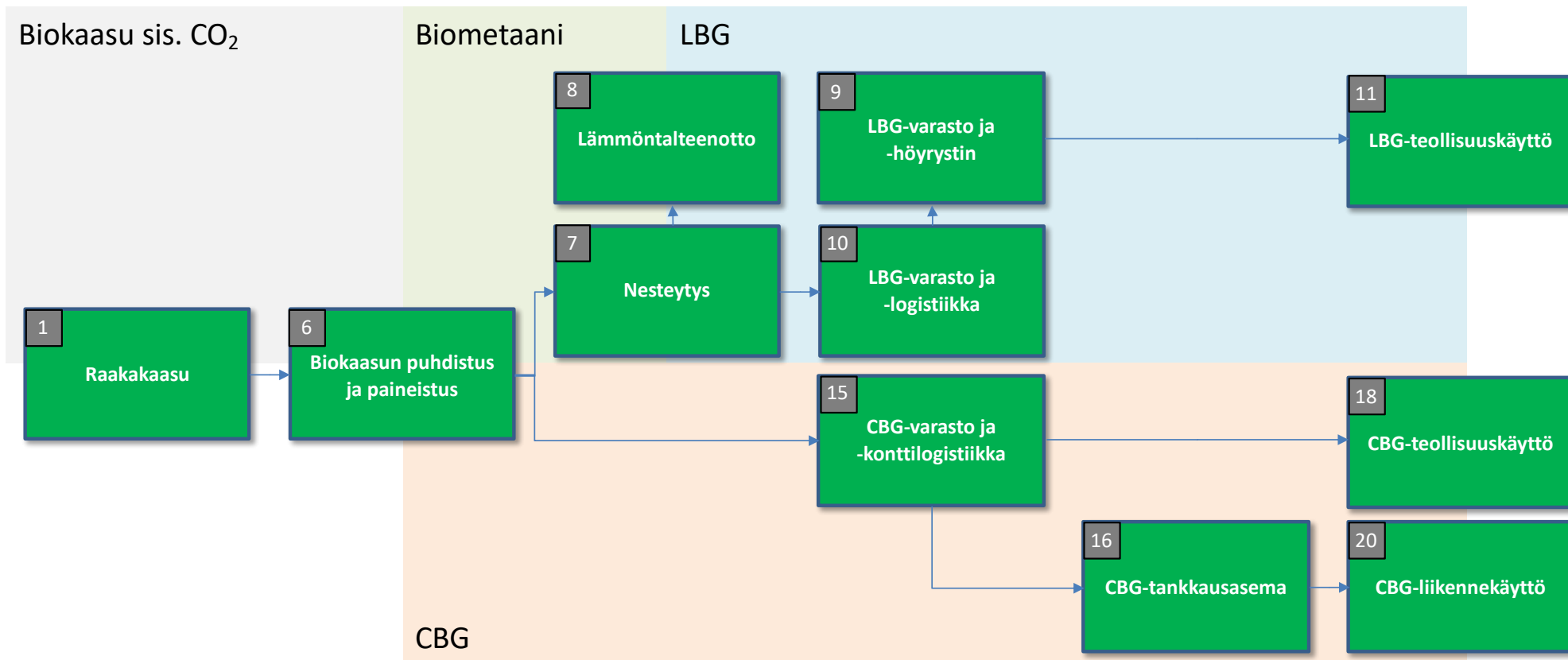
Nesteytetty biokaasu varastoidaan alueella ja sitä käytettäisiin teollisuuskäytössä, esim. lämpökattilan polttoaineena. Paineistettu biokaasu hyödynnetään joko liikennekäytössä tai teollisuuskäytössä.

Suunniteltu arvoketju mahdollistaisi biokaasun laajamittaisen teollisuuskäytön sekä paineistetun kaasun liikennekäytön. Laitos tuottaisi CBG:tä 1-2 tankkausaseman tarpeisiin. Suunniteltu konttilogistiikka mahdollistaisi jakelun. Paineistettu biokaasu soveltuu myös useaan teollisuuskohteeseen.

Koko arvoketjusta on tehty erillinen kannattavuusanalyysi, jonka mukaan laitoksen toiminta olisi kannattavaa jo ennustetuilla nykymäärillä (IRR 5 %) (kts. Liite1: Selvitys biokaasun teknisistä käyttömahdollisuuksista ja taloudellisuudesta). Koko arvoketjun tarvitsema investointi on noin 3,7 miljoonaa euroa.

Lisäksi Liitteessä 2: Verotuksen ja lainsäädännön muutosten vaikutusten arviointi, on käyty läpi verotuksen, jakeluelvoitteen ja tiedossa olevien tulevien lainsäädännön ja muiden muutosten vaikutuksia biokaasutuotantoon.

ARVOKETJUN KUVAUS



## ARVOKETJUUN LIITTYVÄT INVESTOINNIT

Biokaasulaitoksen laiteinvestoinnit on arvioitu budjettitarjouksiin perustuen. Budjettitarjoukset on pyydetty raporteilla esiteltyjen laitetekniikoiden toimittajilta ja myyjiltä. Kokonaisinvestointi on esitetty taulukossa seuraavasti. Investointi on jaettu osa-alueisiin sekä ennustetulla ns. täydellä kapasiteetilla. Mahdollinen investointituki on huomioitu laitteiston hinnassa. Lisätietoja löydät liitteestä 1: Selvitys biokaasun teknisistä käyttömahdollisuuksista ja taloudellisuudesta, kohdista Selvitys 1 ja Selvitys 1- kannattavuus.

Osa-alue	Laitteiston hinta	Investointituellinen hinta (25 % tuki )
Biokaasun puhdistus ja paineistus	700 000 €	525 000 €
Nesteytys	1 553 067 €	1 164 800 €
LBG varasto ja höyrystin	1 153 467 €	865 100 €
Konttilogistiikka	153 333 €	115 000 €
Kaasun tankkausasema (CBG)	880 000 €	660 000 €
<b>Yhteensä</b>	<b>4 439 867 €</b>	<b>3 680 900 €</b>

## ARVOKETJUN LASKENNASSA KÄYTETYT OLETUSARVOT

Biokaasulaitoksen laiteinvestoinnit on arvioitu budjettitarjouksiin perustuen. Kokonaisinvestointi on esitetty taulukossa seuraavasti. Investointi on jaettu osa-alueisiin sekä ennustetulla ns. täydellä kapasiteetilla. Raakakaasun hinnan laskennassa on huomioitu biokaasun tuottajan kustannusten kattaminen. Mahdollinen investointituki on huomioitu laitteiston hinnassa.

Osa-alue	Hinta-arvio
Raakakaasun arvo	36 €/MWh
LBG:n hinta	1,6 €/kg
CBG:n hinta	1,17 eur/Nm <sup>3</sup>

## INVESTOINNIN KANNATTAVUUS

Arvoketjun mukaisen investoinnin nettonykyarvo (NPV, net present value) on 3 793 455 € annetulla diskonttauskorkokannalla (5 %) positiivinen. Vaihtoehtoisista investointihankkeista kannattavin on se, jonka nettonykyarvo on suurin.

Sisäisen korkokannan (IRR, internal rate of return) menetelmässä etsitään sisäistä korkokantaa, jolla nettonykyarvo on nolla. Tuloksena saadaan investoinnin tuotto prosentteina investointiin sijoitetulle pääomalle, joka tälle arvoketjulle on 16 %. Investointi on kannattava, kun tuotto prosentti vastaa tuottovaatimusta. Vaihtoehtoisista investointihankkeista kannattavin on se, jonka sisäinen korkokanta on suurin.

Investoinnin takaisinmaksuajan menetelmässä lasketaan aika vuosina, jonka aikana investointi nettotuloina maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuaika määritetään laskemalla, miten monen vuoden diskontatut nettotulot tarvitaan investointimenon kattamiseksi. Arvoketjun mukaisen prosessin investoinnin takaisinmaksuaika on 5 vuotta. Diskonttauskorkona on käytetty 5 % sekä inflaatio 2 %.

## ARVOKETJUN KUVAUS

Laitteiston operatiiviset kulut koostuvat pääasiassa henkilöstöstä sekä huoltokuluista.

## BIOKAASUN JALOSTUS

### Tekninen kuvaus

Biokaasulaitoksen kaasun jalostus koostuu vedenerotuksesta, pesusta (hiilidioksidin poisto) sekä paineistuksesta. Linjasto on suunniteltu käsittelemään noin 13 000 MWh biokaasua. Jalostuksen osalta tämä vastaa noin 300 Nm<sup>3</sup> biokaasua tunnissa käsittelevää yksikköä.

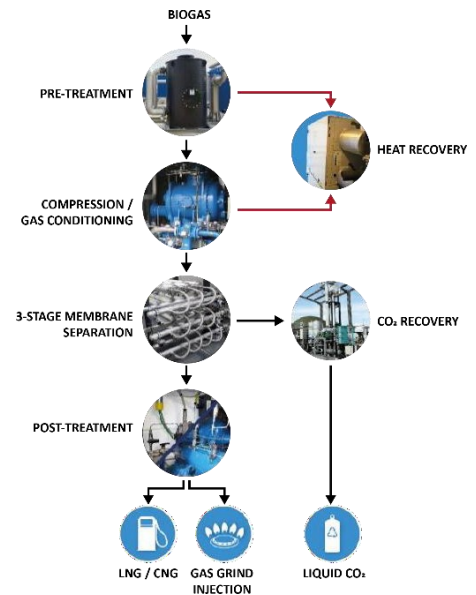
Hiilidioksidin poisto pesumenetelmällä on tällä hetkellä yleisin käytetty menetelmä, jossa biokaasu syötetään paineistettuna vesikoloniin. Mahdollinen rikkivety voidaan kyllästää adsorptiomateriaaliin. Kosteus poistetaan lauhduttamalla biokaasua esim. sille suunnitellussa maavaraeisessa putkessa.

Jalostus tarvitsee erillisen teknisen tilan jalostukselle, kompressorille sekä sähkölaitteille (kontti).

**Bright Biomethane** on hollantilainen johtava biokaasun jalostuslaitoksia valmistava yritys. Heillä on useita referenssejä Euroopassa ja Suomessa.

**Jahotec Oy** on kehittänyt useita biokaasuprosessiin sekä kaasun jalostukseen liittyviä teknisiä ratkaisuja.

**Metener Oy** on ollut Suomessa edelläkävijä biokaasun jalostuksen osalta. He myyvät omaa jalostuslaitosta BKP300 tuotenimellä.



Kuva. Bright Biomethane kaasunjalostusyksikkö

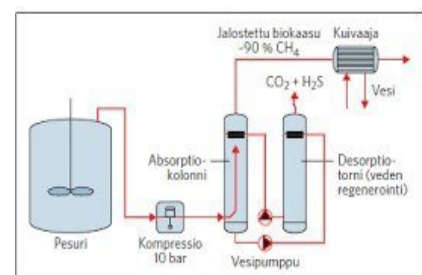
### Tekniset tiedot:

Pesuri

Kompressor: 16 bar Membraani tai adsorptiokoloni

Kaasun analysaattori (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S)

Automaatio



Kaaviokuva biokaasun jalostamisesta polttoaineeksi

## BIOKAASUN NESTEYTYYS

### Tekninen kuvaus

Laitoksen toiminnan tarkoitus on biometaanin jatkuva nesteytys bio-LNG:ksi. Stirlingin tekninen ratkaisu ei tarvitse jäädytystä avoimen kierron nestemäisen tyyppien nesteyttämistä käyttämällä. Mikronesteytys tarjoaa hyvän joustavuuden ja tehokkuuden. Stirling toimittaa ratkaisun, jossa ei käytetä nesteytettyjä teknisiä kaasuja ja jolla on alhaiset CAPEX- ja OPEX- kustannukset sekä joka on yksinkertainen hallita ja soveltuu mikromittakaavaan nesteytykseen.

Stirling Cryogenics on kehittänyt yhdessä italialaisen sisaryrityksensä Hysytech Srl:n kanssa sopivan menetelmän syötettävän biometaanin puhdistamiseen. Puhdistusjärjestelmän tavoitteena on alentaa hiilidioksidi- ja vesipitoisuutta. Puhdistusvaihe tiputtaa CO<sub>2</sub>-pitoisuuden < 0,5 tilavuusprosenttiin käyttämällä regeneroitavia molekyyliseuloja.

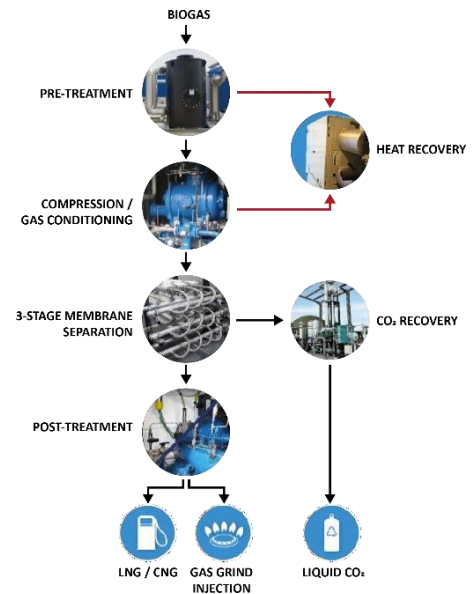
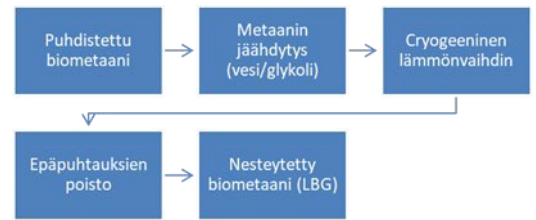
#### Biometaanin nesteytys

Paineistettu biometaanin virtaa yksikköön, jossa se nesteytetään lämmönvaihtimilla lämpötilan asteittaisella alentamisella. Nesteytyslämmönvaihtimet on eristetty riittävästi lämpöhäviöiden välttämiseksi. Muut kiinteät epäpuhtaudet (esim. CO<sub>2</sub>-kiteet) tai höyryt (esim. typpi) erotetaan nesteytyksen jälkeen kolmivaiheisella erottimella. Bio-LNG toimitetaan < -146 °C:ssa ja 2 bar paineessa.

**Stirling Cryogenics** on hollantilainen johtava biokaasun jalostuslaitoksia valmistava yritys. Heillä on useita referenssejä Euroopassa ja Suomessa.

**Wärtsilä Oy** on kehittänyt useita biokaasuprosessiin sekä kaasun jalostukseen liittyviä teknisiä ratkaisuja.

**Sarlin Oy** on ollut Suomessa edelläkävijä biokaasun jalostuksen osalta. He myyvät omaa jalostuslaitosta BKP300 tuotenimellä.



Kuva. Bright Biomethane kaasunjalostusyksikkö

#### Tekniset tiedot:

Pesuri  
Kompressori: 16 bar Membraani tai adsorptiokolonni  
Kaasun analysaattori (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S)  
Automaatio

## CBG varastointi

### Tekninen kuvaus

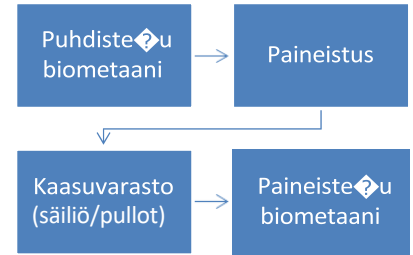
Puhdistettua ja paineistettua biometaanua voidaan varastoida useilla eri tavoilla. Metaanin tilavuus muuttuu merkittävästi, riippuen siitä onko kyseessä ilmanpaineinen normiolosuhteissa oleva metaani, 200 bar paineessa oleva metaani vai nesteytetty metaani. Yksi kilo paineistettua biometaanua vastaa noin 1,36 litraa dieseliä ja vastaavasti 1,56 litraa bensiiniä. Paineistetut säiliöt edellyttävät hyvin puhdistettua kaasua korroosion välttämiseksi. Paineen kasvaessa puhtausvaatimukset tiukentuvat. Biokaasun kohdalla suurimmat korroosion aiheuttajat ovat rikkivety ja vesi jopa hyvin pieninä pitoisuuksina.

Suurten paineistettujen terässäiliöiden lisäksi biometaanua voidaan varastoida kaasumaisessa muodossa kaasupullo- ja monisäiliökonteissa. Kaasupullot voivat olla valmistettu komposiitista tai teräksestä

**Umoe Advanced Composites** sijaitsee Norjassa ja on maailman johtava suurten tyyppi IV lasikuitupaineastioiden sekä CNG:n, biokaasun ja vedyn kuljetusmoduulien toimittaja.

**Calvera** on espanjalainen yritys, joka toimittaa CNG/GBG paineistuslaitteistoja ja konttiratkaisuja kaasunjakeluun.

**Biovoima** on ollut Suomessa edelläkävijä biokaasun jalostuksen osalta. He toimittavat Fornovo Gas S.p.A:n (Italia) valmistamia maa- ja biokaasun paineistuslaitteistoja sekä Umoen kaasunsiirtokontteja.



## LBG varastointi

### Tekninen kuvaus

LNG:tä voidaan varastoida sille suunnitelluissa varastosäiliöissä. Varastosäiliön koko voi vaihdella lämmönkulutuksesta riippuen esim. 89 m<sup>3</sup> ja 200m<sup>3</sup>. Alle 90 m<sup>3</sup> säiliö vaatii ns. ilmoitusmenettelyn (kevyempi menettely) kun taas 200m<sup>3</sup> vaatii ns. toiminta-periaateasiakirjan (huomattavasti enemmän suunnittelua).

LBG:n varastointi on haasteellisempaa kuin CBG varastointi johon LBG:lle tyypillisestä kaasun haihtumisesta (ns. BOG-kaasu (eng. Boil-off gas). Haihtumista pyritään hallitsemaan teknisellä ratkaisulla lisäämällä terminaalin yhteyteen pieni uudelleen nesteytysyksikkö, jolloin säiliö pysyy jatkuvasti kylmänä eikä BOG:ia pääse muodostumaan. Jos säiliö on pitkiä aikoja pois käytöstä, voidaan säiliö myös tyhjentää LBG:stä ja antaa sen lämmitä. Säiliön käyttöönotto tapahtuu esim. jäädyttämällä säiliö nestemäisellä tyypellä, jonka jälkeen käyttö voidaan aloittaa uudelleen.

Jos LNG:n varastointimäärä ylittää 100m<sup>3</sup>, on sille haettava ympäristölupa. Puhdistettua ja paineistettua biometaania voidaan varastoida useilla eri tavoilla. Metaanin tilavuus muuttuu merkittävästi, riippuen siitä onko kyseessä ilmanpainainen normiolosuhteissa oleva metaani, 200 bar paineessa oleva metaani vai nesteytetty metaani.

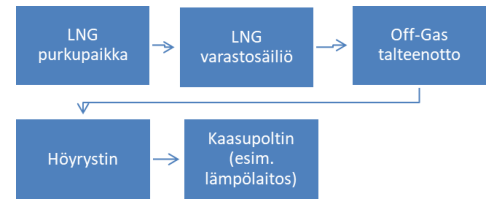
Verrattuna dieseliin on yhden diesellitran energiasisältö sama kuin 4 litraa CBG (250 bar). Paineistetut säiliöt edellyttävät hyvin puhdistettua kaasua korroosion välttämiseksi. Paineen kasvessa puhtausvaatimukset tiukentuvat. Biokaasun kohdalla suurimmat korroosion aiheuttajat ovat rikkivety ja vesi jopa hyvin pieninä pitoisuuksina.

Suurten paineistettujen terässäiliöiden lisäksi biometaania voidaan varastoida kaasumaisessa muodossa kaasupullo- ja monisäiliökonteissa. Kaasupullot voivat olla valmistettu komposiitista tai teräksestä.

**Chemet S.A** on puolalainen erilaisten paineistettujen kuljetus- ja varastointisäiliöiden valmistaja. Se on yksi Euroopan johtavista paineastioiden valmistajista.

**Chart Industries** on USA:lainen globaali toimija, joka toimittaa modulaarisia nesteytyslaitosratkaisuja, jotka mahdollistavat nestemäisten polttoaineiden kuljettamisen ja varastoimisen (pienet ja keskikokoiset järjestelmät)

**Shijiazhuang Enric Gas Equipment Co., Ltd.** on kiinalainen kansainvälinen yritys, joka on sitoutunut valmistamaan ja tarjoamaan korkealaatuisia ja luotettavia korkeapaine- ja kryogeenisiä laitteistoja, jotka täyttävät kaikki varastointi- ja kuljetusvaatimukset ja jotka palvelevat CNG/LNG-teollisuutta.



### Esimerkki puolalaisen Chemet S.A:n kryogeenisten tankkien ominaisuuksista:

Käyttökohde: Nesteytetty maa-/biokaasu

Suurin sallittu työpaine: 7- 37 bar

Vesitilavuudet: 25-250 m<sup>3</sup>

LNG kapasiteetti: 11,2-111,6 tonnia

Suunnittelusäädökset: EN13458 + EN13445

Rakenne: kaksinkertainen kuori, sisäsäiliö erikoisteräksestä (samoin putkitukset)



## CBG KAASULOGISTIIKKA

### Tekninen kuvaus

Kaasun jalostuslaitoksesta jalostettu ja paineistettu biometaanin varastoidaan kontteihin, jotka kuljetetaan kohteisiin. Kaasulogistiikka sisältää 4 kpl kontteja, jotka on laskettu riittävän tarvittavaan tankkausasemalogistiikkaan.

Kaasukontin valmistajia on useita ja niiden hinnat eivät vaihtelee suuresti. Laskennassa on vertailtu eri konttityyppejä (A, B C sekä yhdistelmäkontteja). Lopullisissa laskelmissa käytetty A konttihintaa.

### Biokaasun konttilogistiikka

Inventoinnissa ei ole huomioitu mahdollisia tukia. Konttilogistiikan pidemmissä kuljetuksissa on huomioitu yhdistelmäkuljetus. Paluumatkalle on huomioitu mahdollinen raaka-aineen kuljetus takaisin biokaasulaitokselle.



Kuva. Biovoima Oy:n kaasukontti

### Tekniset tiedot:

Konttityyppi: 20' koukkulavakontit

Max. käyttöpaino: 250 bar

Kontin vesitilavuus: 14 850 litraa per kontti

Kuljetettava kaasumäärä: n. 3 150 kg (15°C) per kontti

Toiminto	Arvo	Yksikkö
Täyden/tyhjän tankin nouto	10	min
Ajo	65	km/h
KytKentä	10	min
Etäisyys		km
ADR auton tuntihinta-arvio	90	€/h
Kärrylisä	20	€/h

## CBG KAASUN TANKKAUSASEMA

### Tekninen kuvaus

Kaasun jalostuslaitoksesta jalostettu ja paineistettu biometaanin varastoidaan kontteihin, jotka kuljetetaan tankkausasemalle. Tankkausasema sisältää kaksi tankkauspistettä, toinen henkilöautolle ja toinen raskaalle kalustolle. Lisäksi tankkausasema sisältää kontin maakaasulle. Kaasun tankkausasemien valmistajia on useita ja niiden hinnat eivät vaihtelee suuresti.

Laskennassa on käytetty keskimääräistä tankkausasemahintaa (750 000 €). Tankkausasemien hintavertailussa on käytetty kolmen eri toimittajan hintoja. Suomessa merkittävimmät jakelijat ovat Gasum ja SEO. Ruotsissa myös St1.

**Bright Biomethane** on valmistanut useita biokaasun tankkausasemia Eurooppaan.

**Metener Oy** on valmistanut Suomen ensimmäiset biokaasun tankkausasemat.

**Suomen Biovoima Oy** on tuonut markkinoille täysin uudenlaisen BioPark kaasuntankkausasemakonseptin.

### Biokaasun tankkausaseman kannattavuus

Biokaasun käyttö on arvioitu olevan maksimissaan yhteensä 13 000 MWh, josta tankkausasemille tuleva osuus on arvioitu olevan noin 2000 MWh (292 000 kg) / asema. Biokaasun myyntihinta on arvioitu 1,129 €/kg (alv 0 %).

Tankkausaseman kannattavuus on riippuvainen tankattavien ajoneuvojen määrästä. Kannattavuusrajaksi on laskettu oheisen taulukon mukaiset käyttäjämäärät.

Tankkausasemat		
1 tankkausasema	2	GWh

Taulukko. Ajoneuvojen minimimäärät

Ajoneuvoja	kpl	kg
Jätepakkari	2	164 000
Jakeluauto	5	75 000
Pakettiauto	5	20 000
Henkilöauto (ammattiliik.)	10	30 000
Henkilöauto (yksityinen)	10	1 000
Yhteensä		299 000

## OPTIO: HIILIDIOKSIDIN HYÖDYNTÄMINEN

### Q-Power: Metaania hiilidioksidista ja vedystä

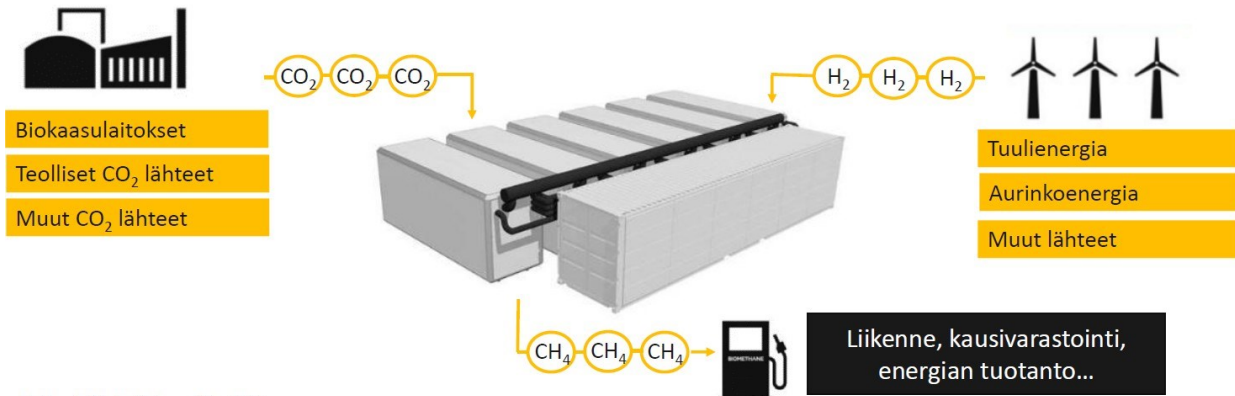
Patentoidut bioreaktori tuottavat metaania hiilidioksidista ja vedystä poikkeuksellisen hyvällä noin 83 % hyötysuhteella.

Teknologia voi toimia myös uusiutuvan energian varastointi ja säätövoimaratkaisuna Power to Gas.



### Metaania hiilidioksidista ja vedystä

Raaka-aineena hiilidioksidia tuottavat laitokset ja teollisuus  
 Vetyä tuotetaan uusiutuvalla energialla  
Tuotteena synteettistä metaania



## LIITTEET

Liite 1. Selvitys biokaasun teknisistä käyttömahdollisuuksista ja taloudellisuudesta (excel)

Liite 2. Verotuksen ja lainsäädännön muutosten vaikutusten arviointi

## LÄHTEET

- Budjettitarjoukset, luottamuksellisia:
  - Bright Biomethane
  - Calvera
  - Chart Industries
  - Chemet S.A
  - Jahotec Oy
  - Metener Oy
  - Sarlin Oy
  - Shijiazhuang Enric Gas Equipment Co., Ltd.
  - Stirling Cryogenics
  - Suomen Biovoima Oy
  - Umoe Advanced Composites
  - Wärtsilä Oy
- Energiateollisuus ry, Kaukolämmön keskihinta
- Gasum Oy, LBG hinta/kg
- Rambol Oy, Biometaanin lämpöarvo
- Stormossen Oy/Ab, Biometaanin tiheys
- Viafin Gas, OPEX
- Viafin Gas, CAPEX