

# Biokaasun tuotannon ja hyödyntämisen perusteet

ARI LAMPINEN, Ympäristöfysiikan yliassistentti, Jyväskylän yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos, ala@jyu.fi

**Biokaasu on hapettomassa tilassa eli anaerobisesti tapahtuvan biokemiallisen ja mikrobiologisen hajoamisen kaasumainen lopputuote. Tyypillisesti biokaasu sisältää 60-70 % metaania, 30-40 % hiilidioksidia, alle 1 % rikkivetyä ja pieniä määriä muita kaasuja. Biokaasureaktoreita on maailmassa käytössä yli 10 miljoonaa kappaletta.**

Biokaasuprosessin lähtöaineina ovat yleensä hiilihydraatit, proteiinit ja muut typpiyhdisteet sekä rasvat ja muut lipidit. Näitä lähtöaineita kutsutaan jäteteknologiasa ja jätepolitiikassa nopeasti hajoavaksi biojätteeksi, koska mo-

net niistä hajoavat luonnossa jo päivien tai viikkojen kuluessa joko aerobisesti eli hapen avulla tai anaerobisesti.

Hitaasti hajoavat orgaaniset yhdisteet, kuten ligniini sekä useimmat muovit, ovat vaikeita mädätysprosessin raaka-aineita. Käytännössä siis ligniinirikas puu soveltuu nykytekniikalla huonosti biokaasuprosessin raaka-aineeksi, mutta ligniini- ja peltokasvit soveltuvat hyvin.

## Lähtöaineiden pilkkominen vedellä ja mädätys

Prosessin ensimmäinen vaihe on veden avulla tehtävä lähtöainei-

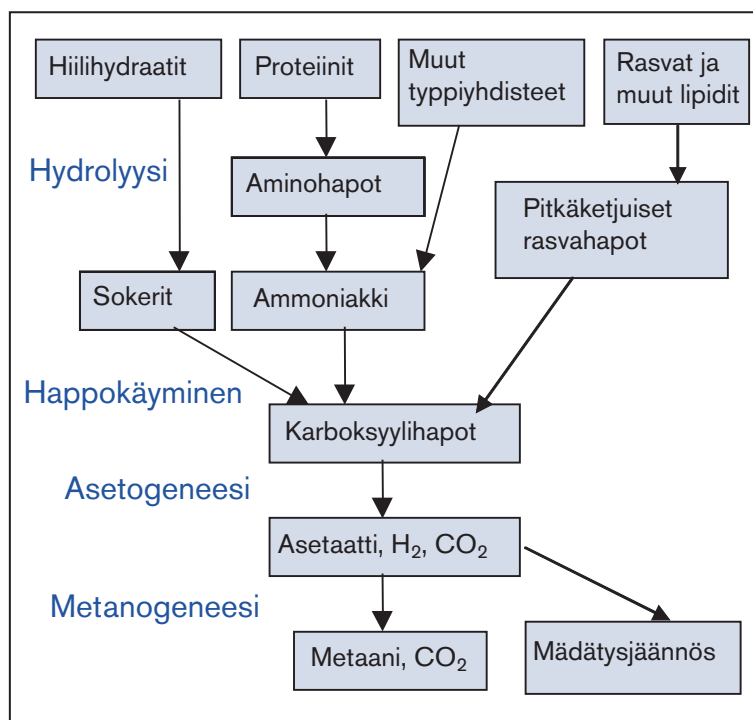
den pilkkominen eli hydrolyysi, jossa haponmuodostajabakteerit katalysoivat erityisesti pitkäketjuisimpien molekyylien hajoamista erittämiensä entsyymien avulla. Sen lopputuotteet ovat sokereita, aminohappoja ja rasvahappoja. Aminohapot hajoavat edelleen ammoniakiksi. Hydrolyysi edellyttää, että syöttömateriaalin vesipitoisuus on oltava yli 50 % ja useimmissa prosesseissa se on yli 90 %.

Yleensä vesi on valmiiksi mukana syöttömateriaalissa, esimerkiksi jäteveden puhdistamoilla ja eläinten lietelannassa. Kuivaprosesseissa, joita Suomessa ei vielä ole käytössä, voidaan hyödyntää vaikka pelkkiä olkia tai energiakasveja, mutta silloin vettä on lisättävä lähtöaineisiin. Vesi voidaan kierrättää, jolloin puhtaan veden kulutus jää vähäiseksi.

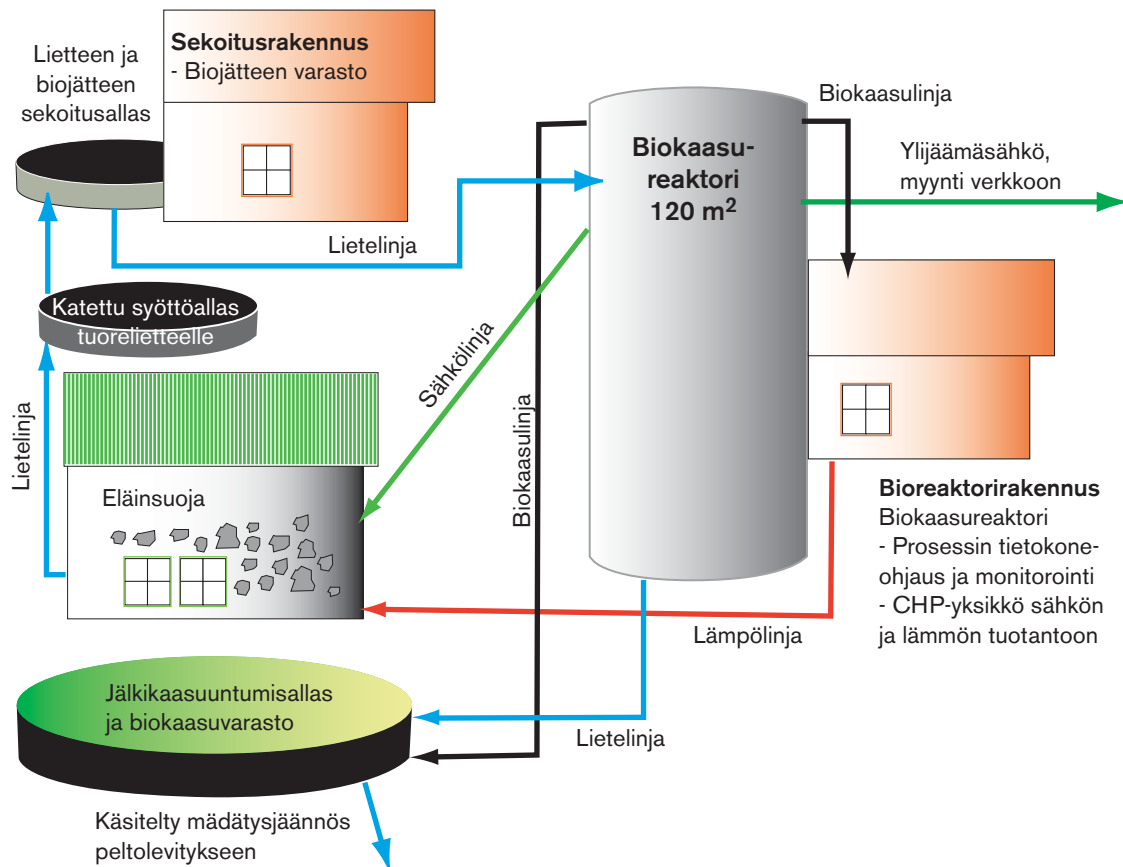
Prosessin toisessa vaiheessa hydrolyysituotteet hajoavat happokäymisen kautta lyhytketjuisiksi karboksyylihapoiksi kuten etikka-, propioni- ja voihapoiksi. Happokäymistä kutsutaan myös happofermentaatioksi ja mätänemiseksi. Kunkin hydrolyysituotteen hajoamista katalysoivat niihin erikoistuneet anaerobiset bakteerit.

Prosessin kolmannessa vaiheessa asetogeneesissä asetaattia tuottavat eli asetogeneettiset bakteerit hajottavat karboksyylihapot asetaatti-ioneiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi.

Prosessin viimeisessä vaiheessa metanogeneettiset bakteerit tuottavat metaania asetaatti-ioneista tai vedystä ja hiilidioksidista. Noin

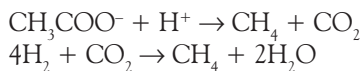


Anaerobisen hajoamisen yksinkertaistettu prosessikaavio (Rintala ym. 2002).



Kaavio maatilakohtaisesta biokaasulaitoksesta, joka tuottaa sähköä, lämpöä ja lannoitetta. Liikennepolttoainetuotanto edellyttää lisäksi puhdistimen ja kompressorin (Metener Oy).

70% metaanista muodostuu ase- taatti-ioneista ja 30% vedystä seuraavien reaktioyhtälöiden mukaisesti hiilidioksidi toisena lopputuotteena:



Mikäli hajotettavassa materiaalis- sa on mukana sulfaatteja, loppu- tuotteena muodostuu lisäksi rikki- vetyä sulfaatinpelkistäjäbakteerien toiminnan tuloksena.

Prosessia katalysoivat bakteerit voidaan jakaa kolmeen ryhmään kasvulle optimaalisen lämpötilan mukaan. Psykrofiilille bakteereille optimilämpötila on 0-15 °C, mesofiilille 30-45 °C ja termofiilille 50-60 °C. Biokaasureaktoreiden lämpötila pyritään pitämään

mahdollisimman vakiona optimi- lämpötilassa reaktorilämmittimen avulla.

Suomessa käytetään pääasiassa mesofiilistä aluetta. Termofiilisen alueen käyttö lienee tulevaisuudessa yleistä, sillä se nopeuttaa prosessia ja tarjoaa samalla korkeatasoisen hygienisoinnin.

Metaanintuoton sijaan prosessi voidaan optimoida vedyn tuotantoa varten. Se on eräs vaihtoehdoista uusiutuvan vedyn tuotantoon tulevaisuuden mahdollisessa vetytaloudessa. Kyseessä on vielä tutkimusasteella oleva teknologia, jota Suomessa tutkitaan Jyväskylän yliopistossa ja Tampereen tek- nillisessä yliopistossa.

## Lannoitteen tuottaminen

Kaasumaisen lopputuotteen lisäksi biokaasuprosessi tuottaa kiinteän mädätysjäännöksen, joka on erinomaista lannoitetta. Prosessi ja kaasun energiakäyttö eivät lainkaan kuluta alkuperäisen syöttö- materiaalin ravinteita, vaan päin- vastoin saattaa ne kasveille helpon saatavaan vesiliukoiseen muotoon kuten typpi ammonium-ioneina. Lisäksi patogeenisuus putoaa merkittävästi. Esimerkiksi Erkki Kalmarin maatilalla Laukaassa mesofiilisen prosessin mädätysjäännöksen patogeenisuus alittaa ihmisruoaksi tarkoitettulle jauhelihalle säädetyt raja-arvot. Hygienisointia voisi edelleen tehostaa termofiilisessä prosessissa.

→

Päästövähennemät biokaasupolttoaineella			
Päästöläaji	Bussi: dieselistä biokaasuun (otto)	Auto: dieselistä biokaasuun (otto)	Auto: bensiinistä biokaasuun (otto)
Kasvihuonekaasut (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> ja N <sub>2</sub> O)	>-96%	>-95%	>-96%
Pienhiukkaset PM 2,5	-94%	-99,9%	-66%
SO <sub>2</sub>	>-98%	>-99%	>-98%
NO <sub>x</sub>	-39%	-88%	-57%
NM VOC	-70%	-33%	-79%

Taulukko 1. Biokaasumetaania käyttävien bussien ja henkilöautojen päästövähennemät ajoneuvokilometriä kohti verrattuna vuonna 2005 voimaantulevan EURO4-normin mukaisiin diesel-busseihin sekä diesel- ja bensiiniautoihin kaupunkiliikenteessä (Lampinen 2003). Merkki ">" tarkoittaa, että vähenemä on suurempi kuin esitetty lukuarvo.

→

Biokaasuprosessilla saavutettava hygienisointitaso on ylivoimainen ilmastukseen ja kompostointiin verrattuna. Kompostointiprosessin haittoina biokaasuprosessiin verrattuna ovat huonon hygienisoinnin aiheuttamien hajuhaittojen ja lannoitekäyttörajoitusten lisäksi merkittävä ravinteiden menetys, energian kulutus sekä ilmastukseen että sekoitukseen ja jätteen energiasisällön hukkaaminen. Siten kompostointia voidaan pitää hyvin perusteltuna nopeasti hajoavan biojätteen käsittelyratkaisuna vain talokohtaisissa järjestelyissä.

## Energian tuottaminen ja käyttö

Biokaasuprosessi on energian nettotuottaja, sillä biokaasussa olevan metaanin energia on luokkaa 10-kertaisesti suurempi kuin prosessin lämmitykseen, sekoitukseen ja pumppaukseen tarvittava energia. Lisäksi energia saadaan erityisen arvokkaassa muodossa.

Metaanin yksihiielisyyden perussyytä siihen, että se palaa puhtaammin kuin mikään muu kemiallinen polttoaine vetyä lukuunottamatta. Terveydelle vaarallisimpia aromaattisia kaasuja ei muodostu lainkaan ja muitakin orgaanisia kaasuja sekä hiukkaspäästöjä hyvin vähän.

Nestemäisten polttoaineiden

palamisprosessiin verrattuna polttoaineen ja ilman sekoittuminen on metaaninpoltossa paljon parempi, joten muitakaan epätäydellisiä palamistuotteita kuten hiilimonoksidia ei tule yhtä paljon ja hyötysuhde on saatavissa korkeammaksi. Poltossa syntyy erittäin vähän rikkidioksidia, koska rikkivety on helppo puhdistaa biokaasusta ja niin tehdäänkin aina. Taulukossa 1. on listattu tärkeimpien päästöjen vähenemät liikennekäytössä biokaasuun siirryttäessä. Koska biokaasu on uusiutuva energi-

anlähde, sen polttamisesta aiheutuvaa hiilidioksidia ei lasketa mukaan kasvihuonekaasupäästöihin.

Metaanin tehollinen energiasisältö 50 MJ/kg on suurempi kuin minkään kemiallisen polttoaineen vetyä lukuun ottamatta. Kaasuna se kuitenkin vie tilavuutta paljon nestemäisiä ja kiinteitä polttoaineita enemmän. Yksi kuutio metaania vastaa energiasisällöltään 1,13 litraa bensiiniä.

Biokaasua voidaan hyödyntää sähkön ja mekaanisen työn tekemiseen kaikissa lämpövoimakoneityypeissä ja lisäksi polttokennoissa. Suuressa kokoluokassa kombivoimaloissa sillä voidaan nykyään saavuttaa 60%:n sähköntuotannon hyötysuhde ja tulevaisuudessa 70%. Se siis tarjoaa korkeamman hyötysuhteen kuin millään nestemäisellä tai kiinteällä polttoaineella voidaan millään teknologialla saavuttaa. Kaasuistakin ainoastaan vedyllä voidaan polttokennotekniikalla teoriassa ylittää 70%:n hyötysuhde. Suomessa keskimääräinen sähköntuotannon hyötysuhde kemiallisista polttoai-



Jönköpingsin kunnan Volvo V70 Bi-fuel on tankannut 12,18 kuutiometriä biokaasumetaania hintaan 6,80 kruunua normaalikuutiolta (Nm<sup>3</sup>, jossa p = 1 bar ja t = 0 °C) tammikuussa 2003. Se vastaa tasan 6 kruunua bensaliträn energiamäärää kohti.

Taulukko 2					
Metaanin lähde	Jätteen massa (t)	Metaanin tuotto (m <sup>3</sup> /t)	Energia (TWh)	Polttoaine autoille (kpl)	Polttoaine busseille (kpl)
Kaatopaikkakaasu			1,5	75 000	5 000
Yhdyskuntien biojäte (keittiöjäte)	360 000 (tuorepaino)	100	0,36	18 000	1 200
Yhdyskuntien jätevesi	160 000 (kiintoaine)	200	0,32	16 000	1 100
Eläinten lanta	21 500 000 (tuorepaino)	20	4,3	220 000	15 000
Maatalouden kasvijätteet	4 000 000 (tuorepaino)	170	6,8	340 000	23 000
Elintarviketeollisuuden jätteet	960 000 (tuorepaino)	50	0,48	24 000	1 600
Teollisuuden jätevesi	22 300 (kiintoaine)	200	0,04	2000	130
<b>YHTEENSÄ</b>			<b>14</b>	<b>700 000</b>	<b>47 000</b>

Taulukko 2. Jäteperäisen biokaasumetaanin vuosituotantopotentiaali Suomessa (Lampinen 2003).

neista on alle 30 %, mutta suuri osa voimaloista tuottaa lisäksi lämpöä eli ne ovat CHP-laitoksia (CHP = combined heat and power). Pienemmän kokoluokan sovelluksia ovat esimerkiksi maatilat. Reaktorin lämmitykseen kuluu luokkaa 10 % tuotetusta lämmöstä, mutta sähköntuotantoa reaktorin lämmitystarve ei vähennä.

Kun biokaasua käytetään säh-

kön ja lämmön yhteistuotantoon, hiilidioksidia ei tarvitse poistaa, mutta rikkivety pitää poistaa. Se voidaan tehdä reaktorin yläosassa käyttäen hyväksi alkuaainerikkiä tuottavia bakteereita. Vaihtoehtoisesti se voidaan poistaa vesipesussa.

Liikennekäytössä myös hiilidioksidi pitää pääosin poistaa. Se voidaan tehdä vesipesulla, joka sa-



Linköpingin kaupungin Mercedes- ja Volvo-kaasubusseja tankkaamassa varikolla. Kaikki paikallisbussiliikenne Linköpingissä käyttää yhdyskuntajätteestä tuotettua biokaasua.

malla poistaa rikkivedyn. Tai se voidaan pestä muulla liuoksella, adsorboida aktiivihieleen tai suodattaa kalvoilla. Lisäksi tuotettu kaasu, jossa metaanipitoisuus on n. 90-98 %, kompressoidaan ajoneuvoihin 200 ilmakehän paineeseen.

## Biokaasu liikennekäyttöön

Liikennekäyttö on sähköntuotantoa tärkeämpää ilmastopoliittisista syistä, sillä liikenne on ainut sektori, joka enää EU:ssa kasvattaa kasvihuonekaasupäästöjä. Fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla on vaikeinta liikennesektorilla, joten olemassa olevia mahdollisuuksia ei ole varaa tuhata. Huoltovarmuuskohdista liikennepolttoaineet ovat energia-alan suurin ongelma, sillä omavaraisuus Suomessa on nolla ja EU:ssakin hyvin alhainen.

Pelkän lämmön tuotanto on termodynamiikan toisen pääsääntö mukaisesti fundamentaalisesti tuhlavaa. Se ei ole järkevä biokaasunkaan käyttötapa, koska polttoaineen exergiasisältö eli työntekopotentiaali menetetään kokonaan.

Mikäli biokaasua ei kuluteta tuotantopaikassa, se voidaan kuljettaa rekkojen avulla kuten muitakin polttoaineita. Esimerkiksi Tukholmassa jätevedenpuhdistamossa tuotettu liikennebiokaasu kuljetetaan huoltoasemille rekoilla. Lisävaihtoehtona on putkikuljetus, joka ei ole mahdollinen kiinteille ja nestemäisille polttoaineille. Esimerkiksi Malmössä liikennebiokaasua siirretään maakaasuverkossa, Göteborgissa raakaa biokaasua kaupunkikaasuverkossa ja Kristianstadissa on rakennettu liikennebiokaasulle oma verkko.

## Energiaresurssi

Pahanhajuisuus on tunnusmer-

killistä biokaasuprosessiin parhaiten soveltuville syöttömateriaaleille. Siis vessajätteet, keittiöjätteet ja monet teollisuuden jätteet ovat erinomaisia biokaasuresursseja. Niille ei löydy muuta materiaalihyödyntämiskäyttöä lannoitteen lisäksi. Koska biokaasuprosessi säilyttää ja jopa parantaa jätteen lannoitearvoa tuotetun energian lisäksi, energia- ja materiaalihyödyntäminen eivät kilpaile vaan tukevat toisiaan.

Biokaasun energiaresurssit Suomessa ovat huomattavat. Taulukossa 2. (s. 7) on listattu Suomen nopeasti hajoavan biojätteen tuotantomäärät sekä metaanintuotantopotentiaali, mikäli kaikki voitaisiin hyödyntää optimaalisesti. Sen

perusteella on laskettu kuinka monen henkilöauton tai bussin polttoaineeksi kaasu riittäisi.

Oletuksena henkilöautoille 20 000 km kaupunkiajoa vuodessa kulutuksella 1 kWh/km eli 10 l/100 km. Busseille on oletettu 100 000 km vuodessa 3 kWh/km. Tämä on tekninen yläraja kyseisten jätteiden hyödyntämiselle, eikä se ole käytännössä saavutettavissa.

Mutta taulukon ilmaiset ajoneuvomäärät voidaan saavuttaa tuottamalla biokaasua lisäksi energiakasveista ja puusta, joiden molempien tekninen potentiaali on huomattavasti nopeasti hajoavaa biojätettä suurempi.

Biokaasuteknikka tarjoaa siis merkittävän potentiaalin syrjäyttää kaikkein vaikeimmin korvattavissa olevia fossiilisia energiamuotoja: bensiiniä ja dieseliä. Se tarjoaa maatalolle ja elintarviketeollisuudelle mahdollisuuden energiaomavaraisuuteen ja myös myyntituloihin sekä sähkön, lämmön että liikenne- ja työkonepolttoaineiden osalta.

Lähteet:

Rintala, J, Lampinen, A, Luostarinen, S. ja Lehtomäki, A.: Biokaasusta uusiutuvaa energiaa maataloilla. Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Jyväskylän yliopisto, 2002 <[www.jyu.fi/~ala/biokaasukirjanen.pdf](http://www.jyu.fi/~ala/biokaasukirjanen.pdf)>.

Lampinen, A.: Jätteiden liikennekäyttöpotentiaali Suomessa. Kuntateknikka 1/2003.

Metener Oy: [www.metener.fi](http://www.metener.fi)

## Autoilua ilman huonoa omaatuntoa

# Millainen on biokaasuauto

Metaanin käyttö liikennepolttoaineena on kypsää ja laajasti levinyttä teknologiaa. Metaaniajoneu-

voja löytyy maailmasta 3,3 miljoonaa. Niistä suurin osa käyttää maakaasumetaania, mutta biokaa-

sumetaan käyttö lisääntyy.

Ruotsissa on yli 4000 pääasiassa biokaasua käyttävää metaaniajoneuvoa. Julkisia tankkausasemia on yli 30 ja biokaasun hinta bensalitraekvivalentteina vaihtelee välillä 0,6-0,9 euroa. Lisäksi bussiyhtiöillä ja jäteyhtiöillä on yksityisiä tankkausasemia.

Nykyään on kaupallisessa käytössä neljä erityyppistä metaanimoottoria. Niistä yleisin on pelkästään metaanille tarkoitettu otto-moottori eli bensiinimoottori, jonka puristusuhdetta on nostettu noin 15:een eli 50% bensiinijoneuvoja korkeammalle. Se on mahdollista, koska metaanin oktaaniluku on 120 eli se on bensiiniä selvästi laadukkaampaa otto-moottorien polttoainetta. Helsingissä on käytössä 77 tällaisella moottorilla varustettua maakaasubussia. Bussimalleja löytyy EU:n



Bi-fuel -autossa on kaksi tankkausaukkoa. Toiseen tankataan kaasu ja toiseen bensiiniä varapolttoaineeksi. Biokaasuauton yhdellä tankkauksella ajaa noin 300 kilometriä ja saman verran bensiiniä.



*Laukaalaisen maanviljelijän Erkki Kalmarin Volvo V70 Bi-fuel ja Tukholman vesilaitoksen Volkswagen Transporter (taustalla) biokaasua tankkaamassa Tukholman keskustan huoltoasemalla.*

markkinoilta yli 50 kahdeksalta valmistajalta ja rekkamalleja lähes 30 kuudelta valmistajalta.

### Usein kaksi polttoainetta

Henkilöautokäyttöä varten sarjavalmistetaan nykyään lähes pelkääntään kaksipolttoainejärjestelmällä varustettuja bi-fuel -autoja. Niissä on tavanomaisen puristussuhteen ottobensiinimoottori, jota voidaan käyttää myös metaanilla. BMW toi ne ensimmäisenä sarjavalmistuk-

seen vuonna 1995 (mallit 316g ja 518g) ja Volvo aloitti seuraavana vuonna. Nykyään Saksan ja Ruotsin markkinoilta löytyy 20 sarjavalvisteista bi-fuel -henkilöautoa esimerkkinä Suomen ainut biokaasuauto Erkki Kalmarin Volvo V70 Bi-fuel. Näissä autoissa on 2 erillistä polttoainetankkia ja 2 erillistä polttoaineensyöttöä. Metaani varastoidaan 200 ilmakehän paineessa.

Polttoaineen vaihto tapahtuu napia painamalla kesken ajonkin sekunnin murto-osassa, sillä sytytyksen säätö sekä venttiilien sulkemiset ja avaamiset ovat ainoat tarvittavat toimenpiteet. Ajettavuuteen polttoaineet eivät tuo eroa, mutta päästöissä on dramaattiset erot. Sarjavalvisteisten lisäksi EU:n markkinoilta löytyy yli 300 jälkiasennetulla metaanikäytöllä varustettua vuoden 2003 henkilöautomallia.

### Metaania dieselmootoreissa

Kaksi muuta moottorityyppiä puuttuu toistaiseksi EU:sta, mutta ne löytyvät USA:n raskaiden ajoneuvojen markkinoilta. Dual-fuel -dieselissä käytetään dieselmoot-

toria, jossa kuitenkin ilman sijaan puristetaan metaania ja sytytys tehdään nestemäisellä polttoaineella.

Tavalliseen dieseliin verrattuna nestepolttoaineen tarve vähenee 90%. Pääosa energiasta saadaan kaasusta. Etuna ottomoottoreihin on korkeampi hyötysuhde, mutta haittapuolena on se, että metaania ei voida käyttää ainoana polttoaineena.

Neljäs käytössä oleva moottorityyppi on metaanille optimoitu mikroturbiini eli pieni kaasuturbini.

Polttokennot ja wankel ovat moottorityyppiä, jotka myöskin sopivat metaanille ja niitä voidaan odottaa tulevaisuudessa käytettävän. Osa polttokennotyypeistä voi hyödyntää metaania suoraan, ja muut voivat hyödyntää reformerin avulla metaanista erotettavaa vetyä. Reformointi voidaan tehdä ajoneuvossa, jolloin metaani siis toimisi vedyn varastona.

### Laajenevat markkinat

Biokaasun liikennekäytölle on tulossa laajat markkinat, koska EU edellyttää vuonna 2003 hyväksytyssä liikenteen biopolttoainedirektiivissä jokaisen jäsenmaan kattavan 5,75% liikenteen energiankulutuksesta biokaasulla ja muilla biopolttoaineilla vuonna 2010 ja 2% jo vuonna 2005.

Suomen 1.1.2004 voimaan tullessa uusitussa autoveropakettissa biokaasun liikennekäytön veroesteet poistui. Eräissä kunnissa, kuten Jyväskylässä, on meneillään selvitystyö julkisten jäteperäisten liikennebiokaasun tankkausasemien toteuttamisesta. Sen jälkeen tätä teknologiaa voidaan ryhtyä käyttämään ja autoilu ilman huonoa omaatuntoa on vihdoinkin Suomessakin vaativimmillekin mahdollista.

### Lisätietoja

Lampinen A: Biokaasun käyttö liikenteessä Ruotsissa. Koneviesti 17/2003.

Erkki Kalmarin biokaasuautosivut: [www.biokaasuauto.com](http://www.biokaasuauto.com)

European Natural Gas Vehicle Association: [www.engva.org](http://www.engva.org)

International Association for Natural Gas vehicles: [www.iangv.org](http://www.iangv.org)

Ruotsin liikennemetaanitankkaus: [www.fordongas.se](http://www.fordongas.se)

Tukholman kaupungin ekoautosivut: [www.miljobilar.stockholm.se](http://www.miljobilar.stockholm.se)

Göteborgin kaupungin ekoautosivut: [www.miljofordon.org](http://www.miljofordon.org)

Ruotsin ekoautoiluliitto: [www.gronabilister.se](http://www.gronabilister.se)