



## **BIOKAASU/ BIOMETAANI**

Biokaasusta voidaan tuottaa lämpöä (poltto), sähköä (esim. CHP) ja liikennepolttoainetta (esim. CBG). Sen liikennepolttoainekäyttö edellyttää maakaasua vastaavalla tavalla kaasun puhdistamista, jolloin raakabiokaasusta poistetaan moottoriteknisesti ja paineistusta ajatellen haitalliset komponentit. Merkittävimmät haitalliset aineet ovat hiilidioksidi, joka tankkauksien myötä kertyisi kaasusäiliöön, ja rikkiyhdisteet, jotka syövyttäisivät mm. moottoria. Rikkiyhdisteistä rikkivety tuottaisi palaessaan energiaa, mutta sen määrää pyritään vähentämään rikki-dioksidipäästöjä ja korroosiota aiheuttavan vaikutuksen takia. Jalostuksen päämääränä on mahdollisimman puhdas metaani. Ensimmäisen kerran puhdasta metaania on tuotettu suokaasusta (Alessandro Volta 1777).

### **Biometaanin liikennekäyttö**

Maailmassa on yli 10 miljoonaa biokaasulle soveltuvaa ajoneuvoa. Biokaasukäyttöiset moottorit toi tehdasvalmisteisina markkinoille raskaassa kalustossa ensimmäisenä MAN ja Mercedes Benz 1980-luvulla ja henkilöautoissa BMW 1995. 1980-luvulle saakka kaikki ja nykyäänkin yli puolet metaanikäyttöisistä ajoneuvoista on jälkepäin konvertoituja. Nämä ajoneuvot soveltuvat myös maakaasulle.

Metaanin lämpöarvo on 50 MJ/kg, eli 36 MJ/n-m<sup>3</sup>, eli 10 kWh/ n-m<sup>3</sup>. Normaali-paineessa yhden metaani-kg:n tilavuus on 1,389m<sup>3</sup>. Biokaasu on n. 140 oktaaninen liikennepolttoaine. Metaanin korkea oktaaniluku sallisi bensiiniä korkeamman puristussuhteen, jopa 18:1. Polttomoottorin hyötysuhdetta voidaan parantaa puristussuhdetta nostamalla (Carnot'n hyötysuhde).

Ilman kipinäsytytystä metaania käytetään dieselajoneuvoissa yleisimmin dualfuel -moottoreissa, eli metaani sekoitetaan imu- eli polttoilmaan ja sytytys tehdään dieselpolttoaineella. Metaania käytetään myös suorasuihkutuksella. Tämä mahdollistaa suurimman polttomoottorilla saavutettavissa olevan hyötysuhteen kompressiosuhteen ollessa 23:1.

Metaani palaa vetyä lukuun ottamatta puhtaammin kuin mikään muu kemiallinen polttoaine. Perussyynä tähän on metaanin (CH<sub>4</sub>) yksihiilisyys. Metaanilla on myös muita hyviä ominaisuuksia. Esimerkiksi sen syttymisrajat ilmassa ovat 5 – 15% kun ne vedyllä ovat n. 5 – 75%, eli metaani on muun muassa onnettomuustilanteissa vetyä turvallisempi polttoaine.

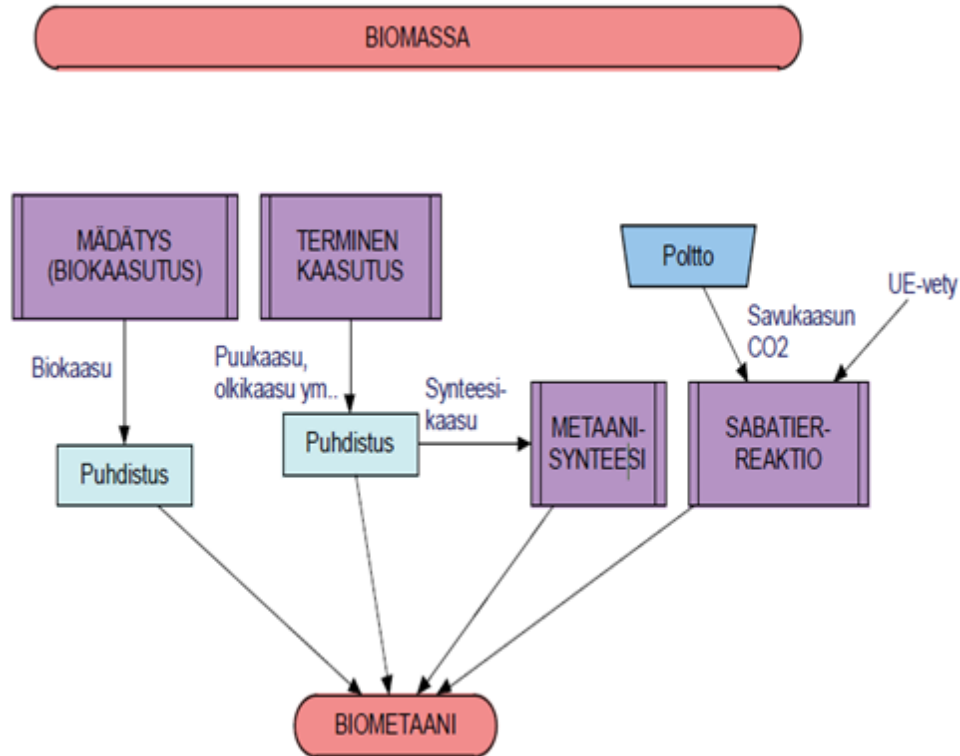
Kaasumaisten polttoaineiden palaminen moottorissa on täydellisempää kuin nestemäisten polttoaineiden, koska ne sekoittuvat polttoilmaan nestemäisiä paremmin. Tästä johtuen ne vähentävät moottoriin muodostuvaa karstaa ja epätäydellisestä palamisesta johtuvia päästöjä.

Vetytalouteen siirryttäessä oleellisia ongelmia ovat vedyn reaktiivisuus ja sen vaikea varastointi. Vety on keveimpänä ja maailmankaikkeuden yksinkertaisimpana yhdisteenä niin pieni, että se paineistettuna vuotaa tavanomaisista materiaalista valmistetun kaasusäiliön seinämän läpi.

Biokaasuautot voivat käyttää polttoaineenaan myös hytaania, joka on metaanin ja vedyn seos. Korkeintaan 20% vedyn osuus ei aiheuta muutoksia autoon.

## Biometaanin valmistusprosessit

Biometaania voidaan valmistaa usealla eri tavalla. Valmistustavan valintaan vaikuttavat mm. käytettävissä oleva raaka-aine ja sijoitusympäristö käsittäen mm. jo rakennetut energiantuotantolaitteistot.



Kuva 1. Biometaanin valmistustapoja. Lisäksi metaania voidaan valmistaa mikrobiologisella elektrolyysillä, joka on laboratoriomittakaavassa toteutettu 2008.

## Mädätys (Happofermentaatio)

Biokaasuksi/biometaaniksi käsitetään yleisimmin jätteenkäsittelyä ja biokaasun tuotantoa varten rakennetuissa biokaasureaktoreissa tuotettua, tai kaatopaikoilta kerättyä kaasua, joka on syntynyt anaerobisten bakteerien (mikrobien) aineenvaihdunnan tuloksena.



Kuva 2. MetaEnergian valmistama biokaasureaktori/yhdistetty kaasukupu vasemmalla ja tekninen tila oikealla. Virtalan tila Haapavesi. [Hannu Snellman 2010]

Biokaasureaktoreiden toimintalämpötilat on nimetty kullakin lämpötila-alueella parhaiten kasvavien anaerobisten bakteerien mukaan. Reaktoreissa tyypillisesti käytettävät lämpötila-alueet ovat mesofiilinen (30 – 45°C) ja termofiilinen (50 – 60°C). Metaania syntyy myös luonnossa esimerkiksi soiden ja vesistöjen pohjalla, jolloin kyseessä on psykoofiilinen lämpötila (0-15°C).

## Mädätyksen ekologisuus

Vaikka kaasuntuotannon lisäämiseksi biokaasureaktoreissa voidaan lisäyötteenä käyttää viljeltyjä energiakasveja, esimerkiksi vanhentunutta karjan tuorerehua, on raaka-aineena tavallisimmin eläinten lanta ja yhdyskuntien jätevedet.

Jäteperäisen bioenergiaresurssin hyödyntäminen energiantuotannossa ei kilpaile muun tuotannon kanssa. Kun lisäksi kyseiset jätteet on käsiteltävä joka tapauksessa, muodostavat nopeasti hajoavat (haisevat) jätteet tärkeimmän ekologisen priorisoinnin mukaisen bioenergiaresurssin. Mikäli nämä jätteet, erityisesti lietelanta, jätetään käsittelemättä, niiden hiilestä merkittävä osa vapautuu ilmakehään metaanina.

Jäteperäisten biopolttoaineiden osuus huomioidaan kaksinkertaisena EU:n uusiutuvan liikenne-energian direktiivissä, jonka tavoitteena on 10% biopolttoaineisuus vuonna 2020.

Mädätys ja saadun biokaasun käyttö liikenteessä on perusteltua muun muassa koska:

- mädätys säilyttää ravinteet toisin kuin muut jätteenkäsittelymenetelmät
- mädätysjäännöksen tyyppi on vesiliukoisessa, kasveille suotuisassa muodossa
- mädätys vähentää maatalojen hajuhaittoja
- märkien biojätteiden metaanipäästöt vähenevät, koska ne eivät vapaudu ilmakehään
- energia saadaan metaanina, joka on laadukas moottoripolttoaine
- jäteperäisen metaanin liikennekäyttö alentaa khk- päästöjä fossiilisiin ja myös muihin biopolttoaineisiin verrattuna
- typen ja rikin oksidien sekä pienhiukkasten päästöt vähenevät hyvin merkittävästi
- biokaasuprosessi vähentää lietteen patogeenipitoisuutta merkittävästi.

Suomessa ainut liikennebiokaasua myyvä maatila on Erkki Kalmarilla Laukaassa, jossa käytetään mesofiilistä lämpötila-aluetta. Reaktorin mädätysjäännöksen patogeenipitoisuus (taudinaiheuttaja) alittaa rajat, jotka on säädetty ihmisruoaksi tarkoitettulle jauhelihalle.

Mädätyksestä poikkeavat metaanin valmistustavat eivät syrjäytä nopeasti biohajoavan jätteen asemaa ensisijaisena bioenergiaresurssina, eivätkä tällä hetkellä myöskään mädätyksen BAT-asemaa (Best Available Technology) niiden käsittelyssä.

## Terminen kaasutus

Termisen kaasutuksen (Kuva 1.) ja siitä saatavan synteetikaasun avulla voidaan valmistaa useita eri polttoaineita mm. metanolia, DME:tä (dimetyylieetteri) ja FT-polttoaineita (Fischer-Tropsch).

Taulukko 1. SASOLin FT-synteetin tyypillinen tuotejakauma (muokattu: Lampinen 2009)

Tuote	Saanto [p-%]
Bensiini, kerosiini ja petroli	41
Nestekaasu (kaasu)	21
Metaani (kaasu)	11
Etaani ja eteeni (kaasu)	10
Alkoholit	9
Dieselöljy	6
Hapot	2

Synteetikaasupohjaiset synteetit edellyttävät katalyytin käyttöä ja monet niistä myös korkeaa synteetilämpötilaa ja –painetta. Synteetin tuotejakaumaan vaikutetaan katalyyttien, synteetilämpötilan ja –paineen avulla.

Esimerkkinä taulukossa 1. on esitetty eteläafrikkalaisen SASOLin FT-synteetin tyypillinen tuotejakauma. Kuten tuotejakauman laajuudesta voi päätellä FT-synteetissä käytetyt katalyytit eivät ole hyvin selektiivisiä ja kaasumaisia tuotteita syntyy yhteensä 42%. Etelä-Afrikassa on kuitenkin vuodesta 1955 alkaen tuotettu FT-synteetillä liikennepolttoaineita.

## Metaanin erottaminen termisestä kaasusta

Biomassan kaasutuksessa syntyy aina metaania. Muita kaasutuksessa syntyviä pääkomponentteja ovat häkä ja vety. Metaanin osuus on sitä suurempi, mitä matalampi on kaasutuslämpötila. 1940-luvulla Helsingin kaupunkikaasuverkkoon syötetystä puhdistetusta kaasusta metaanin osuus oli 30 t-%. Helsingin kaasulaitos käytti raaka-aineena alun perin puuta, mutta myöhemmin myös fossiilisia polttoaineita.

Kaupunkikaasun tuotantoa vastaavalla tavalla myös puukaasuttimissa – Nykyaikaisille puukaasuttimille parempi nimitys olisi biomassakaasutin, erityisesti ”häkäpönttö” on jo vanhentunut käsite - muodostuu metaania, joka on hään ja vedyn ohella yksi pääkomponentti kaikilla polttoaineilla.

Alhaisen kaasutuslämpötilan haittapuolena on, että myös moottoriteknisesti haitallisia tervoja syntyy paljon. Tervejen haitat ovat moottorikäytössä ja tuotekaasun (synteetikaasun) jatkojalostuksessa selvästi suuremmat kuin suuresta metaanipitoisuudesta saatava hyöty. Tämän vuoksi puukaasuttimissa ja muissa synteetikaasun valmistusmenetelmissä pyritään korkeaan kaasutuslämpötilaan, jolloin vedyn ja hään osuudet vastaavasti kasvavat. Ensimmäinen termisen biometaanin valmistustapa oli sen erottaminen puukaasusta.

## Metaanisynteesi

Korkeassa kaasutuslämpötilassa valmistettu, korkean vety ja häkä pitoisuuden ja alhaisen metaani (ja terva) pitoisuuden tuotekaasusta voidaan valmistaa biometaania metaanisynteesin eli metanoinnin avulla (Kuva 1). Kyseessä on yksi kaasutuspohjaisten synteettisten biopolttoaineiden valmistusprosessi. Metaanisynteesiä käytetään myös kaasutusvedyn tuotannossa hiilidioksidin poistomenetelmänä.

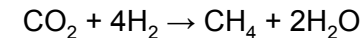
Metaanisynteesissä käytetään mm. nikkeli-, rutenium-, koboltti-, molybdeeni-, ja rautakatalyyttejä, joista nikkeli on kaupallisissa laitoksissa yleisin. Nikkeliä käytettäessä metaanisynteesin lämpötila on 300 - 400°C. Muita katalyyttejä käytettäessä lämpötila-alue on 120 - 650°C.

## Metaanisynteesin reaktioita

Metaanisynteesin kemiallinen reaktio on

$$\text{CO} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$$

Nikkelikatalyyttiä käytettäessä voidaan hyödyntää myös kaasutuksessa ja toisessa metaanisynteesireaktiossa syntyvää hiilidioksidia Sabatier-reaktiolla



Hiilidioksidia edelliselle tuottava metaanisynteesireaktio on

$$2\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$$

Nikkelikatalyytit ovat hyvin selektiivisiä ja konvertoivat samanaikaisesti sekä hiilimonoksidia, että hiilidioksidia. Jos vety halutaan erottaa muuhun käyttöön ja hiilidioksidia ei haluta konvertoida, on käytettävä muita katalyyttejä. Metaania voidaan metaanisynteesin avulla käyttää vedyn välivarastona.

Metaanisynteesissä käytetään yleensä pientä ylipainetta, 5 – 30 bar, mutta synteesi on mahdollinen myös normaalipaineessa. Joidenkin katalyyttien kanssa käytetään jopa 140 barin painetta. Metaanisynteesilaitoksissa tuotetaan myös lämpöä johtuen synteessin voimakkaasta eksotermisyydestä.

Metaanisynteesissä voitaisiin käyttää myös matalan lämpötilan kaasutusta, joka ei ole mahdollinen FT-, metanoli- ja DME-synteesissä. Metaanisynteesin hyötysuhde on selvästi parempi kuin esimerkiksi FT- ja DME-synteesissä.

## Eri synteisien hyötysuhteita

Taulukko 2. Synteesikaasupohjaisten polttoaineiden tuotannon hyötysuhde puusta

Synteesi	Terminen hyötysuhde [%]
SBG	75-85
Metanoli	42-66
DME	31-67
FT	40-50
MTG	40-50

Ruotsin öljyriippumattomuusstrategiassa esitetyn tutkimuksen (Pål Börjesson) mukaan Etelä-Ruotsin olosuhteissa saadaan energiapajusta metaanisynteesin avulla hehtaaria kohti laskettuna eniten liikenne-polttoainetta muihin energiakasveihin ja termisiin menetelmiin verrattuna.

Tutkimuksen vertailussa (Kuva 5) on mukana myös metanoli/DME pajusta ja biokaasu sokerijuurikkaasta ja naateista. Raaka-aineen ollessa kuivaa, jolloin sitä ei tarvitse kaasutusta varten kuivata, SBG:n hehtaarisääntö menee myös mädätyksen edelle.

Metaania syntyy myös muissa kaasutus pohjaisissa synteeseissä, kuten FT- synteesissä (Taulukko 1) ja Haber-Bosch-synteesissä kaasutusvetyä valmistettaessa.

## Sabatier reaktio

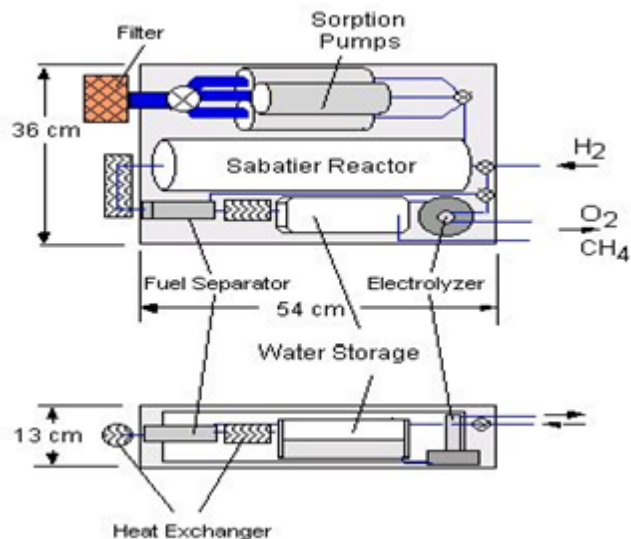
Paul Sabatier tutki vuosina 1901–1905 hiilidioksidin käyttöä polttoaineen valmistuksessa. Hän onnistui ensimmäisenä osoittamaan reaktioyhtälön, joka sitoo hiilidioksidia ja tuottaa metaania. Reaktio sai nimen keksijänsä Sabatierin mukaan (Sabatier 1912).

Sabatier-reaktiolla voidaan tuottaa metaania hiilidioksidista ja vedystä, eli toteuttaa hiilidioksidinielu. Reaktion hyödyntäminen mielletään useimmiten perustuvaksi fossiilisten savukaasujen hiilidioksidin, jotka muutoinkin vapautuisivat ilmakehään. Päästötaseen kannalta metaanin valmistaminen tästä on järkevää vain, jos vety on tuotettu kasvihuone-kaasuvapaasti. Hiilidioksidi voi olla peräisin myös biopolttoaineita käyttävästä voimalasta ja Sabatier-reaktio on yksi edellä esitetyistä metaanisynteesissä tapahtuvista reaktioista.

Hiilidioksidi on hyvin pysyvä yhdiste, joten sen hajottaminen vaatii paljon energiaa. Erilaisia katalyyttejä käyttäen se on kuitenkin mahdollista. Alun perin reaktiossa käytettiin katalyyttinä nikkelpölyä. Alumiinioksidilla saadaan reaktioon kuitenkin vielä parempi hyötysuhde.

Sabatier -laitteistoilla on mahdollista valmistaa synteettistä biokaasua myös pienessä mittakaavassa, joten jopa avaruusalusten oletetaan hyödyntävän prosessia. Alla oleva prosessikaavio kuvaa laitteiston pääkomponentit.

Sabatier -reaktiota on suunniteltu hyödynnettävän miehityllä avaruuslennolla Marsiin. Planeetan pinnalla olevasta hiilidioksidista voitaisiin valmistaa polttoainetta paluumatkalle sekä vettä miehistölle.



Kuva 3. Pienen mittakaavan metaanireaktori avaruuskäyttöön suunniteltuna.

## Itävällan Güssingin Bio-SNG projekti

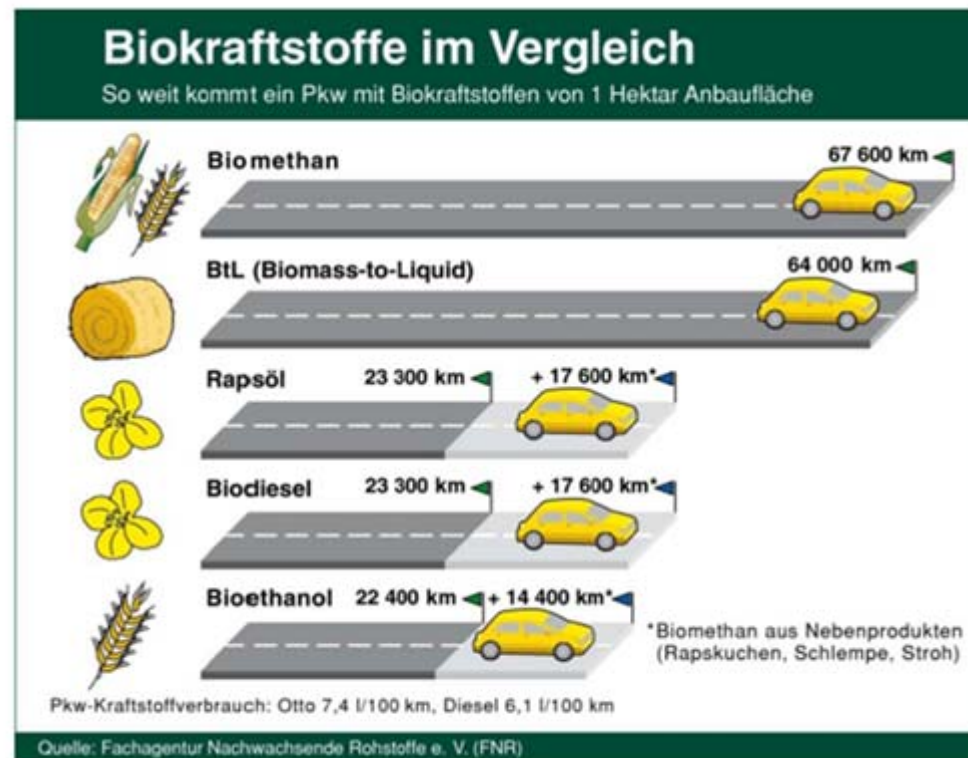
Bio-SNG projekti tutkii metaanin valmistusta suuren mittakaavan laitoksissa. Alustava raportti kertoo synteettisen metaanin valmistusmenetelmän pääkohdat Güssingissä. Laitos perustuu biomassan höyrykaasutukseen. Hankkeesta lisätietoa löytyy internetistä hankkeen nimellä.

## Biometaanin tulevaisuus

Uusiutuvia liikenne-energiaratkaisuja on erittäin runsaasti. Vaikka niillä kaikilla voidaan merkittävästi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä verrattuna fossiilisiin energianlähteisiin, on uusiutuvienkin välillä oleellisia ympäristö- ja ilmastovaikutusten eroja. Uusiutuvien polttoaineiden teknologioihin siirryttäessä niiden valintaa ohjaavat erityisesti elinkaari- ja polttoainetuotannon energiatehokkuus ja eri prosessien hyötysuhteet ovat tärkeä valintakriteeri.

Muun muassa Suomessa on olemassa vielä runsaasti alueita, jotka voitaisiin helposti ottaa elintarviketuotantoon. Lisäksi jo tässä käytössä olevien alueiden tuotantoa ohjaavat erilaiset kesannointivaroitukset, joten maa-alueiden välitön loppuminen elintarviketuotannolta ei ole todellinen uhka. Tästä huolimatta energiakasviviljelyssä on huomioitava viljelyalan tehokas käyttö, joten hehtaarisääntö (ajokilometrit/ha) ohjaavat viljelykasvien ja jalostustekniikkojen valintaa.

Saksassa ja Ruotsissa tehtyjen tutkimusten mukaan energiakasveja viljeltäessä maa-alan käyttö on optimaalisin tuotettaessa biometaania. Käytettäessä biojätettä on mädätysbiokaasun tuotanto energiatehokkain vaihtoehto.



Kuva 4. Henkilöautokilometrimäärä yhdeltä hehtaarilta eri energiakasveilla ja teknologioilla. [Lampinen 2009, Saksan FNR:n selvitys 2008]

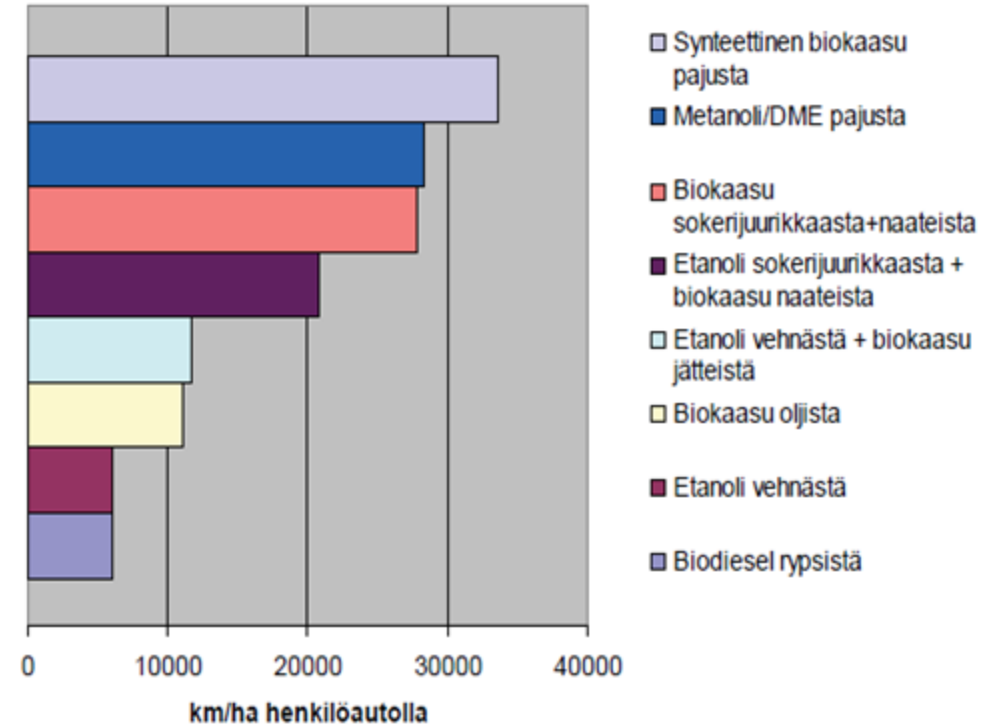
Synteettinen biokaasu (mädättämällä valmistetun rinnalla) on noussut monien maiden, esimerkiksi Ruotsin, energiatekniikan kehityssuunnitelmien merkittävään rooliin. Metaanisynteesillä saavutetaan katalyytin suuren selektiivisyyden takia muita synteetipohjaisia synteesejä parempi konversiohyötysuhde. Lisäksi jalostusprosessi on huomattavasti muita yksinkertaisempi. Myös tuotetun kaasumaisen polttoaineen, metaanin, käytön tavanomaiset päästöt ovat kemiallisista polttoaineista alhaisimmat, lukuun ottamatta vetyä.

Etelä-Suomen maakaasuverkostoa voitaisiin hyödyntää myös biokaasun jakelussa. EU:n kaasumarkkinalainsäädäntö pyrkii monipuolistamaan maakaasuverkkojen käyttöä uusiutuvan energian siirrossa. Ruotsissa biokaasua siirretään Malmön maakaasuverkossa ja Göteborgin kaupunkikaasuverkossa.

Biohajoavien jätteiden mädätys ja biomassapohjainen metaanisynteesi tulevat hyvin suurella todennäköisyydellä yleistymään liikenteen polttoainetuotannossa myös Suomessa.

#### Lähteet

- Lampinen A (2009) Uusiutuvan liikenne-energian tiekartta. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun julkaisu B:17.  
<http://www.liikennebiokaasu.fi/julkaisut.htm>
- Bio-SNG projektin tilraportti (31.1.2010)  
[http://www.biofuelstp.eu/spm2/pdfs/Poster\\_BioSNG\\_PSI.pdf](http://www.biofuelstp.eu/spm2/pdfs/Poster_BioSNG_PSI.pdf)
- Wikipedia (25.1.2009) Sabatier reaction [http://en.wikipedia.org/wiki/Sabatier\\_reaction](http://en.wikipedia.org/wiki/Sabatier_reaction)
- Metener (31.1.2010) sähkötiiedostot. <http://www.metener.fi/NewFiles/sahko.htm>
- Mars Sample Return Mission utilizing *IN SITU* Propellant Production (25.1.2009)  
[http://ralph.open-aerospace.org/solar/ares/report/fig3.jpg&imgrefurl=http://ralph.open-aerospace.org/solar/ares/report/sumrep.htm&usq=\\_\\_EidgIR5hRtR8N\\_UKenU5CKpbi38=&h=232&w=314&sz=17&Fn2TzsHizR-](http://ralph.open-aerospace.org/solar/ares/report/fig3.jpg&imgrefurl=http://ralph.open-aerospace.org/solar/ares/report/sumrep.htm&usq=__EidgIR5hRtR8N_UKenU5CKpbi38=&h=232&w=314&sz=17&Fn2TzsHizR-)
- Wikipedia (25.1.2009) Captive hydrogen synthetic methane production.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen\\_economy#Captive\\_hydrogen\\_synthetic\\_methane\\_production](http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_economy#Captive_hydrogen_synthetic_methane_production)



Kuva 5. Liikennepolttoaineen nettoenergiasaanto Etelä-Ruotsissa yhdeltä hehtaarilta [Lampinen 2009, Sveriges Regeringskansliet /Pål Börjesson 2006]