



Tuula Mäkinen, Kai Sipilä & Nils-Olof Nylund

Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa

| Taustaselvitys

Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa

Taustaselvitys

Tuula Mäkinen, Kai Sipilä & Nils-Olof Nylund
VTT Prosessit



ISBN 951-38-6540-1 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6541-X (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2005

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

VTT Prosessit, Biologinkuja 3-5, PL 1601, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7048

VTT Processer, Biologgränden 3-5, PB 1601, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7048

VTT Processes, Biologinkuja 3-5, P.O.Box 1601, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7048

Toimitus Leena Ukoski

Valopaino Oy, Helsinki 2005

Mäkinen, Tuula, Sipilä, Kai & Nylund, Nils-Olof. Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa. Taustaselvitys [Possibilities to produce and use biofuels in transportation in Finland. Background study]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2288. 96 s.

Avainsanat transportation fuels, biofuels, manufacturing technology, utilization, bioalcohols, biodiesel, biogas, thermal gasification, Fischer–Tropsch, production costs

Tiivistelmä

EU:ssa eräs keskeinen energia- ja ympäristöpolitiikan tavoite on uusiutuvien energialähteiden käytön edistäminen erityisesti hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ja huoltovarmuuden parantamiseksi. Tärkein uusiutuva energiavara on biomassa, jota voidaan käyttää niin sähkön ja lämmön tuotannossa kuin liikenteen polttoaineena. Tässä julkaisussa, joka on valtiovarain- ja kauppaa- ja teollisuusministeriöiden tilaaman taustaselvityksen ”Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto ja käyttö Suomessa” loppuraportti, keskitytään biomassan hyödyntämiseen liikenteen polttoaineena. Selvityksen tavoitteena oli antaa taustatietoa viranomaisille kansallisen ilmastostrategian päivittämiseen sekä liikenteen biopolttoaineita koskevan direktiivin soveltamiseen Suomessa.

Useimpia biopolttoaineita – alkoholeja, biodieseliä ja biokaasua – voidaan käyttää joko polttoainekomponenttina tai polttoaineena sellaisenaan. Laajimmillaan polttoainelaatujen tulisi soveltua koko ajoneuvokalustoon. Biopolttoaineiden tulee täyttää nykyiset ja tulevat EU:n liikennepolttoaineiden normit ja direktiivit, mistä seuraa selkeitä rajoitteita niiden käytölle.

Nykyiset biopolttoainevaihtoehdot eivät ole liiketaloudellisesti kannattavia ilman viranomaisten tukitoimenpiteitä, etenkin verotukea. EU:n biopolttoainedirektiivi edellyttää biopolttoaineille vapaaehtoisena tavoitteena vuonna 2010 5,75 %:n osuutta (energiana) tieliikennekäyttöön myydyistä polttoaineista, joka vastaa EU:ssa noin 17–18 Mtoe/a:n määrää. Nykyisin Euroopassa tuotetaan etanolia ja biodieseliä yhteensä noin 1,5 Mtoe/a. Nykyisiä kaupallisia peltopohjaisia tuotteita edullisemmin voisi valmistaa puu- ja jättepohjaisista biomassavaroista joko nestemäisiä biopolttoaineita tai biokaasuja. Uusia tuotantotekniikoita kehitetään useissa maissa, ja ensimmäiset koetehtaat ja demonstrointihankkeet käynnistyvät lähivuosina. Julkaisussa esitetään vaihtoehtoja Suomen kehityspoluiksi. Biopolttoaineiden käyttömahdollisuudet on arvioitu suuremmaksi kuin tuotantomahdollisuudet kotimaisiin raaka-aineisiin perustuen. Liikenteen biopolttoaineiden maksimiosuus voisi Suomessa olla kotimaisista raaka-aineista tuotettuna vuonna 2010 3 % ja maakaasun 0,5 % tieliikenteen polttoaineiden kokonaiskulutuksesta eri tuotantoskenaarioissa.

Mäkinen, Tuula, Sipilä, Kai & Nylund, Nils-Olof. Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa. Taustaselvitys [Possibilities to produce and use biofuels in transportation in Finland. Background study]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2288. 96 p.

Keywords transportation fuels, biofuels, manufacturing technology, utilization, bioalcohols, biodiesel, biogas, thermal gasification, Fischer–Tropsch, production costs

Abstract

One of the key goals of the EU's energy and environment policy is to promote the utilisation of renewable energy sources in order to reduce greenhouse gas emissions and to improve the security of fuel supply. The main renewable energy source is biomass, which can be utilised in heat and power production and as transportation fuel. Biomass utilisation as transportation fuel is the main topic of this publication. The aim of the study was to produce background information on biomass-based transportation fuels for the Finnish authorities to update the national climate strategy and define the national policy in implementing the new EU Biofuel Directive on the promotion of the use of biofuels for transportation.

Most biofuels – like bioalcohols, biodiesel and biogas – can be used as fuel additives or as fuels as such. At the broadest, fuel grades should apply to the whole vehicle base. Biofuels will have to fulfil current and future directives and standards, which presents clear constraints on their utilisation.

The current biofuel options are not economically feasible without supporting measures from the authorities, like tax relief. The Biofuel Directive presents an indicative target share of 5.75% in 2010 for the exploitation of biomass-based road transportation fuels in the EU, which corresponds to a biofuel utilisation of about 17–18 Mtoe/a. In 2003, about 1.5 million oil equivalent tons of bioethanol and biodiesel was produced in the EU. Wood- and waste-derived liquid or gaseous transportation fuels could be produced more cost-effectively than the current commercial ones. New production technologies are under development in several countries, and the first demo plants will start up in the near future. In the publication, technological development options are presented for Finland. The potential to utilise biomass-based fuels in the Finnish transportation sector were evaluated to be larger than the potential to produce them from indigenous raw materials. In Finland, the maximum share of biomass-based fuels produced from indigenous raw materials could be 3% of total fuel consumption in road transportation in 2010 and the share of natural gas could be 0.5% in different production scenarios.

Alkusanat

EU:ssa eräs keskeinen energia- ja ympäristöpolitiikan tavoite on uusiutuvien energialähteiden käytön edistäminen erityisesti hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ja huoltovarmuuden parantamiseksi. Tärkein uusiutuva energiavara on biomassassa, jota voidaan käyttää niin sähkön ja lämmön tuotannossa kuin liikenteen polttoaineena. Tässä julkaisussa, joka on valtiovarain- ja kauppaja- ja teollisuusministeriöiden tilaaman taustaselvityksen ”Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto ja käyttö Suomessa” loppuraportti, keskitytään biomassan hyödyntämiseen liikenteen polttoaineena. Selvityksen tavoitteena oli antaa liikenteen biopolttoaineista taustatietoa viranomaisille kansallisen ilmastostrategian päivittämiseen sekä liikenteen biopolttoaineita koskevan direktiivin soveltamiseen Suomessa.

Taustaselvitys tehtiin VTT:ssä 1.7.2004–15.11.2004 välisenä aikana. Työryhmän pääjäsenet olivat tutkimusprofessori Kai Sipilä, johtava tutkija Nils-Olof Nylund ja erikoistutkija Tuula Mäkinen, kaikki VTT Prosessit -yksiköstä. Lisäksi selvityksen tekoon osallistuivat ja taustamateriaalia toimittivat erikoistutkija Päivi Aakko, kehityspäällikkö Esa Kurkela, erikoistutkija Juhani Laurikko, johtava tutkija Paterson McKeough ja erikoistutkija Yrjö Solantausta, myös VTT Prosesseista. Ministeriöiden yhteyshenkilöt olivat neuvotteleva virkamies Leo Parkkonen ja neuvotteleva virkamies Merja Sandell valtiovarainministeriöstä sekä ylitarkastaja Nina Broadstreet ja ylitarkastaja Jukka Saarinen kauppaja- ja teollisuusministeriöstä.

Espoo joulukuu 2004

Tekijät

Laajennettu tiivistelmä

SELVITYKSEN LÄHTÖKOHTA JA TAVOITTEET

EU:ssa eräs keskeinen energia- ja ympäristöpolitiikan tavoite on uusiutuvien energialähteiden käytön edistäminen erityisesti hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ja huoltovarmuuden parantamiseksi. Tärkein uusiutuva energiavara on biomassa, jota voidaan käyttää niin sähkön ja lämmön tuotannossa kuin liikenteen polttoaineena. Tässä julkaisussa, joka on valtiovarain- ja kauppaja teollisuusministeriöiden tilaaman taustaselvityksen ”Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto ja käyttö Suomessa” loppuraportti, keskitytään biomassan hyödyntämiseen liikenteen polttoaineena. Selvityksen tavoitteena oli antaa liikenteen biopolttoaineista taustatietoa viranomaisille kansallisen ilmastostrategian päivittämiseen sekä liikenteen biopolttoaineita koskevan direktiivin soveltamiseen Suomessa.

EU:n komission uusiutuvia energialähteitä koskevassa valkoisessa kirjassa vuodelta 1997 on asetettu tavoitteeksi uusiutuvien energialähteiden käytön kaksinkertaistaminen 12 %:iin primäärienergiälähteiden kulutuksesta vuoden 1995 tasosta 6 % vuoteen 2010 mennessä. Valkoisen kirjan liitteessä esitetyn, eri uusiutuville energialähteille vuoteen 2010 laaditun skenaarion mukaisesti bioenergian käyttö kolminkertaistuisi, jolloin lisäbioenergian määrä olisi 90 Mtoe. Pelto-, metsä- ja yhdyskuntajätepohjainen biomassa ovat lähes yhtä suuria lähteitä tavoitellulle lisäkäytölle.

EU:ssa uusiutuvien energialähteiden hyödyntämiselle asetettuja tavoitteita ollaan toteuttamassa direktiivein, esim. direktiivit sähkön tuotannon edistämisestä uusiutuvista energialähteistä (RES-E) ja liikenteen biopolttoaineiden käytön edistämisestä. RES-E- ja liikenteen biopolttoainedirektiiveissä esitetyt tavoitteet ovat ohjeellisia. Liikenteen biopolttoaineiden hyödyntämiselle on esitetty ohjeelliset tavoiteosuudet: 2 % vuonna 2005 ja 5,75 % vuonna 2010 energiana tieliikenteen polttoaineiden kulutuksesta. EU:n tavoitteet bioenergian hyödyntämisen lisäämiselle ovat kunnianhimoisia, ja biomassan saatavuus ja hinta saattavat olla tulevaisuudessa lisäkäyttöä rajoittavia tekijöitä useammassakin maassa.

LIIKENTEEN BIOPOLTTOAINEIDEN TUOTANNON NYKYTILANNE

Nykyisin valmistetaan kaupallisesti liikenteen polttoaineiksi viljelykasvipohjaista etanolia ja biodieseliä lähinnä Brasiliassa, Yhdysvalloissa ja joissakin EU-maissa. Brasiliassa, Yhdysvalloissa ja Ruotsissa pääasiallisesti käytettävä biopolttoaine on etanoli ja sen seokset fossiilisten polttoaineiden kanssa. Ranskassa ja Espanjassa etanoli käytetään bensiinin lisäainekomponenttina, ETBE:nä. Biodieseliä käytetään lähinnä Saksassa, Ranskassa ja Italiassa. Italiassa biodieseliä käytetään kuitenkin verotussyistä pääasiassa lämmityssektorilla. Joissakin maissa, esim. Ruotsissa, on tällä hetkellä tutkimus- ja demonstroitintoimintaa biokaasun käytöstä maakaasukäyttöisissä ajoneuvoissa. Nykyiset

biopolttoaineiden käyttövaihtoehdot eivät ole taloudellisesti mahdollisia ilman viranomaisten tukitoimenpiteitä, kuten lähes täysimääräistä verotukea. Muiden biopolttonestojen tuotantoprosessit eivät ole vielä kaupallisia. Päämielenkiinto on ollut eri syistä peltopohjaisissa tuotteissa, eikä puupohjaisten tuotteiden kehittämistä ole laajalti edistetty. Uusi, vuonna 2003 hyväksytty EU:n liikenteen biopolttoainedirektiivi on kuitenkin lisännyt voimakkaasti tutkimus- ja kehityspanostusta.

Vuonna 2003 etanolin ja biodieselin tuotanto EU:ssa oli yhteensä noin 1,5 miljoonaa öljykvivalenttitonnia (EU15). Biodieselin tuotanto on kasvanut voimakkaasti viime vuosina. Tuotanto oli vuonna 2003 EU25-alueella yhteensä noin 1,5 miljoonaa tonnia (1,35 Mtoe/a). Saksa on suurin tuottajamaa. Polttoaine-etanolin tuotanto oli EU:ssa (EU25) vuonna 2003 yhteensä noin 450 000 tonnia (290 000 toe/a). Tuotantoa on EU:ssa viidessä maassa: Espanjassa, Puolassa, Ranskassa, Ruotsissa ja Tšekissä. Espanja on suurin tuottajamaa. EU:n liikenteen biopolttoainedirektiivissä vuodelle 2010 esitetty 5,75 %:n vapaaehtoinen tavoiteosuus tieliikenteen polttoaineista (energiana) merkitsisi EU:ssa arviolta 17–18 Mtoe:n/a käyttömäärää.

Suomessa eräät öljy-yhtiöt ovat kokeiluluonteisesti lisänneet etanolia bensiiniin enintään viisi tilavuusprosenttia. Etanolin osuudelle on annettu määräaikainen 30 c:n/l polttoaineverohuojennus, joka päättyi 31.12.2004. Etanoli on hankittu Euroopan ja Brasilian markkinoilta. Lisäksi Suomessa on pienessä mittakaavassa kokeiltu biodieselin ja biokaasun valmistusta ja käyttöä liikenteen polttoaineena (muutamia autoja).

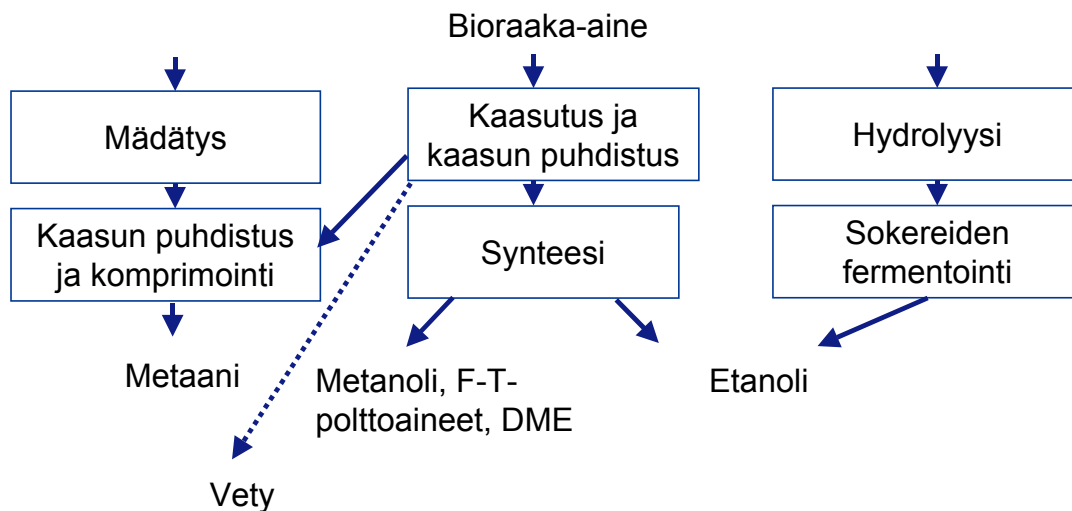
Kansalliset tukiratkaisut vaihtelevat EU:ssa, mikä on myös johtanut erilaisiin käyttöratkaisuihin. Erot johtuvat erilaisista poliittisista ja markkinalähtöisistä syistä. Tärkeimpänä ajavana voimana on ollut maatalouden tukeminen; lisäksi tukiratkaisujen takana on ollut ympäristönäkökohtia (esim. tieliikenteen häkä- ja hiilidioksidipäästöjen alentaminen) sekä paikallisen taloudellisen tilanteen parantaminen työpaikkojen lisääntymisen myötä.

LIIKENTEEN BIOPOLTTOAINEIDEN TUOTANTOTEKNIKOIDEN KEHITYSNÄKYMÄT

Bioraaka-aineista valmistetaan kaupallisesti kasviöljypohjaista biodieseliä, etanolia sekä biokaasuja. Kehitys- ja tutkimusvaiheessa ovat metanolin ja synteettisten polttoaineiden kuten Fischer–Tropsch-polttoaineiden valmistus biomassasta sekä etanolin valmistus lignoselluloosapohjaisesta biomassasta (olki, puu). Lisäksi on ollut esillä muita vaihtoehtoja, kuten mäntyöljypohjaiset tuotteet (mäntyöljyn esterit) ja biokomponentit, jotka jalostettaisiin pyrolyysitekniikalla tuotetusta bioöljystä. Kuvassa A esitetään liikenteen biopolttoaineiden uusien tuotantotekniikoiden perusvaihtoehdot. Alkoholit (metanoli ja etanoli) voidaan jalostaa edelleen eettereiksi (esim. MTBE ja ETBE), joita käytetään yleisesti polttoaineiden lisäaineina ns. oksygenaatteina. Eettereiden tuotanto on kaupallista tekniikkaa.

Etanolin valmistus sokeri- ja tärkkelyspitoisista raaka-aineista on kaupallista tekniikkaa. Puusta on mahdollista valmistaa etanolia vapauttamalla ensin selluloosan ja hemiselluloosan sokerit kemiallisesti tai bioteknisesti hydrolyysin avulla. Puun rakenteen vuoksi hydrolyysi on kuitenkin hankalampaa kuin tärkkelyspitoisen raaka-aineen. Lisäksi laboratorioasteella on kehitteillä synteetikaasun fermentointiin perustuvia prosesseja mm. Yhdysvalloissa ja Suomessa. Etanolin valmistusta puusta tutkitaan lähinnä Yhdysvalloissa, Ruotsissa ja Kanadassa. Useitakin demonstrointihankkeita on suunnitteilla, mutta mitään vaihtoehtoisista tekniikoista ei ole vielä kokonaisuudessaan demonstroitu laboratorion ulkopuolella puupohjaisille polttoaineille. Laimeahappohydrolyysiin perustuva prosessi on lähimpänä teollisen mittakaavan toteutusta. Ruotsissa on keväällä 2004 käynnistynyt koetehdas, jossa tuotetaan 400–500 litraa etanolia vuorokaudessa puuraaka-aineista.

Kaupalliset: biodiesel (RME) ja viljaetanoli



Kuva A. Kehitteillä olevat tekniikat liikenteen biopolttoaineiden tuottamiseksi.

Biomassasta on mahdollista valmistaa liikenteen biopolttoaineita myös ns. synteetikaasureitin kautta. Tässä prosessissa biomassasta valmistettaisiin ensin termisesti kaasuttamalla synteetikaasua ja edelleen synteetikaasusta polttonesteitä, esimerkiksi metanolia tai ns. Fischer–Tropsch-polttoaineita. Kaasutuksen tuotekaasu täytyy puhdistaa epäpuhtauksista eri kaasunpuhdistusmenetelmillä ja edelleen konvertoida synteetikaasun vaatimusten mukaiseksi synteetikaasuksi. Synteetikaasua voidaan valmistaa erilaisista biomassoista.

Vastaava prosessi demonstroitettiin 1980-luvulla Oulussa Kemira Oyj:n laitoksella, jossa tuotettiin turpeesta ammoniakkaa. Laitoksen kapasiteetti oli 80 000 tonnia NH_3/a . Etelä-Afrikassa sijaitsevilla Sasolin laitoksilla valmistetaan kaupallisesti kivihiilestä polttonesteitä kaasutuksen kautta Fischer–Tropsch-tekniikalla. Maakaasusta tuotetaan synteettisiä polttoaineita kaupallisesti Shellin laitoksella Malesiassa. Biomassan käyttöönotto synteetikaasu-

pohjaisten prosessien raaka-aineena vaatii kuitenkin vielä kehitystyötä. Tutkimus- ja kehitystyöllä haetaan korkeahyötysuhteisia ja kustannustehokkaita prosessiratkaisuja.

EU:n rahoituksella käynnistyi vuoden 2004 alussa Volkswagen Ag:n vetämä 20 M€:n kehityshanke, jossa kehitetään erityisesti synteesikaasupohjaisia liikenteen biopolttoneiden tuotantoprosesseja. Fischer–Tropsch-dieselin tuotantokustannuksien tavoitearvona on Keski-Euroopassa paikallisesta raaka-aineesta 0,70 €/ekvivalenttinen öljylitra. Suomessa panostetaan synteesikaasun valmistusprosessin kehittämiseen VTT:n vetämässä Ultra clean gas -hankkeessa.

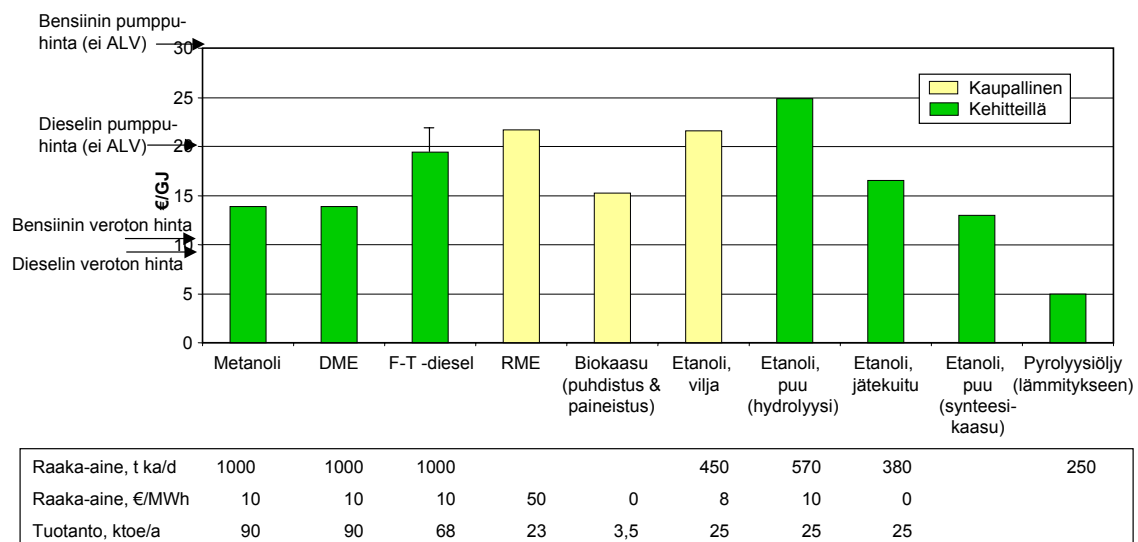
Orgaanisesta materiaalista, esim. jätevesilietteistä tai biojätteistä, voidaan anaerobikäsitelyssä tuottaa ns. biokaasua, joka koostuu lähinnä metaanista ja hiilidioksidista. Kaatopaikoilla muodostuu vastaavaa kaasua, ns. kaatopaikkakaasua. Biokaasuja voidaan hyödyntää liikenteen polttoaineena puhdistuksen ja paineistuksen jälkeen. Tulevaisuudessa kehitystyön onnistuessa myös termisesti kaasuttamalla voitaisiin valmistaa kaasumaista polttoainetta kaasuajoneuvojen polttoaineeksi. Termisellä kaasutuksella tuotetaan vetyä ja hiilimonoksidia sisältävää polttokaasua, joka voidaan tarvittaessa edelleen prosessoida metaaniksi (samankaltainen prosessi kuin nestemäisten polttoaineiden valmistus kaasutuksen kautta). Terminen kaasutus mahdollistaa siis sekä neste- että kaasumaisten biopolttoaineiden tuotannon ajoneuvokäyttöön.

Biopolttonesteestä ja tuotantotekniikasta riippuen biopolttonesteiden tuotantokustannukset ovat 1,5–5-kertaisia verrattuna nykyisten fossiilisten polttoaineiden verottomiin hintoihin. Syksyn 2004 korkea öljynhinta on (hetkellisesti) kaventanut tätä eroa. Nykyiset kaupalliset biopolttonesteet, peltokasvipohjaiset biodiesel ja etanoli, on saatu monissa maissa kuluttajille kilpailukykyisiksi verohelpotuksin tai tukemalla tuotantolaitoksia (Yhdysvallat, Brasilia).

Biopolttonesteiden tuotantokustannuksia pyritään alentamaan tutkimus- ja kehitystyöllä niin EU:ssa kuin Yhdysvalloissa. Tuotantokustannusten alentamiseen pyritään mm. etsimällä toimintamalleja, joissa biopolttonesteiden tuotanto yhdistettäisiin teollisuus- tai voimalaitokseen sekä hyödynnettäisiin halvempia puu- tai jäteperäisiä raaka-aineita. Tavoitteena on kehittää tuotantoteknologioita, jotka mahdollistaisivat liikenteen biopolttoaineiden käyttöönoton mahdollisimman alhaisin ja alenevin tukitasoin. Tutkimus- ja kehitystyössä tulisi Suomessa panostaa niiden teknologioiden kehitykseen, joissa tukitarve olisi, mikäli mahdollista, alle nykyisen liikenteen polttoaineverotuksen, joka on dieselpolttoaineella 32 snt/l ja bensiinillä 59 snt/l. Koska suomalaiset yritykset valmistavat maailmanmarkkinoille kilpailukykyisiä metsäteollisuuden laitteita, puun korjuukoneita ja voimalaitoksia, on perusteltua uskoa, että myös biopolttoaineiden tuotantoprosessien laitteita voitaisiin valmistaa meillä sekä koti- että ulkomaan markkinoita varten. Esimerkiksi viime vuosikymmenellä Suomesta toimitettiin viljaetanolin tuotantolaitoksia maailman markkinoille.

Suomessa on tehty varsin vähän liikenteen biopolttonesteiden tuotantokustannusarvioita verrattuna Yhdysvaltojen ja Euroopan suurissa kehitys- ja tutkimushankkeissa tehtyihin kattaviin selvityksiin. Seuraavaksi esitetyt arviot ovatkin vain ohjeellisia arvioita uuden tekniikan mahdollisuuksista. Kun alan tutkimus- ja kehitystyö voimistuu, saadaan myös tarkempia kustannusarvioita.

Osana VTT:n vetämää ns. Biofuture-hanketta on vertailtu alustavasti eri biopolttoaineiden tuotantokustannuksia pohjoismaisissa olosuhteissa (kuva B). Tuotantokapasiteettina on käytetty raaka-ainehuollon kannalta tyypillisiä laitoskokoja. Tämän vertailun perusteella biopohjaisista dieseltuotteista rypsipohjaisen biodieselin (RME:n) tuotantokustannukset olisivat korkeimmat. Uusilla tekniikoilla tuotetun F–T-dieselin tuotantokustannukset on arvioitu hieman alemmiksi. Bensiinin eetterikomponenttien raaka-aineista metanoli näyttäisi olevan tuotantokustannuksiltaan edullisin vaihtoehto tässä kokoluokassa. Kaupallinen viljapohjainen etanoli olisi tuotantokustannuksiltaan RME:n tasolla. Kehitysvaiheessa olevista etanoliprosesseista metsätähde- ja jätepaperipohjaiset vaihtoehdot olisivat metanolia kalliimpia. Biokaasun hinta puhdistettuna ja paineistettuna ajoneuvossa olisi samaa suuruusluokkaa kuin synteetikaasupohjaisten polttonesteiden hinta, mutta biokaasun käyttöä rasittaa kaasujoneuvojen ja jakelujärjestelmien lisäkustannukset. Keski-Euroopassa on tarkasteltu huomattavasti suurempia biopolttonesteiden tuotantolaitoksia, joissa raaka-ainekapasiteetti olisi 5–10-kertainen verrattuna kuvan B tapauksiin. Jos polttoainetta olisi samaan hintaan saatavissa näinkin suuriin laitoksiin, alenisivat tuotantokustannukset merkittävästi. Se edellyttäisi kuitenkin todennäköisesti raakapuun tuontia suomalaisille tehtaille.



Kuva B. Eräiden liikenteen biopolttoaineiden tuotantokustannuksien suuruusluokkavertailu (lähde: VTT:n Biofuture-projekti, etanoli puusta synteetikaasun kautta NREL, USA).

BIOPOLTTOAINEIDEN KÄYTTÖOMINAISUUDET

Useimpia biopolttoaineita – alkoholeja, biodieseliä ja biokaasua – voidaan käyttää joko polttoainekomponenttina tai polttoaineena sellaisenaan. Alkoholi ja kaasumaiset polttoaineet soveltuvat kipinäsytytteisten moottorien (ottomoottorien) polttoaineeksi, kasvi- ja eläinperäiset öljyjohdannaiset puristus- ja sytytteisten (dieselmoottorien) polttoaineeksi.

Euroopassa direktiivi 98/70/EC, sen täydennysdirektiivi 2003/17/EC sekä EN-normit EN228 (benssiini) ja EN590 (diesel) määrittelevät tieliikennepolttoaineiden laadun. Laajimmillaan polttoainelaatujen tulisi soveltua koko ajoneuvokalustoon. Biopolttoaineiden tulee täyttää nykyiset ja tulevat EU:n liikennepolttoaineiden normit ja direktiivit, mistä seuraa selkeitä rajoitteita. Klassisilla biokomponenteilla (etanoli sellaisenaan, RME) ei päästä kuin maksimissaan noin viiden tilavuusprosentin korvausasteeseen, jos polttoainenormien vaatimuksista halutaan pitää kiinni. Näin ollen sekä käyttöominaisuudet että mahdolliset raaka-ainevarat rajoittavat klassisten biopolttoaineiden potentiaalia Suomessa. Käytön osalta syntetiset biopolttoaineet tarjoavat enemmän joustoa, ja korvausaste voi periaatteessa olla 0–100 %. Myös raaka-ainepohja on tässä tapauksessa laajempi kuin klassisilla biopolttoaineilla. Uusille polttoainevaihtoehdoille on kehitteillä suomalaista valmistus- ja käyttöteknologiaa.

Tarkasteltaessa erilaisten polttoaineiden vaikutuksia moottorien säännelyihin päästöihin on huomattava, että nykymoottoreissa pakokaasujen jälkikäsittelylaitteistoilla ja moottorin palamisen tarkalla ohjauksella on aivan ratkaiseva asema päästöjen rajoittamisessa. Tämä pätee erityisesti nykyaikaisiin benssinimoottoreihin. Myös dieselhenkilöautoissa käytetään tänä päivänä pakokaasujen jälkikäsittelylaitteita, ja raskaaseen dieselkalustoon jälkikäsittely tulee vuosien 2005 (Euro 4) ja 2008 (Euro 5) kiristyvien pakokaasuvaatimusten myötä. Jotta pakokaasujen jälkikäsittelylaitteistot toimisivat halutulla tavalla, myös polttoaineiden laatuvaatimuksia on jatkuvasti parannettu. Tämä näkyy erityisen selvästi rikkipitoisuuden alenemisessa. Vuodesta 2005 alkaen tieliikennepolttoaineiden rikkipitoisuus saa olla enimmillään 50 ppm, ja enintään 10 ppm rikkiä sisältäviä polttoaineita on oltava saatavilla (Direktiivi 2003/17/EC). Suomessa moottoribensiinin ja dieselöljyn valmisteveron porrastuksen perusteita muutettiin 1.9.2004 alkaen siten, että alinta verotaso sovelletaan enintään 10 ppm rikkiä sisältäviin polttoaineisiin. Tällä nopeutetaan siirtymistä rikittömiin polttoainelaatuihin.

Tämän kehityksen valossa on helppo mieltää, ettei minkään biopolttoaineen käyttö, metaania lukuun ottamatta, voi nykyautoissa tuoda merkittäviä vähennyksiä (yli 10 %) säännelyihin päästöihin. Tämä pätee erityisesti siinä tapauksessa, että biopolttoainetta käytetään polttoaineen seoskomponenttina. Metaanilla (maakaasuna tai biokaasuna) nykytekniikalla säännellyt päästöt voivat alentua jopa yli 50 % (raskaiden moottorien hiukkas- ja typenoksidipäästöt). Etu realisoituu käytännössä lähinnä vain kaupunkilman laadussa taajamakäytössä. Nykytekniikalla biopolttoaineiden etu on mahdollisuudessa vähentää fossiilista CO₂-päästöä.

TUOTANTO- JA KÄYTTÖKETJUJEN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT

Ajoneuvojen hiilidioksidipäästöihin voidaan vaikuttaa ajoneuvo- ja moottoritekniikan sekä polttoaineiden avulla. Selkein esimerkki on bensiini- ja dieselkäyttöisten henkilöautojen vertailu. Dieselmoottorin hyötysuhde on selvästi bensiinimoottorin hyötysuhdetta parempi, varsinkin osakuormalla ajettaessa. Tämä näkyy siten, että sekalaisessa ajossa dieselautojen litramääräinen polttoaineen kulutus on 20–30 % pienempi bensiini-autoihin verrattuna (energian kulutuksena laskettuna noin 18–27 % pienempi).

Ajoneuvon koko ja moottoriteho vaikuttavat niin ikään polttoaineen kulutukseen. Tietyn mallisarjan sisällä pienimmällä moottorilla varustettu on usein taloudellisin, joskin poikkeuksiakin löytyy. Yleistäen voidaan sanoa, että henkilöautojen osalta auton järkevällä valinnalla (koko, moottorityyppi, moottorin koko) voidaan vaikuttaa enemmän hiilidioksidipäästöihin kuin polttoainevalinnoilla. Todennäköisesti vähän polttoainetta kuluttavat ajoneuvot ovat kustannustehokkaampi vaihtoehto liikenteen CO₂-päästöjen alentamisessa kuin biopolttoaineiden laajamittainen käyttöönotto. Tämä pätee erityisesti seoksina käytettäviin biopolttoaineisiin. Haittapuolena kalustoon vaikuttamisella on kuitenkin se, että autokalusto uudistuu varsin hitaasti, yli kymmenessä vuodessa.

Arviot liikenteen biopoltonesteillä saavutettavista kasvihuonekaasupäästöjen vähene- mistä vaihtelevat raaka-aineen ja prosessin sekä laskennassa käytettyjen oletusten mu- kaan. Tyypillisiä laskentaoletuksia ovat raaka-aineen viljelyssä käytetty energia, raaka- aineiden kuljetuksessa käytetty energia, tuotannon hyötysuhde sekä sivutuotteiden hyö- dyntämisvaihtoehdot. Biodieselillä on esitetty saatavan 50–80 %:n päästövähennemä verrattuna fossiiliseen dieselpolttoaineeseen ja vastaavasti viljaetanolilla 20–40 %:n päästövähennemä verrattuna bensiiniin. Puupohjaisilla polttoaineilla on mahdollista saa- da 75–95 %:n päästövähennemä. Kattavaa kasvihuonekaasutarkastelua tuotannon ja käy- tön ketjuista perustuen nykytekniikoihin Suomen olosuhteissa ei ole tehty. Tarkastelu tehdään Tekesin ClimBus-teknologiaohjelmassa.

TOIMINTAVAIHTOEHTOJA SUOMESSA

Energiasektorilla biomassoista voidaan tuottaa sähköä, lämpöä, jalosteita (pellettejä, bioöljyjä) lämmityssektorille sekä liikenteen polttoaineita. Lisäsähkön tuotanto, lämmi- tysöljyn korvaus ja liikenteen biopolttoaineet ovat samasta raaka-aineesta kilpailevia vaihtoehtoja. Kaiken kaikkiaan biopolttoaineiden käyttökohteita on enemmän kuin koh- tuukustannuksin tarjolla olevia biopolttoaineita, minkä vuoksi tulee suorittaa valintoja bioraaka-aineiden käytöstä kasvaviin bioenergiavaihtoehtojen tarpeisiin tai metsäteolli- suuden raaka-aineiksi.

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistoimenpiteenä bioenergian hyödyntäminen yhdistetyssä sähkön ja lämmöntuotannossa on edullisin vaihtoehto. Bioenergian hyödyntäminen kiinteistöjen lämmityksessä on hieman kalliimpi vaihtoehto mutta kuitenkin edullisempi kuin käyttö liikenteen biopolttoaineena. Hyödyntäen jättepohjaisia raaka-aineita ja onnistuneella integroinnilla liikenteen biopolttoaineille kustannustaso 20–40 €/t CO₂ voisi olla mahdollinen, metsätähdeintegraateissa synteetikaasutekniikalla taso olisi 40–120 €/t CO₂ ja peltopohjaiset olisivat tasolla yli 200 €/t CO₂. Jos bioöljyä valmistettaisiin stationäärikäyttöön (pyrolyysiöljy), olisi mahdollista päästä tasolle 20 €/t CO₂. Vältetyn CO₂-tonnin hintaerojen tasoittuminen edellyttäisi periaatteessa EU:n liikenteen ja sähkön tuotannon ja käytön verotuskohtelun muuttumista tai muuta taloudellista ohjausta. Tulevina vuosina ja vuosikymmeninä raakaöljyn hintakehitys vaikuttaa oleellisesti vältetyn CO₂-tonnin hintoihin liikenteen biopolttoaineilla.

Liikenteen biopolttoaineitten ja maakaasun käytön edistämistä perustellaan yleensä huoltovarmuuden parantamisella. EU:n vihreä kirja Euroopan energiahuoltostrategiasta tavoittelee vuonna 2020 vaihtoehtoisille liikenteen polttoaineille tavoitetasoa 20 %, josta maakaasun osuus olisi kymmenen prosenttiyksikköä, biopolttoaineiden kahdeksan prosenttiyksikköä ja loppu olisi vetyä. Helposti hyödynnettävät öljyvarat ovat maailmassa supistumassa samaan aikaan, kun esim. Kiinan öljynkulutus on voimakkaassa kasvussa. Nykyiset tuotantomäärät eivät todennäköisesti kasva enää merkittävästi tai kääntyvät loivaan laskuun. Piakkoin tarvitaan käyttöön uusia öljyn lähteitä, esimerkiksi raskaita öljylaatuja ja öljyhiekkoja, ja pidemmällä aikajänteellä tuotantoa kivihielestä, joista tuotantokustannukset ovat merkittävästi korkeampia. Kaikki tekijät yhdessä johtavat siihen, että öljyn hintaan kohdistuu nousupaineita tulevina vuosikymmeninä.

Liikenteen biopolttoaineiden hyödyntämisen perusskenaariona on tuoda maahan joko Euroopassa tai maailmanmarkkinoilla tuotettua polttoaine-etanolia, kasviöljyjä tai niiden johdannaisia. Niiden hintatasoksi muodostunee tuonnissa se eurooppalainen taso, mikä maksetaan (korkeamman) verotuen avulla eri EU-maissa. Esimerkiksi Saksassa biopolttoaineet on kokonaan vapautettu polttoaineveroista, jotka ovat 47 snt/l dieselille ja 65 snt/l bensiinille. Suomen polttoainemarkkinat ovat niin pienet, että muita maita halvemmalla tuonti on tuskin laajasti mahdollista. Euroopan markkinoille ei ole myöskään saatavissa suuria eriä niin edullisia biopolttoaineita, että tuontipolttoaineita voitaisiin hyödyntää ilman tukitoimia.

Teknisesti olisi mahdollista rakentaa Suomeen peltopohjaisiin raaka-aineisiin perustuvat uudet etanoli- tai biodieseltehtaat. Suomessa voitaisiin kesantopeltoja hyödyntäen tuottaa joko viljaetanolia tai RME:tä. Tuotantomääriä rajoittaa suurien tukitarpeiden lisäksi viljelytekniset rajoitukset, esim. rypsin vuoroviljely. Viljelyalojen perusteella arvioituna tuotanto voisi olla 50 000–100 000 toe/a. Peltokasvien tuotantokustannukset ovat Suomessa Euroopan korkeimpia. Maataloustuella rypsinsementen ja viljojen kauppa kui-

tenkin tapahtuu maailmanmarkkinahinnoin. Etanoli- tai biodieseltehtaissa ei käytettäisi vain kotimaista raaka-ainetta, vaan todennäköisesti pääosa tuotannosta perustuisi kansainvälisiltä markkinoilta ostettuun raaka-aineeseen. Viljelykasvipohjaisen etanolin ja biodieselin tuotantomahdollisuuksien kotimaisista raaka-aineista arvioitiinkin olevan vähäinen käsitellyllä tarkkuudella. Kustannustehokkaampi peltojen non-food-vaihtoehto olisi ruokohelven viljely kiinteäksi polttoaineeksi sähkön ja lämmön tuotantoon kuin peltokasvien viljely liikenteen polttoaineiden tuotantoon.

Nykyisiä kaupallisia peltopohjaisia tuotteita edullisemmin voisi valmistaa puu- ja jättepohjaisista biomassavaroista joko nestemäisiä biopolttoaineita tai biokaasuja. Näitä tekniikoita kehitetään useissa maissa, ja ensimmäiset koetehtaat ja demonstrointihankkeet käynnistyvät lähivuosina. Julkaisussa esitetään vaihtoehtoja Suomen kehityspoluiksi.

Kaasumaisten biopolttoaineiden käyttöä liikenteen polttoaineena rajoittavat kaasun saatavuus, polttoainejakelun logistiikka sekä vaadittavat investoinnit tankkausasemiin ja kaasujoneuvoihin. Taulukossa A esitetyssä skenaariossa on arvioitu biokaasun liikennekäytön potentiaaliksi 1,7 PJ/a, mikä on kolmannes jätevedenpuhdistamoiden, kaatopaikkojen ja yhdyskuntien biojätteiden osuudesta Suomen biokaasupotentiaalista. Elektrowatt–Ekonon arvion mukaan Suomen kaatopaikka- ja biokaasun tekninen potentiaali vuonna 2010 olisi yhteensä 6,6 PJ (1,82 TWh, 360 milj. m³). Biokaasun liikennekäytön edistämiseksi on olennaista maa- ja biokaasun yhteiskäyttö, mikä turvaa polttoainehuoltoa sekä kaasun jakeluinfrastruktuurin ja riittävän suuren ajoneuvokaluston hankinnat.

Niin EU:n tutkimusohjelmissa kuin Suomessa Tekesin tutkimus- ja tuotekehitysrahoituksella kehitetään edullisempia, ei-peltokasvipohjaisia ratkaisuja. Niissä käytettäisiin raaka-aineena pääosin metsätähteitä, yhdyskuntajätteitä sekä teollisuuden biomassapohjaisia sivuvirtoja. Tavoitteena olisi tuottaa nykyisiä biopolttoainetuotteita, kuten etanolia, metanolia/MTBE:tä tai biodieseliä, käytettäväksi seoksina bensiinin ja/tai dieselpolttoaineen joukossa nykyisissä ajoneuvoissa. Tällöin ei polttoaineiden jakelujärjestelmiin eikä ajoneuvoihin tarvittaisi muutoksia, joista syntyisi lisäkustannuksia. VTT:n kehityshankkeissa panostetaan mm. synteetikaasun tuotantoteknologian ja bioteknisten etanolin valmistusprosessien kehittämiseen. Jyväskylän yliopistossa on tutkittu biokaasun valmistusta.

Periaatteessa Suomessa olisi tulossa markkinoille riittävästi puu- ja jättepohjaisia raaka-aineita direktiivin vuoden 2010 tavoitteen mukaisen biopolttonestemäärän tuottamiseksi. Uuden puupolttoainepotentiaalin oletetaan kuitenkin menevän markkinaehtoisesti pääasiassa teollisuuden ja yhdyskuntien kasvavaan yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon. Päästökauppa voi lisätä myös biopohjaisen lauhdesähkön tuotantoa isoissa sähkö- ja lämpöä tuottavissa voimalaitoksissa. Metsätähteiden korjuun oletetaan tehostuvan vuoteen 2010 sekä korjuuteknologian että markkinoiden maksukyvyyn ansiosta.

Synteetikaasupohjaisen tekniikan on arvioitu voivan kaupallistua ensimmäisissä demonstroitilaitoksissa vuoteen 2010 mennessä, jos tutkimus- ja kehitystyöhön panostetaan riittävästi. Ensimmäiset kaupalliset koelaitokset voisivat olla tuotannossa Euroopassa 10 000–60 000 toe:n/a kokoluokassa arviolta vuosina 2008–2010. Raaka-aineiden kulutus olisi tällöin prosessista riippuen 20 000–150 000 toe/a (0,8–6,2 PJ/a). Laajamittainen biopoltonestetuotanto voisi olla mahdollista vuosina 2015–2025. Puupohjaisen etanolin tuotannon ei arvioida olevan kaupallista vielä vuoteen 2010 mennessä, koska vuonna 2004 käynnistyi vasta ensimmäinen pienimuotoinen pilottilaitos (Örnsköldvik, Ruotsi). Kehityspanosten uusiin tekniikoihin tulisi olla huomattavia, 20–100 M€ demonstroitilaitosinvestointi mukaan lukien.

Fortum Oil and Gas Oy on esittänyt suunnitelman käynnistää lähivuosina biodieselin tuotanto kasviöljyistä ja eläinrasvoista pohjautuen prosessiin, joka ei perustu esterointiin vaan jossa tuotetaan perinteistä dieselpolttoainetta vastaavia hiilivetyjä. Kotimaisista raaka-aineista (käytetyt kasviöljyt ja eläinrasvat) tuotannon on arvioitu olevan noin 20 000 toe/a, mikäli elintarviketeollisuuden raaka-ainekäyttö jatkuu nykyisellään. Pääosa raaka-aineista olisi tuontia ulkomailta. Arvioitu laituskapasiteetti on 160 000–180 000 t/a.

Taulukko A. Liikenteen biopolttoaineiden tuotantoskenaarioita Suomessa kotimaisista raaka-aineista vuonna 2010, uuden tekniikan ensimmäiset demonstroitilaitokset. Direktiivin mukainen ohjeellinen tarve vuonna 2010 on 215 000 toe.

Polttoaine	Tuotanto, toe/a	Tuotanto, PJ/a
RME tai viljapohjainen etanoli kesantopelloilta, viljapohjainen etanoli oletettu liian kalliiksi, rypissä viljelyrajoite	0–20 000	0–0,8
Biokaasu liikennekäyttöön, kolmannes potentiaalista (kaatopaikat, jätevedenpuhdistamot, biojäte), edellytyksenä maakaasu tukipolttoaineena	40 000	1,7
Energiamarkkinoille tuleva lisäpuu ja kierrätyspolttoaine synteetikaasupohjaisiin tuotteisiin, 1. demolaitos	40 000–60 000	1,7–2,5
Kotimaiset eläinrasvat ja käytetyt kasviöljyt synteettisen biodieselin tuotantoon, 1. kaupallinen laitos, johon myös tuontiraaka-aineita (myös puhtaita kasviöljyjä)	20 000	0,8
Yhteensä	100 000–140 000*	4,2–5,8

* Vastaa n. 2,5–3,5 %:a Suomen tieliikenteen arvioidusta polttoainekulutuksesta vuonna 2010.

Laatuvaatimuksiin pohjautuvista käytön rajoitteista huolimatta biopolttoaineiden käyttöpotentiaali on arvioitu suuremmaksi kuin tuotantomahdollisuudet kotimaisista raaka-aineista. Taulukossa B esitetään selvityksessä arvioidut vaihtoehtoisten polttoaineiden (biopolttoaineet, maakaasu, vety) maksimiosuudet liikenteen polttoaineiden kulutuksesta Suomessa vuoteen 2020.

Taulukko B. Arvio vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden maksimiosuuksista liikenteen polttoaineiden kulutuksesta Suomessa, biopolttoaineet kotimaisista raaka-aineista.

	2005	2010	2020
Biopolttoaineet	0,01 %	3 % – synt. biodiesel 0,5 % – biokaasu 1 % – biopohj. bensiinikomponentit / F–T-diesel 1–1,5 %	5 %
Maakaasu	0,1 %	0,5–1 %	3 %
Vety			< 0,01 %

Maakaasun ja biokaasun osuudet eivät ole yhteenlaskettavissa. Ajoneuvojen määrä rajoittaa.

Uusien biopolttoaineiden kehittäminen kaupalliselle asteelle vienee 5–10 vuotta ja uuden teknologian vielä pidempään. Uudet biopolttoaineet voisivat tulla markkinoille laajamittaisesti vuosina 2015–2025. IEA on arvioinut maaöljyn tuotannon kääntyvän laskuun vuosina 2010–2015, mikä voi tuoda öljyn hintaan nousupaineita. Avainkysymys on se, milloin ja missä laajuudessa uusien biopolttoaineiden kehitystyö tulisi aloittaa. Jos vaihtoehtoisia liikennepolttoaineita halutaan kehittää Suomessa, voidaan kuvata seuraavat mahdolliset teknologiavaihtoehdot ja etenemispolut:

- synteesikaasun valmistus, biopolttonesteiden (metanoli, F–T-polttonesteet) tuotanto, demolaitoksen aikaisin arvioitu käynnistyminen vuonna 2010
- biokaasun käyttö liikenteessä ja maakaasuverkossa, demonstroitu ulkomailla
- selluloosapohjaisen etanolin tuotanto, pienimuotoinen pilottilaitos Ruotsissa
- puun pyrolyysiöljy, öljy kiinteistöjen lämmitykseen tai mahdollisesti jalostamolle liikenteen polttoaineiden tuotantoon, pilottilaitos Suomeen vuosina 2008–2010
- synteettisen maakaasun (SNG:n) tuotanto ja käyttö maakaasuverkossa, demolaitoksen rakentamisvalmius kehitystyön onnistuessa arviolta vuosina 2008–2012.

Uusien liikenteen biopolttoaineiden käyttöönotolle on oleellista saada aikaan valtiovalan ympäristö-, liikenne- ja energiastrategioiden linjausten lisäksi eri toimijoiden yhteenliittymiä koko ketjun toteuttamiseksi ja investointien riskien jakamiseksi. Liikenteen biopolttoaineet tulevat olemaan yrityksille todennäköisesti kiinteiden biopolttoaineiden kansainvälistä kauppaa laajempi liiketoiminta-alue. Koska tarvittavat tuotantolaitosinvestoinnit ovat huomattavia, niistä päättäminen edellyttäisi pitkiä viranomaisten strategia- ja verolinjauksia ja kansainvälisiä yhteistyöjärjestelyjä. Uuden teknologian tutkimiseen ja kehittämiseen tarvitaan kasvavia varoja, jos halutaan saavuttaa raportissa arvioidut, matalamman tukitason mahdollistavat biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöjärjestelmät.

Extended abstract

BASIS AND AIMS OF THE STUDY

One of the key goals of the EU's energy and environment policy is to promote the utilisation of renewable energy sources in order to reduce greenhouse gas emissions and to improve the security of fuel supply. The main renewable energy source is biomass, which can be utilised in heat and power production and as transportation fuel. Biomass utilisation as transportation fuel is the main topic of this publication. The aim of the study was to produce background information on biomass-based transportation fuels for the Finnish authorities to update the national climate strategy and define the national policy in implementing the new EU Biofuel Directive on the promotion of the use of biofuels for transportation.

The White Paper of the Commission for Renewable Energy Resources, adopted in November 1997, introduced indicative targets for a more sustainable energy system in the EU. The main objective presented was to double the share of renewable energy resources in the total energy consumption in the EU from 6% to 12% by 2010. Bioenergy is supposed to play a crucial role in the increase of renewable energy share. The target is to increase bioenergy use by 90 Mtoe/a from the level of 1995 by 2010. Forest resources, agricultural biomass and commercial and municipal waste fractions represent equal shares of the biomass resources for additional bioenergy use.

Several EU Directives have been adopted to promote an increasing use of renewable energy sources in different sectors. For instance, the new Biofuel Directive on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transportation sets national indicative targets for the utilisation of biofuels in the road transportation sector. The new RES-E Directive on the promotion of electricity produced from renewable energy sources sets indicative targets to increase the share of the electricity produced from renewable energy sources. The Biofuel Directive presents indicative target shares of 2% in 2005 and 5.75% in 2010 for the exploitation of biomass-based road transportation fuels. The EU goals for bioenergy use are so ambitious that the availability of national biomass resources and their prices might be a limiting factor in the future in several countries.

Currently, agricultural-crop-based bioethanol and biodiesel are produced commercially for transportation fuels in Brazil, the USA, and some EU countries. In addition, in some countries, e.g. Sweden, there are research and demonstration activities on the use of biogas in gas engine vehicles. In 2003, about 1.5 million oil equivalent tons of bioethanol and biodiesel was produced in the EU (EU15). The production of biodiesel was about 1.5 million tons (1.35 Mtoe/a) in EU25, Germany being the main producer. The production of ethanol for the fuel market was about 450 000 tons (290 000 Mtoe/a). In

the EU, ethanol fuel is produced mainly in five countries, namely Spain, Poland, France, Sweden and the Czech Republic, Spain being the main producer. The indicative target of 5.75% set in the Biofuel Directive for the biofuel share in road transportation fuels in 2010 would mean a biofuel utilisation of about 17–18 Mtoe/a in the EU.

In Finland, some oil companies have blended ethanol in gasoline with a share of 5 volume per cent, at maximum, on an experimental basis. The tax relief of 30 c/l has been granted for the ethanol share for a fixed period, which will end on 31 December 2004. Ethanol has been purchased from the European and Brazilian markets. In addition, biodiesel and biogas production and utilisation in vehicles has been tested on a small scale (a few vehicles).

National subsidising measures of biofuels for transportation, and hence the realised implementation solutions, differ in the EU due to a variety of policy and market issues. The most important driving force has been the supporting of agriculture. Environmental concerns, e.g. the reduction of carbon monoxide emissions and global carbon dioxide emissions, have also been key drivers in addition to local economic development opportunities by job creation.

PROSPECTS IN THE DEVELOPMENT OF THE BIOFUEL PRODUCTION TECHNOLOGIES

Biodiesel and ethanol production from agricultural crops, and biogas production from biomass by anaerobic digestion, are commercial technologies. Other biofuel production technologies are not yet commercial. The current biofuel options are not economically feasible without supporting measures from the authorities, like almost complete tax relief or subsidising production plants (Brazil, the USA). The main interest has been on agricultural crop-based products, and the development of wood-based products has not been widely promoted. However, during the last few years, the support to research and development these new processes have considerably increased due to the new EU Biofuel Directive.

In the development and research phase there are several alternative routes for the production of biofuels for transportation. The main alternatives (Figure A) are the production of methanol and synthetic fuels like Fischer–Tropsch diesel based on biomass gasification, and ethanol production from lignocellulosic biomass (straw, wood). In addition other options have been presented, e.g. tall oil esters and refining biocomponents from bio oil produced by pyrolysis. Ethers, like MTBE and ETBE, can be produced from alcohols (methanol, ethanol) by commercial technologies for utilisation as fuel additives in fossil fuels.

Commercial: agricultural crop-based
biodiesel and bioethanol

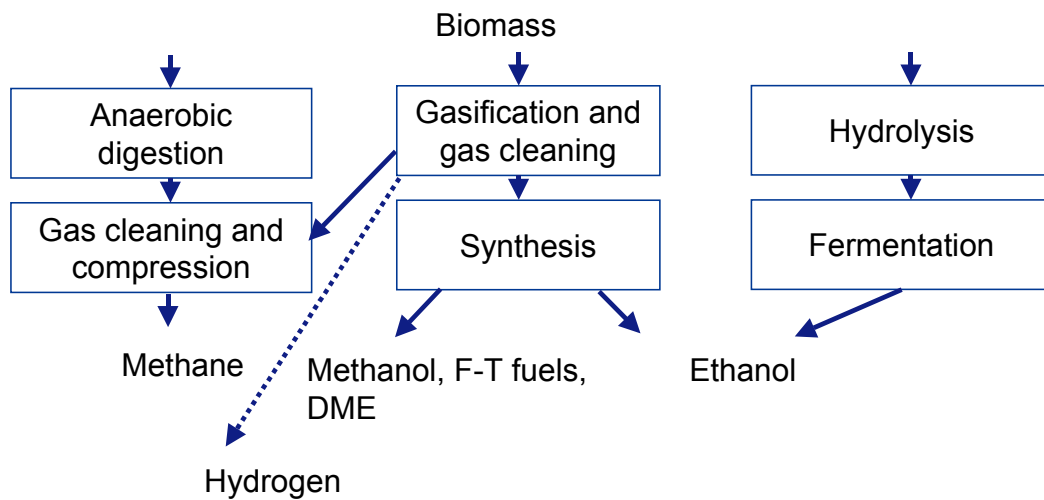


Figure A. Production technologies of biofuels for transportation under development.

Ethanol production from sugar and starch containing raw materials is commercial technology. Ethanol can be produced from lignocellulosic materials (straw, wood) based on the hydrolysis and fermentation of the extracted sugars. In the hydrolysis step, the sugars of hemicellulose and cellulose are extracted by a chemical or enzymatic treatment. However, due to its structure, the hydrolysis of wood is more complicated compared to the hydrolysis of starch. In addition, new processes based on the fermentation of synthesis gas to ethanol are in the early stages of development on a laboratory scale, e.g. in the USA and Finland. The research and development work on the production of wood-based ethanol is being carried out mainly in the USA, Sweden and Canada. Several demonstration projects have been initiated, but so far none of the alternative technologies have been demonstrated as a whole outside the laboratory utilising wood as a raw material. The process based on a dilute acid hydrolysis is considered to be the nearest to an industrial scale demonstration. In Sweden, a new demonstration plant producing 400–500 litres/d of ethanol from cellulose and wood-based raw materials was launched in spring 2004.

Liquid biofuels can also be made from a variety of biomasses by so-called indirect liquefaction methods, in which biomass is first gasified, the gasification product gas is cleaned and processed to form a so-called synthesis gas, which is then used in a commercial chemical synthesis process (methanol, Fischer–Tropsch, DME). The main technical uncertainties lay in gasification and gas cleaning for the impurity levels required by the synthesis processes. A process of this type was demonstrated in the 1980's at the Kemira plants in Oulu, Finland. At the plant, ammonia was produced from peat in the capacity of 80 000 tons of NH_3/a . Synthetic fuels are produced commercially from coal by gasification using the Fischer–Tropsch (F–T) synthesis technology in the Sasol plants

in South Africa and from natural gas in the Shell plants in Malaysia. However, the implementation of biomass as a raw material of synthesis gas-based processes still needs development work. Cost-effective high-efficiency process concepts are sought by research and development, e.g. a EU-funded project coordinated by Volkswagen Ag was launched at the beginning of 2004. The total budget of the project is 20 million €. The aim is to decrease the production costs of F-T diesel to 0.70 €/equivalent oil litre produced in Central Europe from local raw material. In Finland, synthesis gas production processes are being developed under a so-called UltraCleanGas project coordinated by VTT.

Biogas produced by the anaerobic fermentation of waste or manure and landfill gas can be purified into natural gas quality and used in gas engine vehicles after compression. Biogas and landfill gas consist mainly of methane and carbon dioxide. In the future, it could be possible to produce gaseous fuels for gas engine vehicles also by thermal gasification. The combustion gas produced by gasification consisting mainly of hydrogen and carbon monoxide can be processed into methane using a kind of synthesis process similar to the synthesis processes producing liquid synthetic fuels. Hence, thermal gasification enables the production of both liquid and gaseous biofuels for transportation.

Depending on the fuel and production technology, the production costs of biofuels for transportation are from 1.5-fold to 5-fold compared to the untaxed prices of current fossil fuels. In autumn 2004, the high crude oil price has (momentarily) narrowed this difference. Decreasing the production costs of biofuels are aimed for by research and development in both the EU and the USA, e.g. through new polygeneration approaches, in which biofuels are produced in combination with industrial or power plants, and utilising low-cost wood-based or waste-based raw material options. The aim is to develop production technologies that enable the introduction of biofuels in the transportation sector with as low subsidies as possible and with declining levels of subsidies. In Finland, the main focus of the research and development work should be in the technologies, in which the subsidising level would be below the current fuel taxes, 32 c/l for diesel and 59 c/l for gasoline, if possible. Since the Finnish manufacturers provide the world market with competitive forest-industries machines and equipment and power plants, it is justifiable to expect that Finnish manufacturers could also supply equipment for the production of biofuels for transport to domestic and international markets, e.g. during the last few decades grain-based ethanol production plants used to be supplied by Finnish companies.

The production costs of different biofuels in the Nordic conditions (Figure B) has been preliminary estimated in a so-called Biofuture project coordinated by VTT. The presented costs are only estimations of the possibilities of new technologies. The selected plant capacities are typical in the Nordic countries due to local conditions in the availability and procurement of raw materials. According to this comparison the production costs of RME would be highest among the biomass-based diesel products. The produc-

tion costs of F–T diesel produced by new technologies have been estimated to be slightly lower. Methanol seems to be the lowest-cost option for raw materials of ether components in this size-class. The production costs of commercial grain-based ethanol would be at the same level as the costs of RME. Wood- and waste fibre-based ethanol production processes under development seem to have higher costs compared to wood-based methanol production. The production costs of purified and compressed biogas seem to be at the same level as syngas-based liquid biofuels, however, the investment costs of gas engine vehicles and fuel distribution systems increase the overall costs of biogas utilisation. In Central Europe, considerably larger biofuel production concepts have been estimated, raw material capacity 5- to 10-fold to capacities in the cases in Figure B. If raw materials were available at the same price to the plants of these high capacities, the production costs would be considerably lower. However, in this situation roundwood should most likely to be imported to Finnish plants.

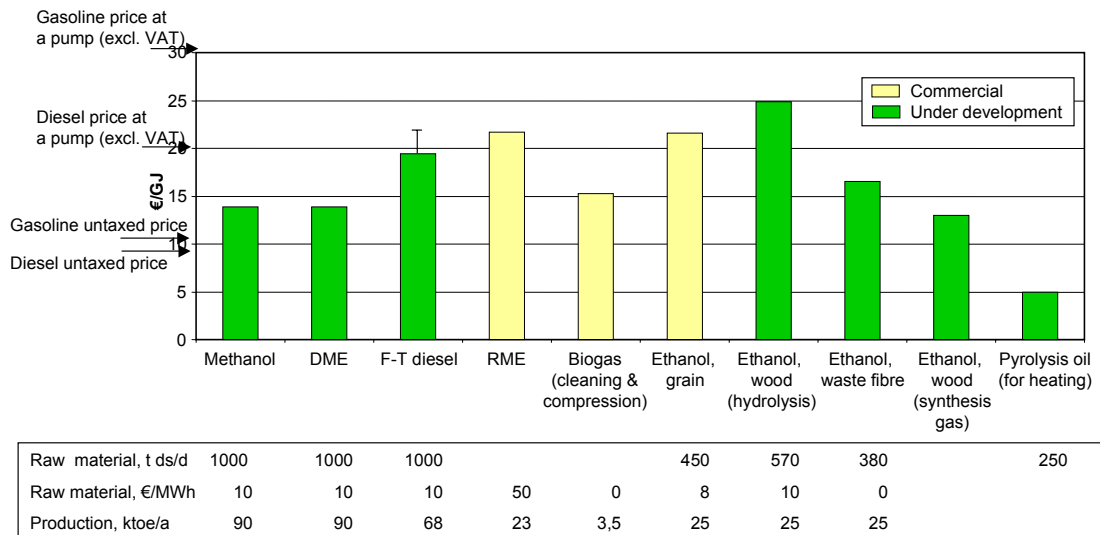


Figure B. Production cost levels of some biofuels for transportation, sources: Biofuture project by VTT, ethanol from wood via syngas by NREL, The USA.

PROPERTIES OF BIOFUELS

Most biofuels – like bioalcohols, biodiesel and biogas – can be used as fuel additives or as fuels as such. Alcohols and gaseous fuels are suitable for fuels of spark ignition engines (otto engines) and biodiesel (FAME) for fuels for compression ignition engines (diesel engines).

In Europe, the quality of road transportation fuels are determined by EC Directives 98/70/EC and 2003/17/EC and EN standards EN228 (gasoline) and EN590 (diesel). At the broadest, fuel grades should apply to the whole vehicle base. Biofuels will have to

fulfil current and future directives and standards, which present clear constraints for their utilisation, e.g. the maximum share of classic biofuels (ethanol, FAME) is about 5 volume-%. Therefore, both fuel properties and raw material resources limit the potential of conventional biofuels in Finland. Synthetic fuels offer more flexibility, and in principal the substitution share can vary from 0 to 100%. Also, the raw material options, and resources, are greater than with classic biofuels. Finnish production and utilisation technology for these options is under development.

When evaluating the effect of various fuel alternatives on regulated emissions it should be noted that the emission performance of current vehicles is first and foremost determined by the exhaust after-treatment devices and engine controls. This is especially true for petrol engines. Exhaust after-treatment will also be introduced for heavy-duty vehicles as a consequence of ever-tightening emission requirements (Euro 4/2005 and Euro 5/2008).

To ensure proper performance of exhaust after-treatment systems, the quality requirements for fuels have also been continuously tightened. Starting 2005, the maximum permissible sulphur content of on-road fuels is 50 ppm, and fuels with less than 10 ppm sulphur should be readily available (Directive 2003/17/EC). In Finland, starting September 1st 2004, a tax differentiation has been in place subjecting gasoline and diesel fuel with less than 10 ppm sulphur to the lowest level of excise duty. This will speed up the switch to sulphur-free fuel qualities.

Against this background it is easy to perceive that a switch to any biofuel, with the exception of methane, will not render significant reductions (more than 10%) in regulated emissions for current vehicles. This is especially true when using biofuels as blending components. However, a switch from diesel to methane (natural gas or biogas) in heavy-duty vehicles can bring about emission reductions (oxides of nitrogen, particles) of more than 50%. Therefore, gaseous fuels are of interest to improve urban air quality. Generally speaking, the most significant benefit of biofuels is the possibility for greenhouse gas (GHG) emission reductions.

The carbon dioxide emission of vehicles is dependent on vehicle, engine and fuel technology. A comparison of petrol and diesel cars sets a good example. The diesel engine is superior regarding efficiency compared to the petrol engine, specifically under partial load. As a consequence, the volumetric fuel consumption of the diesel car is some 20 to 30% lower (18 to 27% lower calculated as energy), and thus carbon dioxide emission is also lower.

Also, engine power and vehicle weight affect fuel economy. Within a certain model range of a vehicle, the model with the smallest engine is often the most fuel efficient one. Most probably, choosing vehicles soundly (vehicle size, engine type, power) would affect carbon dioxide emissions more than the implementation of blended biofuels. The

promotion of energy efficient vehicles could be a more cost-effective way to reduce GHG emissions than a large-scale introduction of biofuels. However, one major drawback in targeting the vehicle fleet is that renewal takes time, as the service life of vehicles is more than 10 years.

A wide range of estimates for net CO₂ emissions of biofuel production and utilisation chains can be found in the literature. However, no comprehensive study for new technologies on the Finnish conditions has yet been carried out. The results of estimates are dependable on specific feedstock and process, as well as on particular assumptions, e.g. energy used in cultivation and transporting feedstocks, plant conversion efficiency, and byproduct credits. The following ranges of reduction potential have been presented: with biodiesel (FAME) a 50–80% reduction compared to fossil diesel, with grain-based ethanol a 20–40% reduction compared to gasoline and with wood-based biofuels a 75–95% reduction compared to corresponding fossil fuels.

ALTERNATIVE BIOFUEL PRODUCTION AND USE SCENARIOS IN FINLAND

In the energy sector, biomass can be utilised in heat and power production, as raw material for producing biofuels (pellets, bio oils) for the heating sector or for transportation. The options for increasing bioenergy production – power production, replacing fossil heating oils and biofuels for transportation – compete for the same raw material resources. Overall, there are more applications for biomass utilisation than biomass fuels with a reasonable price, and hence, the choice between the use of biomass raw materials in increasing needs of bioenergy and use as raw material in forest-products industry has to be made.

As a measure for reducing greenhouse gases, biomass utilisation in combined heat and power production is the most economic option. Utilising bioenergy in building heating is slightly more expensive, but still less expensive than the use of biofuels for transportation. In an optimistic case, utilising waste-based raw materials and with effective integration, the cost level of 20–40 €/t CO₂ could be possible for biomass-based transportation fuels. With forest residues as raw material in the production plant integrated to the forest-product industry, the cost level would be 40–120 €/t CO₂. Agricultural-based products are at the cost level of over 200 €/t CO₂. If bio oils were produced for stationary use (pyrolysis oil), a cost level of 20 €/t CO₂ could be possible. In principle, decreasing the differences between these cost levels would require changes in EU taxation policy in transportation and in power production and consumption or other kinds of subsidising measures. In the coming years and decades, the price development of crude oil will considerably affect the costs of a reduced ton of GHG emissions with biomass-based transportation fuels.

Promoting the use of biomass-based road transportation fuels and natural gas is often justified by the improvement of the security of fuel supply. The EU Commission Green Paper "Towards a European Strategy for Energy Supply" of November 2000 has set goals to achieve a 20% share of alternative fuels in the transportation sector by 2020. It has been presented that the share of natural gas could be 10%, biofuels 8%, the rest being hydrogen. Easily exploitable oil reserves are decreasing at the same time as the oil usage of, for example, China is rapidly increasing. The current oil production amounts will most likely not increase notably in the future or they might turn into low-gradient decreases. In the near future, new oil resources, like low-grade oils and oil sands, will be needed and in the longer run, production of liquid fuels from coal; the production costs of which are remarkably higher. In the coming decades, there will be pressure for a price increase of oil.

The base scenario for the utilisation of biomass-based transportation fuels in Finland is to import ethanol and/or biodiesel from Europe or the world market. The price level that will be paid in the countries having higher tax relief will likely determine the price levels in import, e.g. in Germany, biofuels have complete tax relief which is 47 cents/l for diesel and 65 cents/l for gasoline. The Finnish fuel market is likely too limited for biofuel imports at lower prices than other EU countries. Also, that large amounts of low-price biofuels are not available for the European market, imported biofuels could be utilised without supporting actions.

Technically, it would be possible to build new ethanol or biodiesel production plants using agricultural crops as raw material in Finland. Grain-based ethanol or RME could be produced utilising set-aside land. Production amounts will be limited due to the need for high subsidies and cultivation technique issues, e.g. crop rotation in rapeseed cultivation. The production could be 50 000–100 000 toe/a estimated based on cultivation areas. In Finland, the cultivation costs of agricultural crops are among the highest in Europe. The trade of rapeseed and grain is operating at world market prices, agricultural subsidies are used to cover the gaps between cultivation costs and world market prices. Most likely, the main share of raw materials for ethanol or biodiesel plants would be imported. Hence, the production potential of agricultural-crop-based ethanol and biodiesel from indigenous raw materials is considered to be minor in the accuracy of the evaluation (Table A). A more cost-effective option for non-food utilisation of fields would be in the cultivation of reed canary grass for solid biofuel to be utilised in power and heat production.

Wood- and waste-derived liquid or gaseous transportation fuels could be produced more cost-effectively than the current commercial ones. New production technologies are under development in several countries, and the first demonstration plants will start up in the near future. In the publication, technological development routes are presented for Finland.

The utilisation of biogas in transportation is restricted by fuel availability, logistics of fuel distribution, and the investments needed for refuelling stations and gas-engine vehicles. Using both biogas and natural gas is essential to increase the use of biogas as transportation fuel in order to ensure the security of fuel supply, distribution infrastructure for gaseous fuels, and investments for gas-engine fleets.

New, more cost-effective production technologies for biomass-based transportation fuels are under development in several countries. Research and development work is funded by EU and in Finland also by Tekes, the national technology agent. Raw materials for the new processes will mainly be forest residues, MSW, and biomass-based effluents of industries. The goal is to produce current biofuels, like ethanol, methanol, biodiesel, to be utilised as blends with gasoline and/or diesel in current vehicles. Then changes and additional investments to fuel distribution systems and vehicles could be avoided. In Finland, VTT focuses, e.g., on the development of synthesis gas technology and biotechnical ethanol production technologies. Biogas production has been studied at Jyväskylä University.

In principle, the potential supply of wood- and waste-based raw materials for the energy market would be sufficient for producing biofuels at the indicative target share set for 2010. However, the additional wood fuel resources are expected to be used mainly in increasing municipal and industrial combined heat and power (CHP) production. Emission trading might also increase biomass-based condensing power production at large CHP plants. The harvesting of forest residues is expected to increase due to developments in harvesting technologies and future possibilities to gain higher prices in the energy market.

Production technologies of synthesis gas-based fuels are considered to be commercialised in the first demonstration plants by 2010, if contributions to research and development are large enough. The first commercial demonstration plants in a size class of 10 000–60 000 toe/a could be in production in Europe in 2008–2010. The raw material consumption would then be 20 000–150 000 toe/a (0.8–6.2 PJ/a) depending on the process. New biofuels could be launched to the market on a large scale in 2015–2025. Wood-based ethanol production is not considered to be commercial by 2010, since the first small-scale pilot plant only started its operation in 2004. Development contributions to new techniques should be significant, 20–100 M€ in addition to the demonstration plant investment.

Fortum Oil and Gas Oy have published a plan to start vegetable oil- and animal fat-based diesel production in Finland in the near future using a hydrogen treatment process. The product fuel will consist of hydrocarbons and correspond to conventional diesel fuel. The production, based on indigenous raw materials (used vegetable oils and animal fats), is estimated to be about 20 000 toe/a, if the consumption of indigenous vegetable oils in the food industry stays at the current level. The main share of the raw materials will be imported. The plant capacity is assumed to be around 160 000–180 000 toe/a.

Table A. Production scenarios of biofuels for transportation in Finland in 2010 based on indigenous raw materials, first demonstration plants of new technologies. Indicative target based on the Biofuel Directive 215 000 toe in 2010.

Fuel	Production, toe/a	Production, PJ/a
RME or grain-based ethanol from set-aside lands, grain-based ethanol assumed to be too expensive, limitations in rapeseed cultivation	0–20 000	0–0.8
Biogas for transportation, one third of the potential in landfills, wastewater treatment plants, biowaste, natural gas required as a supporting fuel	40 000	1.7
Additional wood fuels for the energy market and recovered fuels for synthetic fuels, the first demonstration plant	40 000–60 000	1.7–2.5
Indigenous animal fats and recycled vegetable oils for the production of synthetic biodiesel, the first commercial plant, utilising also imported raw materials (also clean vegetable oils)	20 000	0.8
Total	100 000–140 000*	4.2–5.8

* Corresponds to about 2.5–3.5% of the estimated consumption of road transportation fuels in Finland in 2010.

The potential for using biofuels in transportation was assessed to be larger than the production potential based on indigenous raw materials despite the restrictions in use based on fuel quality issues. Estimated maximum shares of alternative road transportation fuels (biofuels, natural gas, hydrogen) in Finland until 2020 are presented in Table B.

Table B. Estimated maximum shares of alternative road transportation fuels in Finland, biofuels from domestic raw materials.

	2005	2010	2020
Biofuels	0.01%	3% – synthetic biodiesel 0.5% – biogas 1% – biomass-based gasoline components / F–T diesel 1–1.5%	5%
Natural gas	0.1%	0.5–1%	3%
Hydrogen			< 0.01%

Natural gas and biogas are alternative options restricted by the amount of gas engine vehicles.

Commercialisation of the new biofuels will probably take about 5–10 years, and with new technologies even longer. The new biofuels can be introduced to the fuel market on a large-scale in 2015–2025. IEA has estimated fossil oil production to reduce in 2010–2015, which will affect oil prices increasingly. A key question is when, and to what extent, the development work of new biofuels should be initiated? If alternative transportation fuels are chosen to be developed in Finland, the possible technology and development options could be:

- syngas production, biofuel production (methanol, F–T fuels), earliest possible launching of a demonstration plant: 2010
- biogas utilisation in transportation and in natural gas grid, demonstrated abroad
- production of lignocellulosic-based ethanol, a pilot plant in Sweden
- wood pyrolysis oil, bio oil for the heating sector or for oil refineries for transportation fuel production, a pilot plant to Finland in 2008–2010
- production of synthetic natural gas (SNG) and use in natural gas grid, a demonstration plant possible to be built around 2008–2012, if development work is successful.

It is essential for the introduction of new biomass-based transportation fuels to create, in addition to national environmental, transportation and energy strategies, consortiums between different parties to implement the entire chain from production to utilisation, and to share the risks of investing. Biomass-based transportation fuels will most likely be a bigger business area for companies than the international trade of solid biofuels. Because the needed production plant investments are significant, the decision-making for these investments will require long-span strategies and tax policies from the authorities and international co-operative arrangements. In order to realise the biofuel production and operating systems of lower subvention levels estimated in the publication, increasing funds will be needed for the research and development of new technologies.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	4
Alkusanat.....	5
Laajennettu tiivistelmä	6
Extended abstract.....	17
Määritelmät ja lyhenteet.....	30
1. Lähtökohdat ja nykytilanne.....	33
1.1 Fossiilisen öljyn hinta ja riittävyys.....	36
1.2 Liikenteen biopolttoaineiden nykyinen tuotanto ja käyttö EU:ssa.....	38
1.3 Peltopohjaisten raaka-aineiden viljelymahdollisuuksista Suomessa.....	45
1.4 Ajoneuvojen hiilidioksidipäästöjen alentaminen ja päästömääräysten kehittyminen.....	47
2. Biopolttoaineiden tuotantotekniikat.....	51
2.1 Biodiesel.....	51
2.2 Etanoli	54
2.3 Synteetikaasupohjaiset tuotteet.....	55
2.4 Biokaasut.....	56
2.4.1 Anaerobikäsittely.....	57
2.4.2 Kaatopaikkakaasun talteenotto	58
2.4.3 Termiset biokaasut.....	58
2.5 Tuotantokustannukset.....	59
3. Biopolttoaineiden käyttöominaisuudet	63
3.1 Biopolttoaineiden vaikutus päästöihin	63
3.2 Alkoholit ja eetterit.....	64
3.3 Biodiesel (RME/FAME)	67
3.4 Synteettiset polttoaineet	69
3.5 Maakaasu ja biokaasut	71
3.6 Vety.....	74

4. Kasvihuonekaasupäästöt	76
5. Toimintavaihtoehtoja Suomessa	79
5.1 Bioenergian kilpailutilanne Suomessa	79
5.2 Jätehuolto ja liikenteen biopolttaineet	82
5.3 Liikenteen biopolttaineiden tuotanto- ja käyttöskenaarioita Suomessa vuonna 2010	83
5.4 Teknologiavaihtoehtojen käyttöönotosta	87
6. Yhteenveto	90
Lähdeluettelo	94

Määritelmät ja lyhenteet

Biodiesel. Yleisnimitys kasviöljypohjaiselle dieselpolttoaineelle, joka valmistetaan kasviöljyistä vaihtoesteröimällä (rasvahappojen metyyliesterit).

Biokaasu. Orgaanisen aineksen anaerobisen hajoamisen tuote, pääkomponentit metaani ja hiilidioksidi.

Fleet-käyttö. Keskitettyä polttoainehuoltoa käyttävät ajoneuvot.

Kaasutus. Prosessi, jossa kaasuttava aine reagoi kiinteän tai nestemäisen polttoaineen kanssa korkeassa lämpötilassa muodostaen polttokaasuseoksen. Kaasuttavana aineena voi olla ilma, happi, vesihöyry tai joku muu hapen kantaja.

Pyrolyysiöljy. Korkeassa lämpötilassa hapettomissa olosuhteissa valmistettu bioöljy, jota voidaan käyttää raskaan tai kevyen polttoöljyn korvaajana lämmityssektorilla. Pyrolyysitekniikalla tuotettuja bioöljyjä on esitetty käytettäväksi myös syötteenä synteetisikaasulaitoksilla tai öljynjalostamoilla.

Synteetisikaasu. Kaasuseos, jonka pääkomponentit ovat vety ja hiilimonoksidi. Käytetään yleisesti kemian teollisuudessa, valmistetaan nykyisin pääasiassa maakaasusta. Synteetisikaasua voidaan valmistaa biomassasta (termisen) kaasutuksen kautta.

Synteettinen polttoaine. Yleisnimitys yleensä synteetisikaasun valmistuksen kautta valmistetuille hiilivetyypolttoaineille. Julkaisussa on käytetty vetykäsittelyllä valmistetulle biopohjaiselle dieselpolttoaineelle termiä **synteettinen biodiesel** erotuksena biodiesel-termistä, joka on vakiintunut yleisnimitys vaihtoesteröinnillä valmistetulle kasviöljypohjaiselle dieselpolttoaineelle.

Terminen biokaasu. (Termisellä) kaasutuksella biomassasta valmistettu kaasumainen polttoaine. (Termisesti) kaasuttamalla saadaan vetyä ja hiilimonoksidia sisältävä polttokaasu, joka voidaan tarvittaessa edelleen prosessoida metaaniksi (SNG, synteettinen maakaasu) tai muiksi kaasuseoksiksi, esim. vedyksi.

Polttoaineiden lyhenteet

FAME	rasvahappojen metyyliesterit (Fatty Acid Methyl Esters), esim. RME
RME	rypsimetyyliesteri
EtOH	etanoli
MeOH	metanoli
ETBE	etyyli-tert-butyylieetteri, bensiinikomponentti, ns. oksygenaatti

MTBE	metyyli-tert-butyylieetteri, bensiinikomponentti, ns. oksygenaatti
TAAE	etyyli-tert-amyylieetteri, bensiinikomponentti, ns. oksygenaatti
TAME	metyyli-tert-amyylieetteri, bensiinikomponentti, ns. oksygenaatti
C5-eetteri	eetteri, jonka kemiallisessa rakenteessa on viisi hiiliatomia
BTL	biomassasta valmistettu synteettinen polttoaine, Biomass To Liquids
GTL	maakaasusta valmistettu synteettinen polttoaine, Gas To Liquids
DME	dimetyylieetteri, normaalilämpötilassa ja -paineessa kaasumainen dieselmoottoreihin soveltuva polttoaine
F-T	Fischer-Tropsch, synteesisprosessi, jolla valmistetaan erityyppisiä polttonesteitä synteetikaasusta
NG	maakaasu (natural gas)
CNG	paineistettu maakaasu
LNG	nesteytetty maakaasu
SNG	synteettinen maakaasu
CMG	paineistettu metaani
LH2	nesteytetty vety
CGH2	paineistettu kaasumainen vety
B2, B5, B20	biodieselin ja dieselin seoksia, luku ilmoittaa biodieselin osuuden, esim. B2 sisältää biodieseliä kaksi tilavuusprosenttia ja dieseliä 98 tilavuusprosenttia
E85	etanolin ja bensiinin seos, sisältää etanolia 85 tilavuusprosenttia ja bensiiniä 15 tilavuusprosenttia

Muut lyhenteet

CFPP	suodatettavuus (kylmäkäyttöominaisuus), Cold Filter Plugging Point
REF	syntypaikkalajitellusta jätteestä valmistettu polttoaine, kierrätyspolttoaine
RES-E	uusiutuvilla energialähteillä tuotettu sähkö
R/P-suhde	fossiilisten polttoaineiden riittävyttä kuvaava varantojen ja tuotannon suhde (Resources/Production)

Yksiköt

loe	ekvivalenttinen öljylitra
toe	ekvivalenttinen öljytonni
Wh	wattitunti
J	Joule

k	kilo, $10^3 = 1\ 000$
M	mega, $10^6 = 1\ 000\ 000$
G	giga, $10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$
T	tera, $10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$
P	peta, $10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$

1 MWh = 3,6 GJ

1 Mtoe = 11,6 TWh

1 t biodieseliä = 0,9 toe

1 t etanolia = 0,64 toe

1. Lähtökohdat ja nykytilanne

EU:ssa eräs keskeinen energia- ja ympäristöpolitiikan tavoite on uusiutuvien energialähteiden käytön edistäminen erityisesti hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ja huoltovarmuuden parantamiseksi. Tärkein uusiutuva energiavara on biomassa, jota voidaan käyttää sekä sähkön ja lämmön tuotannossa että liikenteen polttoaineena. Tässä julkaisussa keskitytään biomassan hyödyntämiseen liikenteen polttoaineena.

EU:n komission uusiutuvia energialähteitä koskevassa valkoisessa kirjassa¹ vuodelta 1997 on asetettu tavoitteeksi uusiutuvien energialähteiden käytön kaksinkertaistaminen vuoden 1995 6 %:n tasosta 12 %:iin primäärienergiälähteiden kulutuksesta vuoteen 2010 mennessä. Valkoisen kirjan liitteessä esitetyn, eri uusiutuville energialähteille vuoteen 2010 laaditun skenaarion mukaisesti bioenergian käyttö kolminkertaistuisi, jolloin lisäbioenergian määrä olisi 90 Mtoe. Valkoinen kirja ei sisällä maakohtaisia tavoitteita eikä kuvausta varsinaisista primäärilähteistä. Pelto-, metsä- ja yhdyskuntajätepohjainen biomassa ovat lähes yhtä suuria lähteitä tavoitellulle lisäkäytölle.

EU:n komissio on vuonna 2000 julkaissut vihreän kirjan Euroopan energiahuoltostrategiasta². Vihreässä kirjassa todetaan lähtökohdana, että ilman toimenpiteitä EU:n riippuvuus tuontienergiasta saattaa seuraavien 20–30 vuoden kuluessa kasvaa nykyisestä 50 %:sta 70 %:iin. Vihreässä kirjassa on esitetty pitkän aikavälin energiastrategiasuunnitelma, jolla pyritään energian kysynnän suuntaamiseen hallitumpaan ja ympäristöä säästävempään kulutukseen. Tarjonnan suhteen etusijalle olisi asetettava ilmastonmuutoksen torjuminen. Muutoksen avainkohta on uusien ja uusiutuvien energiamuotojen kehittäminen.

Liikenteen osalta vihreässä kirjassa on asetettu tavoitteeksi saavuttaa vuonna 2020 liikenteen vaihtoehtoisilla polttoaineilla 20 %:n osuus tieliikenteen polttoainekulutuksesta. Komission tiedonannossa³ vaihtoehtoisista tieliikenteen polttoaineista on esitetty, että optimistisen kehitysskenaarion mukaisesti vaihtoehtoisten polttoaineiden osuudet polttoainekulutuksesta voisivat olla vuonna 2020 maakaasulle 10 %, biopolttoaineille 8 % ja vedylle 5 %.

¹ Euroopan komissio. Komission tiedonanto. Tulevaisuuden energia: uusiutuvat energialähteet. Yhteisön strategiaa ja toimintasuunnitelmaa koskeva valkoinen kirja. KOM/97/599 lopullinen. Bryssel 26.11.1997.

² Euroopan yhteisöjen komissio. Vihreä kirja – Energiahuoltostrategia Euroopalle. KOM (2000) 769 lopullinen. Bryssel 29.11.2000.

³ Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, talous- ja sosiaalikomitealle sekä alueiden komitealle vaihtoehtoisista tieliikenteen polttoaineista sekä toimenpiteistä biopolttoaineiden käytön edistämiseksi. KOM (2001) 547 lopullinen. Bryssel 7.11.2001.

Suomen osalta vuonna 2001 hyväksytty kansallinen ilmastostrategia ja sitä täydentävät uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma ja energiansäästöohjelma määrittävät nykyisen energiapolitiikan linjat. Ilmastostrategia laadittiin toimeenpanemaan Kioton pöytäkirjan tavoite kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisessa vuoden 1990 tasolle. Ilmastostrategian lähtökohtana on, että Kioton pöytäkirjan tavoite varaudutaan saavuttamaan mahdollisimman kustannustehokkaasti kotimaisin toimin. Keskeisiä tavoitteita ovat uusiutuvan energian tuotannon edistäminen sekä energian säästö. Ilmastostrategian uusimistyö on parhaillaan käynnissä. Tärkeimpänä syynä tähän on päästökauppadiirektiivi. (MMM 2004)

EU:ssa uusiutuvien energialähteiden hyödyntämiselle asetettuja tavoitteita ollaan toteuttamassa direktiivein, esim. sähkön tuotannon edistäminen uusiutuvista energialähteistä ja liikenteen biopolttoaineet.

EU:n direktiivi sähköntuotannon edistämisestä uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön sisämarkkinoilla⁴, ns. RES-E-direktiivi, annettiin vuonna 2001. Direktiivissä on annettu ohjeellinen kokonaistavoite, jonka mukaan vuoteen 2010 mennessä 22,1 % yhteisön kokonaissähkönkulutuksesta olisi uusiutuvista energialähteistä tuotettua sähköä. Suomen kansallinen ohjeellinen tavoiteosuus vuonna 2010 on 31,5 %. Työryhmän esityksessä uusiutuvan energian edistämishjelman päivitykseksi⁵ on asetettu Suomen tavoitteeksi direktiivissä esitetty ohjeellinen tavoite.

EU:n direktiivi liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä⁶ hyväksyttiin keväällä 2003. Direktiivissä esitetyn mukaisesti direktiivillä pyritään omalta osaltaan edistämään muun muassa seuraavien tavoitteiden saavuttamista: ilmastonmuutosta koskevien sitoumusten noudattaminen, ympäristöystävällinen huoltovarmuus ja uusiutuvien energialähteiden käytön edistäminen. Direktiivissä esitetään ohjeelliset tavoitteet liikenteen biopolttoaineiden hyödyntämiselle: vuonna 2005 biopolttoaineiden markkinaosuus energiasisällön perusteella laskettuna olisi vähintään 2 % kaikesta jäsenmaiden markkinoilla tieliikennekäyttöön myydystä bensiinistä ja dieselöljystä ja vuonna 2010 5,75 %.

Liikenteen biopolttoainedirektiivi ei aseta rajoituksia sen suhteen, saavutetaanko asetettu markkinaosuustavoite myymällä puhtaita biopolttoaineita vai sekoitetaanko niitä ta-

⁴ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2001/77/EY, annettu 27. päivänä syyskuuta 2001, sähköntuotannon edistämisestä uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön sisämarkkinoilla. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti L 283/33. 27.10.2001.

⁵ Uusiutuvan energian edistämishjelma 2003–2006. Työryhmän ehdotus. Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 5/2003. Energiaosasto.

⁶ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/30/EY liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä. Bryssel 8.5.2003.

vanomaisiin polttoaineisiin. Asetetuista viitearvoista voidaan kansallisesti poiketa. Viitearvoista poikkeaminen voi perustua esimerkiksi rajallisiin kansallisiin voimavaroihin tuottaa biopolttoaineita tai niiden kansallisten voimavarojen määrään, jotka on osoitettu biomassan käyttöön energian tuottamiseksi muuta kuin liikennettä varten. Jäsenvaltioiden on raportoitava komissiolle vuosittain etenemisestä, mm. toteutetuista toimenpiteistä ja biopolttoaineiden myynnistä. Vuonna 2004 jätetyssä raportissa jäsenmaiden oli ilmoitettava kansallinen ohjeellinen tavoite vuodelle 2005 ja vuonna 2007 jätettävässä raportissa vuoden 2010 tavoite. Työryhmän esityksessä uusiutuvan energian edistämishjelman päivitykseksi⁵ on alustavasti asetettu Suomen tavoitteeksi liikenteen biopolttoaineille 2 %:n osuus vuonna 2010.

Maamme autokanta on noin 2,7 miljoonaa autoa. Henkilöautoja on yhteensä noin 2,3 miljoonaa, ja dieselkäyttöisten henkilöautojen osuus on 12 %. Pakettiautoja on noin 250 000, kuorma-autoja 77 000 ja linja-autoja 10 000. Maakaasuautoja on noin 80, joista valtaosa busseja. Suomessa liikenteen polttoainekulutus on noin 3,75 Mtoe/a, josta bensiinin osuus on 1,85 Mtoe/a ja dieselin 1,9 Mtoe/a. Lisäksi työkoneissa käytetään polttoöljyä noin 0,5 Mtoe/a. Maakaasun osuus on vain 3 600 toe/a (0,1 %). Direktiivin tavoiteluvut olisivat polttoainekulutuksena 75 000 toe (2 %) ja 215 000 toe/a (5,75 %) laskettuna vuoden 2003 liikennepolttoaineiden kulutuksen perusteella.

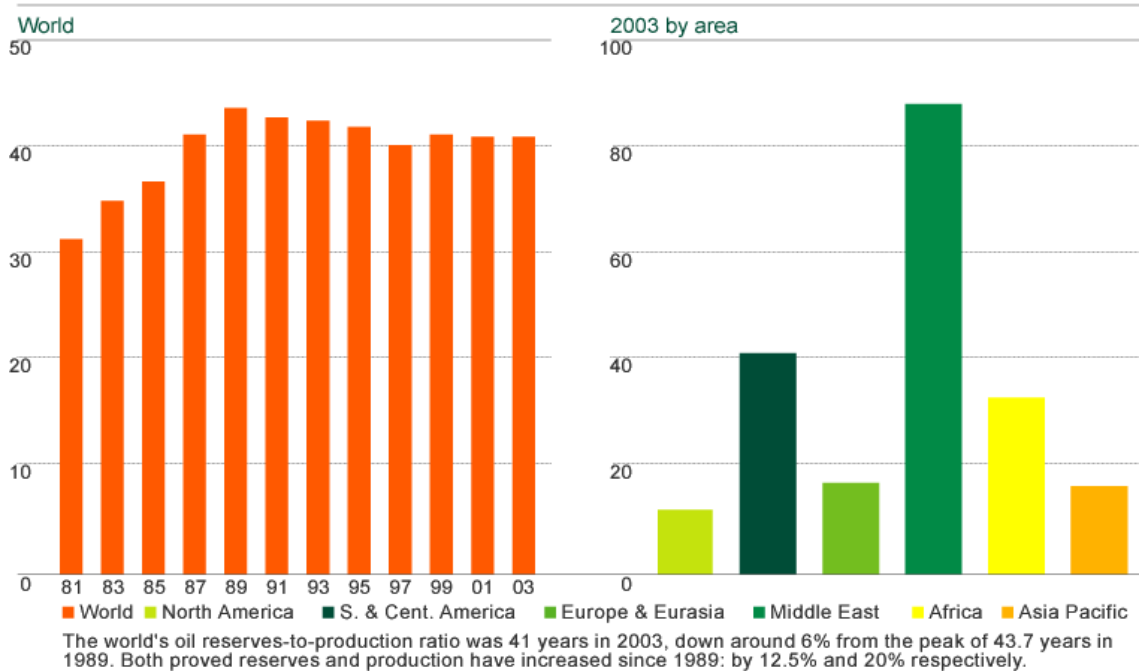
EU:ssa käynnistyy vuoden 2005 alussa kasvihuonekaasujen päästökauppa 13.10.2003 annetun direktiivin⁷ mukaisesti. Direktiivin tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä kustannustehokkaasti. Direktiivin piiriin kuuluvat keski- ja suurikokoiset energiantuotantolaitokset sekä tuntuva osa energiavaltaisesta prosessiteollisuudesta. Myöhemmin päästökauppa laajenee uusiin toimialoihin. Aluksi direktiivi koskee hiilidioksidipäästöjä, mutta on todennäköistä, että se myöhemmin laajennetaan kattamaan myös muita kasvihuonekaasupäästöjä (MMM 2004).

EU:n tavoitteet bioenergian hyödyntämisen lisäämiselle ovat kunnianhimoisia, ja biomassan saatavuus ja hinta saattavat olla tulevaisuudessa kansallisesti rajoittavia tekijöitä lisäkäytölle useammassakin maassa. Tavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan kaikkia biomassaraaka-ainevaihtoehtoja: metsä-, pelto- ja jätebiomassoja. Euroopan biomassavaroista on esitetty vaihtelevia arvioita. Suomi on yksi harvoista maista, joissa on tehty yksityiskohtaisia arvioita biomassavaroista huomioiden biomassan hankintakustannukset sekä tehdyt ja odotettavissa olevat investointipäätökset eri bioenergiasektorilla.

⁷ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/87/EY, annettu 13. päivänä lokakuuta 2003, kasvihuonekaasujen päästöoikeuksien kaupan järjestelmän toteuttamiseksi yhteisössä ja neuvoston direktiivin 96/61/EY muuttamiseksi. Euroopan unionin virallinen lehti L 275/32. 25.10.2003.

1.1 Fossiilisen öljyn hinta ja riittävyys

Fossiilisten polttoaineiden riittävyyttä voidaan arvioida varantojen ja tuotannon ns. R/P-suhteella (Resources/Production). Öljyn osalta luku on jo pitkään ollut noin 40, siis nykykulutuksella öljyä riittäisi tunnetuista öljyvaroista noin 40 vuodeksi (kuva 1).



Kuva 1. Öljyvarojen riittävyyden kehitys (tutkittujen öljyvarojen ja tuotannon suhde vuosina) (BP 2004).

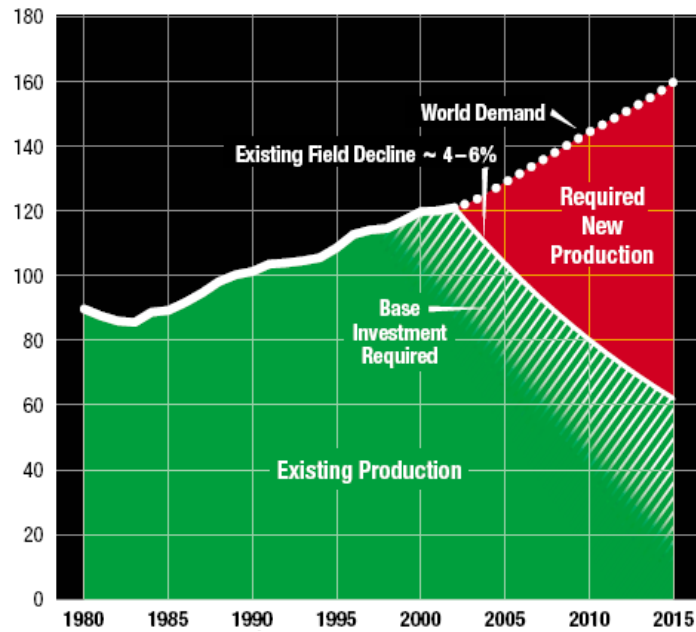
Helposti hyödynnettävät öljyvarat ovat maailmassa supistumassa samaan aikaan, kun esim. Kiinan öljynkulutus on voimakkaassa kasvussa. Nykyiset tuotantomäärät eivät todennäköisesti kasva enää merkittävästi tai kääntyvät loivaan laskuun. Piakkoin tarvitaan käyttöön uusia öljyn lähteitä, esimerkiksi raskaita öljylaatuja ja öljyhiekkoja, ja pidemmällä aikajänteellä nestemäisten polttoaineiden tuotantoa kivihielestä, joista tuotantokustannukset ovat merkittävästi korkeampia (kuva 2).

Nämä tekijät yhdessä johtavat siihen, että öljyn hintaan kohdistuu nousupaineita tulevina vuosikymmeninä. Tästä saatiin osoitus syyskuussa 2004, jolloin raakaöljyn hinta kävi lähellä 55 USD:a/barreli. 1970- ja 1980-lukujen ns. öljykriisien aikana öljyn reaalihintana oli nykyistä huomattavasti korkeammalla. Kuva 3 kuvaa raakaöljyn hintakehitystä ja IEA:n skenaariota hinnan tulevalle kehitykselle.

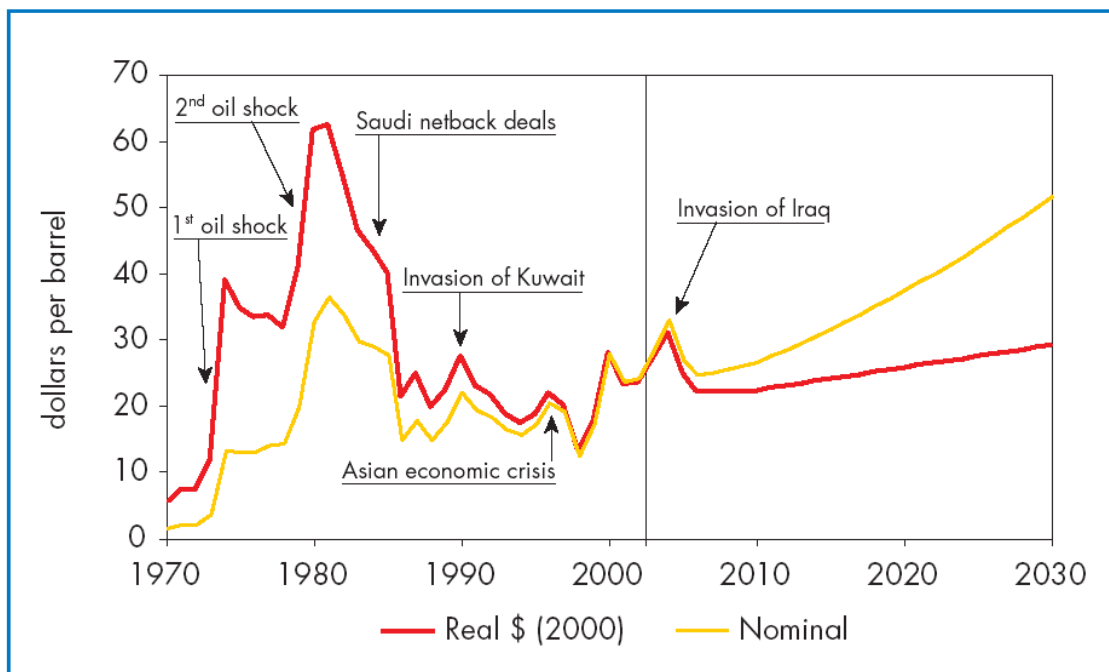
Kuva 4 esittää Campbellin (2004) näkemyksen maailman öljyntuotannon kehittymisestä. Campbellin mukaan maailman öljyntuotanto saavuttaa huippunsa jo vuonna 2008.

Supplying Oil and Gas Demand Will Require Major Investment

Millions of Barrels per Day of Oil Equivalent (MBOE)

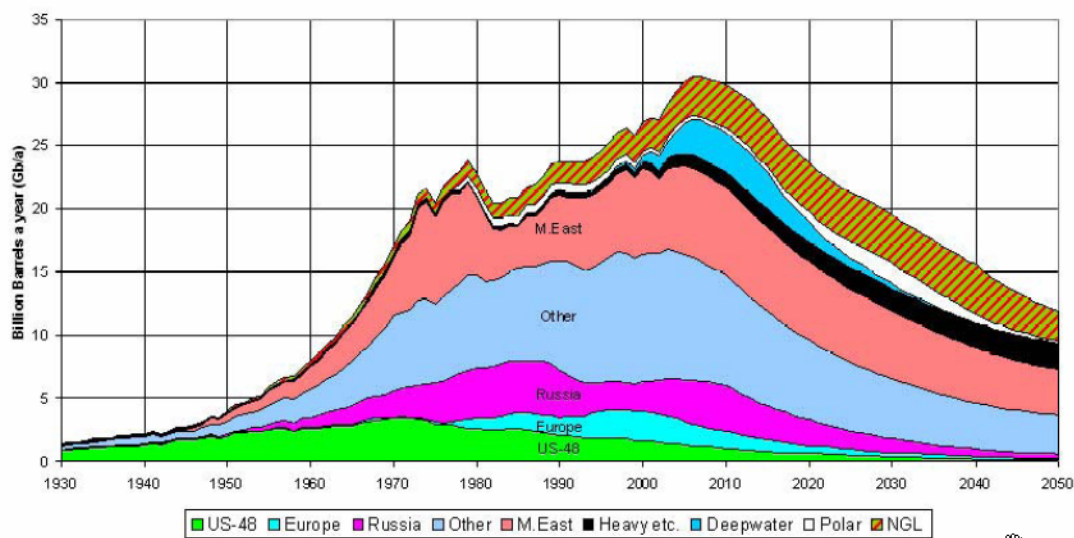


Kuva 2. Uusien öljynlähteiden tarve (ExxonMobil 2004).



Kuva 3. Raakaöljyn hinnan kehitys (IEA 2004).

OIL AND GAS LIQUIDS 2004 Scenario



Kuva 4. Skenaario maailman öljyn tuotannon kehittämisestä (Campbell 2004).

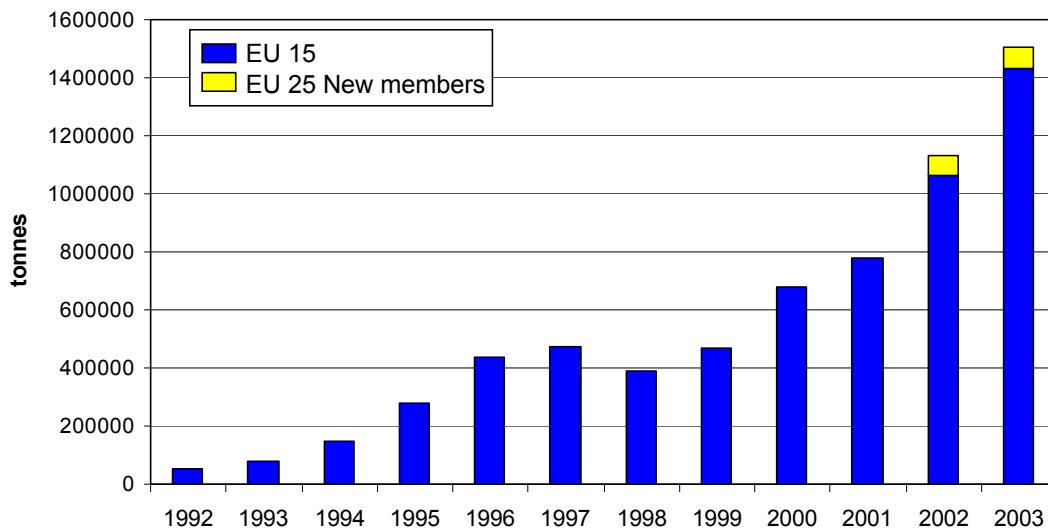
1.2 Liikenteen biopolttoaineiden nykyinen tuotanto ja käyttö EU:ssa

Nykyisin valmistetaan kaupallisesti viljelykasvipohjaista etanolia ja biodieseliä lähinnä Brasiliassa, Yhdysvalloissa ja joissakin EU-maissa. Brasiliassa, Yhdysvalloissa ja Ruotsissa pääasiallisesti käytettävä biopolttoaine on etanoli ja sen seokset fossiilisten polttoaineiden kanssa. Ranskassa ja Espanjassa etanoli käytetään bensiinin lisäainekomponentin, ETBE:n, raaka-aineena. Biodieseliä käytetään lähinnä Saksassa, Ranskassa ja Italiassa. Italiassa biodieseliä käytetään kuitenkin verotussyistä pääasiassa lämmityssektorilla. Joissakin maissa, esim. Ruotsissa, on tällä hetkellä tutkimus- ja demonstrointitoimintaa biokaasun käytöstä maakaasukäyttöisissä ajoneuvoissa. Nykyiset biopolttoaineiden käyttövaihtoehdot eivät ole taloudellisesti mahdollisia ilman viranomaisten tukitoimenpiteitä, kuten lähes täysimääräistä verotukea. Muiden biopoltonesteiden tuotantoprosessit eivät ole vielä kaupallisia. Päämielenkiinto on ollut eri syistä peltokasvipohjaisissa tuotteissa eikä puupohjaisten tuotteiden kehittämistä ole laajalti edistetty. Uusi, vuonna 2003 hyväksytty EU:n liikenteen biopolttoainedirektiivi on kuitenkin lisännyt voimakkaasti tutkimus- ja kehityspanostusta.

EurObserverin (Systèmes Solaires 2004) mukaan vuonna 2003 etanolin ja biodieselin tuotanto EU:ssa oli yhteensä noin 1,5 miljoonaa öljykvivalenttitonnia (EU15). Biodieselin tuotanto on kasvanut EU:ssa voimakkaasti viime vuosina. Tuotanto oli vuonna 2003 (kuva 5) EU25-alueella yhteensä noin 1,5 miljoonaa tonnia (1,35 Mtoe/a). Saksa on suurin tuottajamaa (kuva 6).

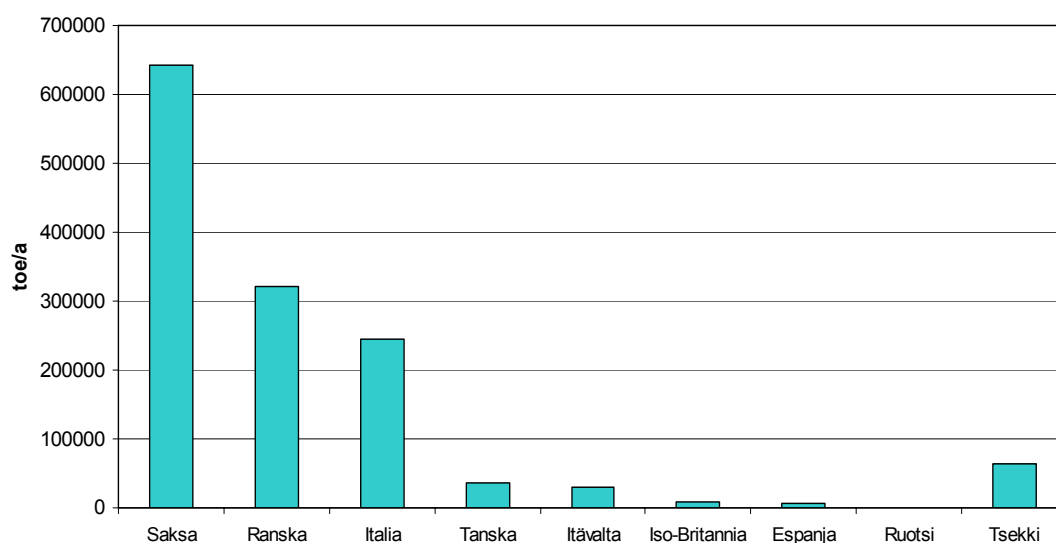
Polttoaine-etanolin tuotanto oli EU:ssa (EU25) vuonna 2003 (kuva 7) yhteensä noin 450 000 tonnia (290 000 toe/a). Tuotantoa on EU:ssa viidessä maassa: Espanjassa, Puolassa, Ranskassa, Ruotsissa ja Tšekissä (kuva 8). Espanja on suurin tuottajamaa. Raaka-aineena on käytetty vehnän ja ohran lisäksi EU:n ylijäämäviiniä (IFP 2004). Ruotsissa tuontietanoli kattoi suurimman osan polttoaine-etanolin kulutuksesta vuonna 2003⁸, etanolia tuotiin Norjasta, Espanjasta, Italiasta, Ranskasta ja Brasiliasta. Polttoaine-etanolin kulutus Ruotsissa oli 150 000 m³ (120 000 t, 76 000 toe). EurObserverin (Systèmes Solaires 2004) mukaan Puola olisi EU:n toiseksi suurin polttoaine-etanolin tuottaja, tuotantomääränä on tilastoissa ilmoitettu ETBE:n tuotannossa käytetty kotimainen etanoli.

Vuodelle 2010 liikenteen biopolttoainedirektiivissä esitetty 5,75 %:n ohjeellinen tavoite merkitsisi EU:ssa arviolta 17–18 Mtoe/a käyttömäärää.

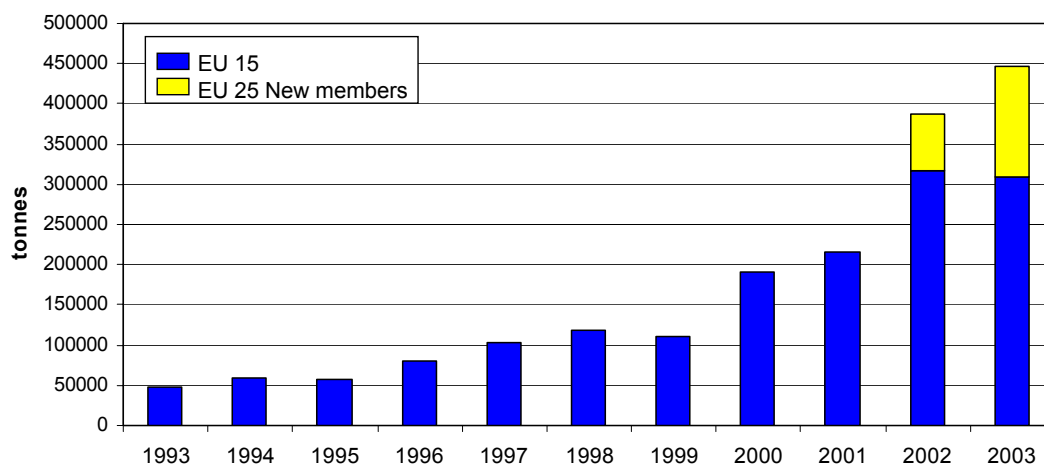


Kuva 5. Biodieselin tuotanto EU:ssa, vuodesta 2002 alkaen mukana myös uusien jäsenmaiden tuotanto, 1 tonni biodieselä = 0,9 öljyekvivalenttitonnia (Systèmes Solaires 2004).

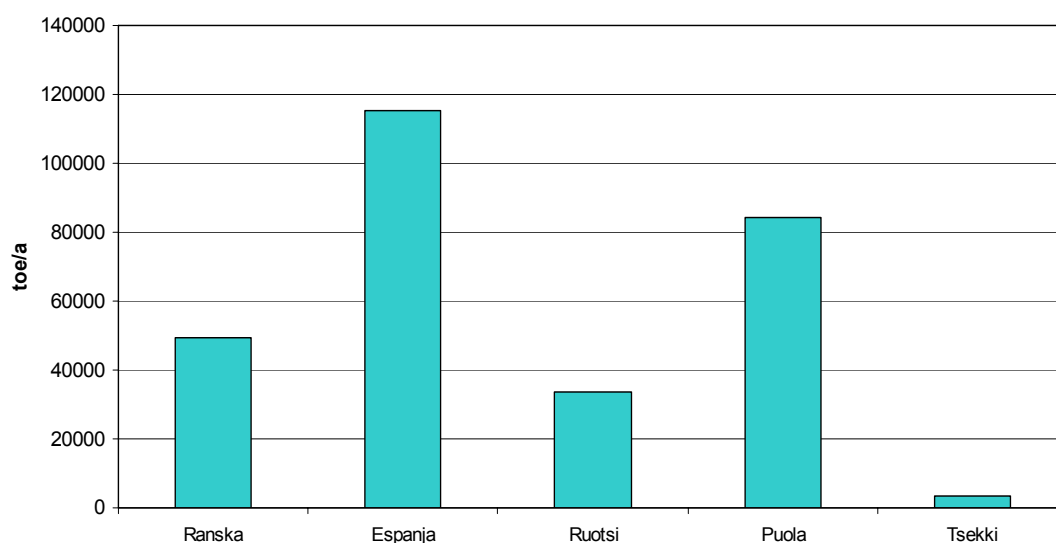
⁸ Report pursuant to Directive 2003/30/EC of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewables fuels. Memorandum of 18 June 2004 from the Energy, Forestry and Basic Industries Unit of the Swedish Ministry, Employment and Communications.
http://europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/biofuels_members_states_en.htm



Kuva 6. Biodieselin tuotanto EU:ssa maittäin vuonna 2003, 1 tonni biodieseliä = 0,9 öljykvivalenttitonnia (Systèmes Solaires 2004).



Kuva 7. Polttoaine-etanolin tuotanto EU:ssa, vuodesta 2002 alkaen mukana myös uusien jäsenmaiden tuotanto, 1 tonni etanolia = 0,64 öljykvivalenttitonnia (Systèmes Solaires 2004).



Kuva 8. Polttoaine-etanolin tuotanto EU:ssa maittäin vuonna 2003, 1 tonni etanolia = 0,64 öljykvivalenttitonnia (Systèmes Solaires 2004).

Suomessa eräät öljy-yhtiöt ovat kokeiluluonteisesti lisänneet etanolia bensiiniin enintään 5 tilavuusprosenttia. Etanolin osuudelle on annettu määräaikainen 30 snt:n/l polttoaineverohuojennus, joka päättyi 31.12.2004. Etanoli on hankittu Euroopan ja Brasilian markkinoilta. Lisäksi Suomessa on pienessä mittakaavassa kokeiltu biodieselin ja bio-kaasun valmistusta ja käyttöä liikenteen polttoaineena (muutamia autoja).

VTT:n vetämässä ns. Biofuture-hankkeessa on arvioitu EU:hun liikennepolttoaineeksi saatavilla olevat bioetanolivarat (taulukko 1).

Taulukko 1. Arvio EU:hun liikennepolttoaineeksi saatavista bioetanolivaroista.

Etanolivara	Mahdollinen määrä, m ³ /a	Hinta-arvio, €/l etanolia
Viinietanoli	< 400 000	< 0,35
Trooppinen etanoli	< 1 000 000	< 0,4 (tulli 0,1 €/l)
Eri etanolilaatujen spot-markkinat	< 100 000	< 0,45
Trooppinen etanoli, uudet laitokset esim. Thaimaassa	< 10 000 000	0,45–0,5 (tulli 0,1 €/l)
Etanoli viljoista tai sokerijuurikkaasta (Eurooppa)	joitakin miljoonia	0,5–0,55 (sivutuotteella täysi hinta)
Etanoli viljoista tai sokerijuurikkaasta (Eurooppa)	joitakin miljoonia	≥ 0,55 (sivutuotteen hinta alempi)
Etanoli puusta	< 1 000 000	≥ 0,55
Etanoli jätekuiduista (uusi konsepti)	> 1 000 000	0,35

Lähde: Östman. Kemiinformation AB for VTT 8.6.2004. 1 l etanolia = 0,61 l bensiiniekvivalenttia, 1 €/l etanolia = 1,6 €/l bensiiniekvivalenttia.

Kansalliset tukiratkaisut vaihtelevat EU:ssa, mikä on myös johtanut erilaisiin käyttöratkaisuihin. Erot johtuvat erilaisista poliittisista ja markkinalähtöisistä syistä. Tärkeimpänä ajavana voimana on ollut maatalouden tukeminen, lisäksi tukiratkaisujen takana on ollut ympäristönäkökohtia (esim. tieliikenteen häkä- ja hiilidioksidipäästöjen alentaminen) sekä paikallisen taloudellisen tilanteen parantaminen työpaikkojen lisääntymisen myötä (Stevens ym. 2001). Taulukoihin 2 ja 3 on koottu eri lähteistä nykyisiä verohelpotuksia biodieselille ja etanolille EU:ssa.

Vuoden 2004 alusta voimaan tulleen energiaverodirektiivin (2003/96/EY) mukaan bioperäiset polttoaineet on lähtökohtaisesti verotettava samalla tavalla kuin mineraaliöljyperäinen energiatuote (ns. korvaavuusperiaate). Jäsenvaltioilla on kuitenkin halutessaan mahdollisuus myöntää verottomuus tai veronalennus bioperäisille polttoaineille. Verotukien myöntämistä rajoittavat kuitenkin verosyrjäntäkielto, ylikompensaatiokiello sekä valtion tukia koskevat säännökset. (MMM 2004)

Taulukko 2. Biodieselin verohelpotukset EU:ssa (lähteet Fortum, Systèmes Solaires 2004, maiden ensimmäiset kertomukset liikenteen biopolttoainedirektiivistä⁹).

Maa	Vero- huojennus, €/1000 l	Vero- huojennus	Käyttö	Kommentit
Iso-Britannia	324,0	43,7 %	Seokset ≤ 5 %	2002–2007, kunnallinen liikenne 100 %
Saksa	470,0	100 %	Puhtaana tai seokset ≤ 5 %	
Itävalta	289,6	100 %	Puhtaana tai seokset ≤ 3 % (2 % verovapaana)	
Ranska	376,4	100 %	B5 ja B30 fleet-käyttö	kiintiö 317 500 t
Italia	403,2	100 %	Puhtaana ja käyttö lämmitysöljynä	kiintiö 300 000 t
Ruotsi	346,6	100 %	Puhtaana ja B2- seoksena	
Tsekki	316	100 %	B31	tuotantotuki polttoainei- den tuottajille 302 €/t RME, kiintiö 100 000 t/a

Taulukko 3. Bioetanolin verohelpotukset EU:ssa (Berg 2004, UFOP 2004, maiden ensimmäiset kertomukset liikenteen biopolttoainedirektiivistä⁹).

Maa	Vero- huojennus, €/1000 l	Verohuojen- nus, %	Käyttö	Kommentit
Espanja	420	100	ETBE, EtOH seoksena	10 vuotta kullekin laitokselle (1.1.2004 alkaen suoralle seos- käytölle)
Saksa	650	100	ETBE, EtOH seoksena	1.1.2004–1.1.2010
Ruotsi	520	100	E85	1.1.2004–1.1.2008
Ranska	370	60	ETBE, EtOH seoksena	1.1.2004–1.1.2011 (1.1.2004 alkaen sekä ETBE että ETOH)
Suomi	300	51		Päättyy 31.12.2004
Iso-Britannia	290	39		1.1.2005–1.1.2011

⁹ http://europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/biofuels_members_states_en.htm

EU:n jäsenmaiden on jätettävä komissiolle ensimmäisen liikenteen biopolttoainedirektiivin toimeentulon jälkeen annettava kertomus vuonna 2004, määräaika oli 1.7.2004. Kertomuksessa on ilmoitettava ensimmäistä vaihetta koskevat ohjeelliset kansalliset tavoitteet. Taulukkoon 4 on koottu eri maiden esittämiä kansallisia ohjeellisia tavoitteita.

Kansalliset ohjeelliset tavoitteet vaihtelevat. Tanskassa on päädytty ohjeelliseen tavoitteeseen nolla vuodelle 2005. Biomassan hyödyntämistä liikenteen polttoaineena ei pidetä kustannustehokkaana kasvihuonekaasujen vähentämiskeinona, ja Tanska asettaa etusijalle biomassan hyödyntämisen sähkön ja lämmön tuotannossa. Liikenteen biopolttoaineiden tuotantoteknologioiden tutkimus- ja kehitystyötä sekä markkinoiden mahdollisia muutoksia seurataan tulevana vuosina ja muutoksiin reagoidaan tarvittaessa. Tanskassa tuotetaan biodieseliä vientiin Saksan markkinoille (n. 40 000 t/a).

Taulukko 4. EU:n jäsenmaiden esittämiä ohjeellisia tavoitteita liikenteen biopolttoaineiden osuudeksi liikenteen polttoaineista¹⁰.

Maa	Kansallinen ohjeellinen tavoite vuodelle 2005*
Alankomaat	Vuodelle 2005 nolla, vuodesta 2006 alkaen 2 %
Iso-Britannia	Vuodelle 2005 0,3 %
Itävalta	1.4.2005 → 2,5 % 1.4.2007 → 4,3 % 1.4.2008 → 5,75 %
Ruotsi	Ehdotus vuoden 2005 tavoitteeksi 3 %, lopullinen tavoite vahvistetaan syksyn aikana
Saksa	Vuodelle 2005 2 %
Tanska	Vuodelle 2005 nolla
Tseki	Biodieselin osuus dieselin myynnistä: 2,75 % v. 2006, 3,1 % v. 2010 Etanolin osuus bensiinin myynnistä: 5,2 % v. 2006, 6,6 % v. 2010

* Direktiivin mukaan ensimmäisessä kertomuksessa esitettävä kansallinen ohjeellinen tavoite vuodelle 2005, osa maista esittänyt tavoitteet pidemmälle ajalle.

¹⁰ http://europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/biofuels_members_states_en.htm

1.3 Peltopohjaisten raaka-aineiden viljelymahdollisuuksista Suomessa

Teknisesti olisi mahdollista rakentaa Suomeen peltopohjaisiin raaka-aineisiin perustuvat uudet etanoli- tai biodieseltehtaat. Suomessa voitaisiin kesantopeltoja hyödyntäen tuottaa joko viljaetanolia tai RME:tä. Tuotantomääriä rajoittaa suurien tukitarpeiden lisäksi viljelytekniset rajoitukset, esim. rypsin vuoroviljely. Viljelyalojen perusteella arvioituna tuotanto voisi olla 50 000–100 000 toe/a. Peltokasvien tuotantokustannukset ovat Suomessa Euroopan korkeimpia. Maataloustuella rypsinsementen ja viljojen kauppa kuitenkin tapahtuu maailmanmarkkinahinnoin. Etanoli- tai biodieseltehtaissa ei käytettäisi vain kotimaista raaka-ainetta, vaan todennäköisesti pääosa tuotannosta perustuisi kansainvälisiltä markkinoilta ostettuun raaka-aineeseen. Esimerkiksi polttoaineverohuojennuksia ei voida rajoittaa koskemaan vain kotimaista alkuperää olevia tuotteita (EY:n verosyrjintäkielto).

Maatalouden strategiaproessin yhteydessä Suomessa valmisteltiin öljykasvien osalta sektorikohtainen strategia vuosille 2002–2010 (MMM 2003). Energiasäästöohjelman ja uusiutuvan energian edistämishjelman 2003–2006 toteutus- ja seurantaryhmän asettaman ”peltobiomassa, liikenteen biopoltonesteet ja biokaasu” -jaoston ensimmäinen väliraportti ilmestyi 10.9.2004 (MMM 2004). Väliraportissa on esitetty aihealueen taustaa sekä peltobiomassan, liikenteen biopoltonesteiden ja biokaasun tuotannon reunaehdot. Lisäksi työryhmä on tehnyt ehdotuksia siitä, miten näiden energiamuotojen tuotantoa ja käyttöä voitaisiin edistää. Seuraavassa on esitetty yhteenvetoa näistä kahdesta raportista (MMM 2003, 2004).

Suomessa öljykasveista viljellään lähinnä kevätrypsiä. Vuonna 2002 Suomessa tuotettiin rypsiä ja rapsia 102 800 tonnia. Suomessa toimii tällä hetkellä kaksi suurta öljynpuristamoaa, Raisio Yhtymän ja Mildola Oy:n. Lisäksi toimii useita paikallispuristamoita. Puristamoiden yhteenlaskettu vuosikapasiteetti on noin 320 000 tonnia siementä. Viime vuosina puristumäärät ovat olleet noin 300 000 tonnia, joista 50 % soijapapua ja 50 % rypsiä tai rapsia. Tuontiraaka-aineen osuus on ollut 75 %. Öljynpuristusteollisuuden lopputuotteet, kasviöljy ja kasvivalkuaisrehu, menevät pääosin raaka-aineeksi rehu- ja elintarviketeollisuudelle. (MMM 2003)

Kotimainen öljynpuristusteollisuus joutuu nykyään tuomaan suuren osan rypsin- ja rapsin tarpeestaan ulkomailta. Öljykasvistrategian (MMM 2003) mukaan suomalaisen öljykasvi-tuotannon perusongelma onkin tällä hetkellä se, kuinka elintarviketeollisuuden raaka-aineen kotimaisuusastetta voidaan korottaa. Suomessa öljykasvien aiempaa laajempaa viljelyä puolustaisivat mm. huoltovarmuusnäkökohdat ja viljelykierron monipuolistaminen.

Jotta biodieselin tuotannolla olisi kaupallista merkitystä liikenteen biopolttoainedirektiivin kannalta, tarvittavat viljelypinta-alat nousisivat huomattavan suuriksi. Öljykasvistrategian

(MMM 2003) mukaan laajamittaisen tuotannon sivutuotteena syntyvällä kasvivalkuaisella voisi olla merkitystä valkuaisrehuvajeen korvaamisessa ja huoltovarmuudessa. Suomi on eläinrehuna käytettävän täydennysvalkuaisen alituotantomaa, kuten koko EU:kin. EU:n komissio toteaa, että lihaluujauhon käyttökiellosta aiheutuva valkuaisvaje on edullista kattaa pääasiassa soijan lisätuonnilla. Tarvittava määrä on helposti saatavilla maailmanmarkkinoilta. Loput vajeesta voidaan kattaa lisäämällä viljan osuutta rehuissa.

Suomessa Altia Oyj tuottaa yksinomaan maatalousperäistä etanolia 25 miljoonaa litraa vuodessa. Alkoholiteollisuus käyttää tämän valmistamiseen 5 % koko viljasadosta, mikä vastaa 32 000 hehtaarin viljelyalaa. Tuotannosta noin puolet käytetään alkoholijuomien ja loppu teollisuustuotteiden valmistukseen. (MMM 2004)

Peltopohjaisten biopolttoaineiden tuotannon kannattavuuteen vaikuttavat merkittävästi viljeltävien kasvien saamat tuotantotuet, jotka vaikuttavat suoraan näiden kasvien viljelystä saataviin tuloihin ja edelleen kasvin kilpailukykyyn verrattuna muihin viljelykasveihin. (MMM 2004)

Maataloustuotannon nykyinen tukijärjestelmä Suomessa jakaantuu kolmenlaisiin tukiin: EU:n kokonaan rahoittamiin tukiin, EU:n osin rahoittamiin tukiin sekä kokonaan kansallisin varoin rahoitettaviin tukiin. Tärkein käytössä olevista Euroopan unionin kokonaan rahoittamista tukimuodoista on CAP-tuki. Vuoden 2006 alusta Suomessa voimaan astuvan tilatukiuudistuksen seurauksena tilanne EU-tukien saannissa muuttuu oleellisesti. Tuotannon harjoittamisvaatimus tuen saamisen ehtona poistuu. Tuen saadakseen viljelijän tulee jatkossa täyttää tietyt perusvaatimukset, joihin kuuluvat mm. viljelylohkon viljelykunnan ylläpito sekä tiettyjen ympäristönhoitomääräysten noudattaminen. Viljelykasvin viljelijä voi valita suhteellisen vapaasti. Tukeen liittyy velvoitekesannointi. EU:n osittain rahoittamia tukia ovat luonnonhaittakorvaus (LFA) sekä maatalouden ympäristötuki. Kansalliset tuet maksetaan kokonaan kansallisista varoista, mutta niiden tukijärjestelmille ja maksuperusteille on haettava hyväksyntä Euroopan unionilta ennen tukijärjestelmän täytäntöönpanoa. Maataloustuotannolle maksettavia kansallisia tukia ovat mm. pohjoinen hehtaarituki, yleinen hehtaarituki ja nuorten viljelijöiden tuki. Tuet ovat yksikkökohtaisia, ne siis maksetaan tietyn suuruisina tuotantohehtaaria kohden. (MMM 2004)

Energiakasvien tuotannolle on vuoden 2004 alusta alkaen maksettu pinta-alaperusteista lisätukea 45 euroa/ha, ja EU:n maksimituotantoalaksi on asetettu 1,5 milj. hehtaaria. Tukea maksetaan vain tuotannolle, josta on tehty sopimus energiantuotantolaitoksen kanssa. Lisätuen ja pienemmän laaturiskin vuoksi öljykasvien tuotanto energiatarkoituksiin voisi olla viljelijälle houkuttelevampi vaihtoehto kuin viljely elintarvikekäyttöön. Mikäli öljykasveille avautuu Suomessa laajempia markkinoita esimerkiksi biodieselin tuotannossa, saattaa tuotanto elintarvikekäyttöön vaarantua. (MMM 2003, 2004)

1.4 Ajoneuvojen hiilidioksidipäästöjen alentaminen ja päästömääräysten kehittyminen

Ajoneuvojen hiilidioksidipäästöihin voidaan vaikuttaa ajoneuvo- ja moottoritekniikan sekä polttoaineiden avulla. Selkein esimerkki on bensiini- ja dieselkäyttöisten henkilöautojen vertailu. Dieselmoottorin hyötysuhde on selvästi bensiinimoottorin hyötysuhdetta parempi, varsinkin osakuormalla ajettaessa. Tämä näkyy siten, että sekalaisessa ajossa dieselautojen litramääräinen polttoaineen kulutus on 20–30 % pienempi bensiini-autoihin verrattuna (energian kulutuksena laskettuna n. 18–27 % pienempi).

Ajoneuvon koko ja moottoriteho vaikuttavat niin ikään polttoaineen kulutukseen. Tietyn mallisarjan sisällä pienimmällä moottorilla varustettu on usein taloudellisin, joskin poikkeuksiakin löytyy. Yleistäen voidaan sanoa, että henkilöautojen osalta auton järkevällä valinnalla (koko, moottorityyppi, moottorin koko) voidaan vaikuttaa enemmän hiilidioksidipäästöihin kuin polttoainevalinnoilla. Tämä pätee erityisesti seoksina käytettäviin biopolttoaineisiin. Haittapuolena kalustoon vaikuttamisella on kuitenkin se, että autokalusto uudistuu varsin hitaasti, yli 10 vuodessa.

Tietyissä Keski-Euroopan maissa dieselautojen osuus uusien henkilöautojen myynnistä on jopa yli 50 %. Suomessa verotuksen rakenne ei suosi dieselhenkilöautoja. Dieselhenkilöautojen osuus vuoden 2003 rekisteröinneistä oli noin 15 %¹¹.

Komissio ja Euroopan autonvalmistajat (ACEA) ovat sopineet henkilöautojen CO₂-päästöjen vähentämisestä vapaaehtoiselta pohjalta. Vuonna 2008 uusien henkilöautojen CO₂-päästön pitäisi olla keskimäärin 140 g/km (1999/125/EC). Litramääräisenä kulutuksena tämä vastaa arvoa 6 l/100 bensiinille ja 5,3 l/100 km dieselille. Vuoteen 2012 mennessä tavoitellaan tasoa 120 g/km.

Kuvassa 9 on Hondan näkemys ajoneuvojen voimalaitetekniikan kehittymisestä. Tavanomaisessa polttomoottorissa on vielä merkittävää kehityspotentiaalia. Hybriditekniikka tekee tuloaan. Polttokennoautot voivat mahdollisesti yleistyä vuoden 2020 jälkeen (Knight 2004).

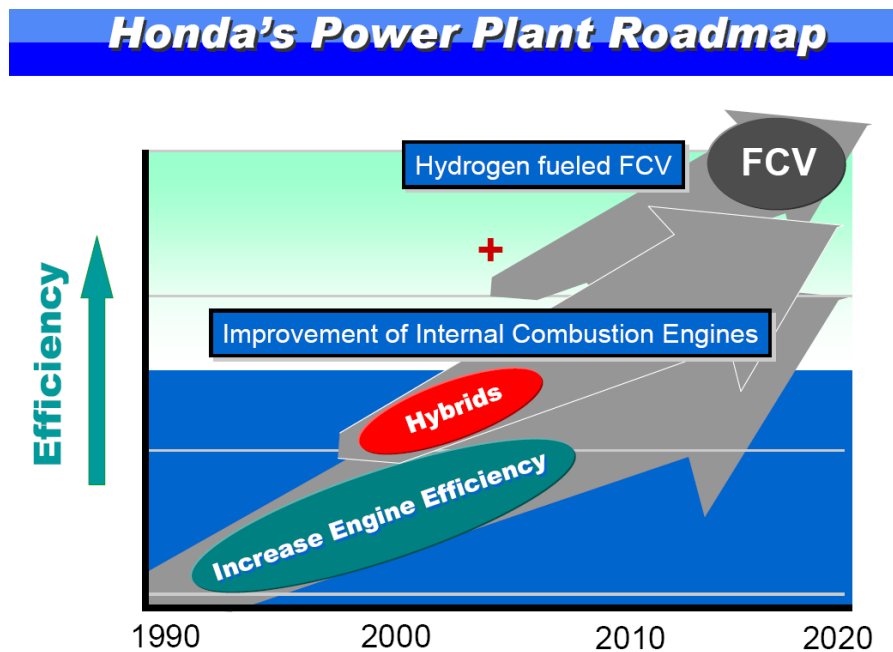
Hybridiautossa polttomoottori voidaan mitoittaa normaalia pienemmäksi. Sähköinen järjestelmä antaa lisätehoa kiihdytyksissä ja mahdollistaa lisäksi jarrutusenergian osittaisen talteenoton. Hybriditekniikan osalta Toyota ja Honda ovat olleet edelläkävijöitä. Suomessakin on markkinoilla Toyota Prius, jonka yhdistetty normikulutus on 4,3 l/100 km, kun vastaavan tavanomaisen bensiiniauton kulutus on noin 7 l/100 km¹². Prius

¹¹ <http://www.oil-gas.fi/upload/kaaviot/289,1>, Dieselhenkilöautojen osuus uusista henkilöautoista.

¹² <http://www.motiva.fi/fi/autotietokanta/>

edustaa melko monimutkaista tekniikkaa, joka mahdollistaa ajon myös pelkällä sähköllä. Valtalinja tulee kuitenkin olemaan ns. ”Minimal Hybrid” tai ”Integrated Starter-Generator” -tekniikka, joka tuo lisävoimaa kiihdytystilanteisiin, muttei mahdollista ajoa pelkällä sähköllä. Tälle linjalle ovat lähdössä mm. Ford ja General Motors. General Motors on tuomassa hybriditekniikkaa myös kaupunkibussien voimansiirtoratkaisuihin.

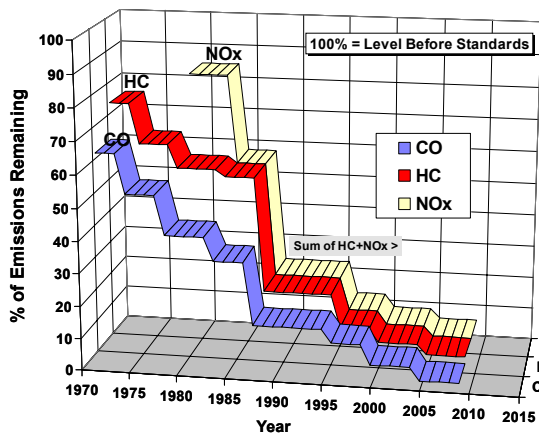
Dieselmoottori yhdistettynä hybriditekniikkaan tarjoaa vähintäänkin yhtä energiatehokkaan voimalaiteratkaisun kuin tulevaisuuden lupaukseksi nimetty polttokennotekniikka.



Kuva 9. Voimalaitetekniikan kehittyminen (Knight 2004).

Kuvassa 10 on esitetty eurooppalaisten päästömääräysten kehittyminen bensiinihenkilöautojen ja raskaan dieselkaluston osalta. Kuvasta on helppo havaita, että vuonna 2005 voimaan tulevat päästömääräykset merkitsevät varsinkin bensiinimootoreille lähestulkoon 0-päästötasoa rajoittamattomaan tilanteeseen verrattuna.

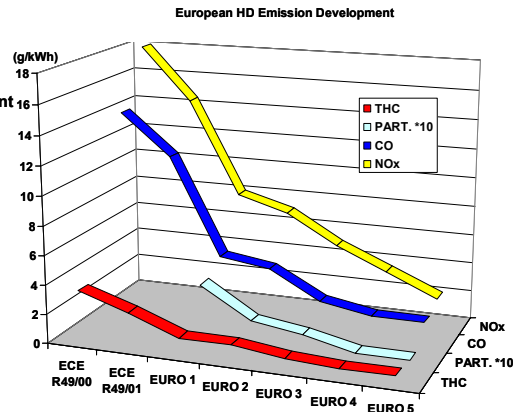
Euroopassa bensiini- ja dieselhenkilöautoille on käytössä eri päästörajat. Perustelu tälle lienee se, että halutaan mahdollistaa energiatehokkaiden dieselhenkilöautojen käyttö. Yhdysvalloissa on voimassa samat päästörajat sekä bensiini- että dieselkäyttöisille henkilöautoille, ja tämän seurauksena dieselhenkilöautojen myynti on Yhdysvalloissa käytännössä nolla.



Euro 3: 2000
 Euro 4: 2005
 Euro 5: 2008 (raskas kalusto)

Henkilöautot

Raskaat ajoneuvot



Kuva 10. Eurooppalaisten päästörajojen kehittyminen.

Dieselhenkilöautojen pakokaasujen vähentämisessä on tapahtunut merkittävää edistymistä. Euro 4 -määräysten tullessa voimaan lähes kaikki valmistajat tuonevat markkinoille hiukkassuodattimet. Saksan Umweltbundesamtin (UBA) näkemyksen mukaan dieselhenkilöautojen hiukkasongelma saadaan kuriin hiukkassuodattimien avulla, ja UBA onkin ottanut käyttöön dieselautoja virka-ajoon¹³.

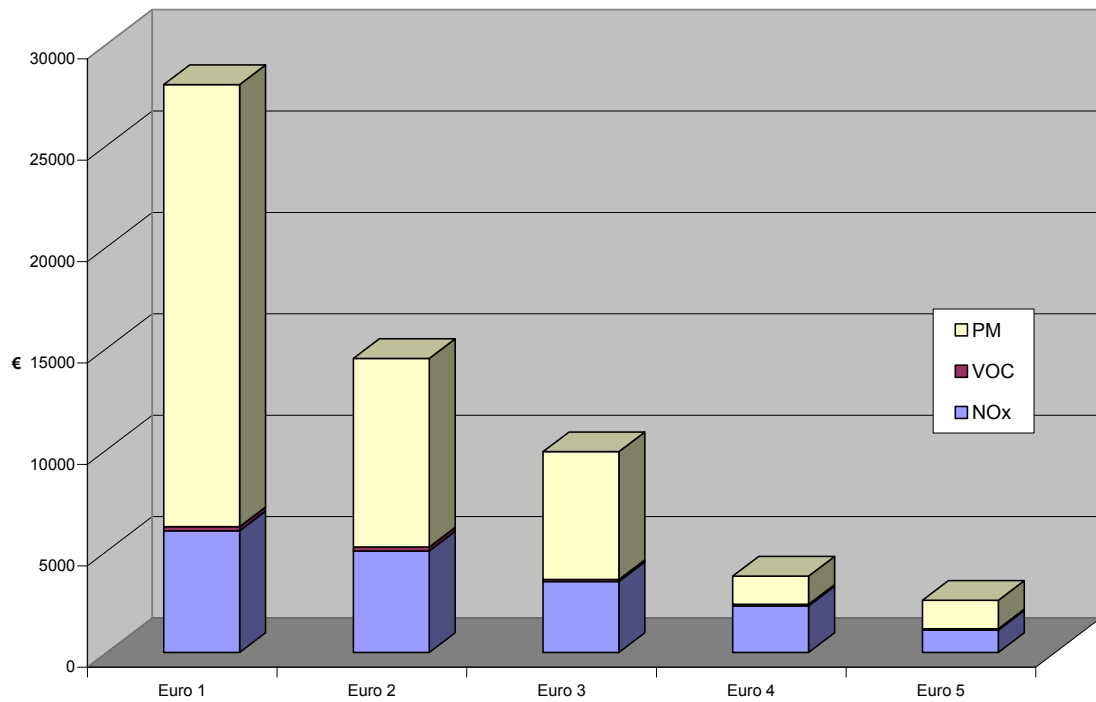
Raskaiden ajoneuvojen osalta tulevat määräykset edellyttävät joko SCR-katalysointitekniikan (Selective Catalytic Reduction, vähentää typen oksidien päästöjä) tai hiukkassuodattimen ja pakokaasujen takaisinkierrätyksen yhdistelmän käyttöä. Yhdysvalloissa raskaalle kalustolle otetaan käyttöön vielä Eurooppaakin ankarammat päästörajat.

Taajamailman laadun kannalta hiukkaset ja typen oksidit ovat haitallisimmat päästökomponentit. EU:n Joule III -tutkimusohjelmaan kuuluneessa ExternE-projektissa arvioitiin päästöjä. Bensiinihenkilöauton osalta päästöjen ulkoisiksi kustannuksiksi arvioitiin vuonna 1996 0,005–0,051 €/km ja dieselhenkilöautojen kustannuksiksi 0,02–0,375 €/km¹⁴. Tuolloin dieselhenkilöautoissa ei käytetty hiukkassuodattimia.

¹³ <http://www.umweltdaten.de/uba-info-presse/pi/pd08403.pdf>

¹⁴ <http://externe.jrc.es/trans.pdf>

Myös Ruotsissa on arvioitu päästöjä. Kuvassa 11 on Vägverketin arvio bussien ympäristökustannuksista vuositasolla Tukholman liikenteessä päästöluokan funktiona. Vuotuiseksi ajomatkaksi on arvioitu 60 000 km. Kuvasta nähdään, että varsinkin hiukkaspäästöjä pitäisi vähentää haittakustannusten alentamiseksi.

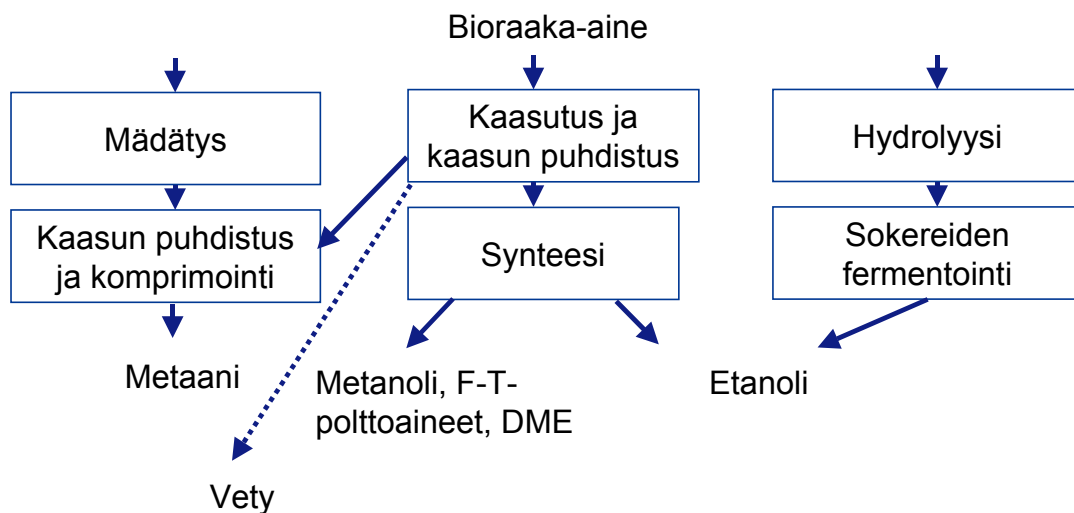


Kuva 11. Bussien ympäristökustannukset Tukholmassa vuositasolla. Ruotsin Vägverketin käyttämät yksikkökustannukset. Ajomatka 60 000 km/a. (Nylund 2002)

2. Biopolttoaineiden tuotantotekniikat

Bioraaka-aineista voidaan kaupallisesti valmistaa eri liikennepolttoaineita: kasviöljypohjaista biodieseliä (FAME), etanolia sekä biokaasuja. Kehitys- ja tutkimusvaiheessa ovat metanolin ja synteettisten polttoaineiden, kuten Fischer–Tropsch-polttoaineiden, valmistus biomassasta sekä etanolin valmistus lignoselluloosapohjaisesta biomassasta (olki, puu). Lisäksi on ollut esillä muita vaihtoehtoja, kuten mäntyöljypohjaiset tuotteet (mäntyöljyn esterit) ja biokomponentit, jotka jalostettaisiin pyrolyysitekniikalla tuotetusta bioöljystä. Kuvassa 12 esitetään liikenteen biopolttoaineiden uusien tuotantotekniikoiden perusvaihtoehdot. Alkoholit (metanoli ja etanoli) voidaan jalostaa edelleen eettereiksi (esim. MTBE ja ETBE), joita käytetään yleisesti polttoaineiden lisäaineina ns. oksygenaatteina. Eettereiden tuotanto on kaupallista tekniikkaa.

Kaupalliset: biodiesel (RME) ja viljaetanoli



Kuva 12. Kehitteillä olevat tekniikat liikenteen biopolttoaineiden tuottamiseksi.

2.1 Biodiesel

Kasviöljyt eivät sovi sellaisenaan nykyisten ajoneuvojen polttoaineeksi. Kasviöljyt vaihtoesteröidään alkoholin kanssa viskositeetin ja kylmäominaisuuksien säätämiseksi dieselkäyttöön soveltuvaksi. Yleensä vaihtoesteröintiin käytetään metanolia, jolloin kasviöljyjen rasvahapot ja metanoli reagoivat muodostaen rasvahappojen metyyliesteireitä (FAME), ns. biodieseliä, sekä glyserolia.

Biodieseliä voidaan valmistaa monista raaka-aineista. Yleisin raaka-aine on rypsi tai rapsi, muita raaka-aineita ovat auringonkukkaöljy sekä erityisesti Yhdysvalloissa soija-

öljy. Euroopassa noin 95 % biodieselistä tuotetaan rypsiä tai rapsista (Körbitz ym. 2003). Suomessa kasviöljypohjaisen biodieselin kotimainen pääraaka-aine olisi rypsi (tuotteena RME, rypsimetyyliesteri). Uusimmissa tuotantolaitoksissa Euroopassa hyödynnetään raaka-aineena myös ravintoloiden ja elintarviketeollisuuden käytettyjä kasviöljyjä, lisäksi tarkastellaan mahdollisuuksia eläinrasvojen hyödyntämiseen raaka-aineena. Näiden raaka-aineiden saatavuus on kuitenkin hyvin rajallinen polttoainemarkkinaan nähden.

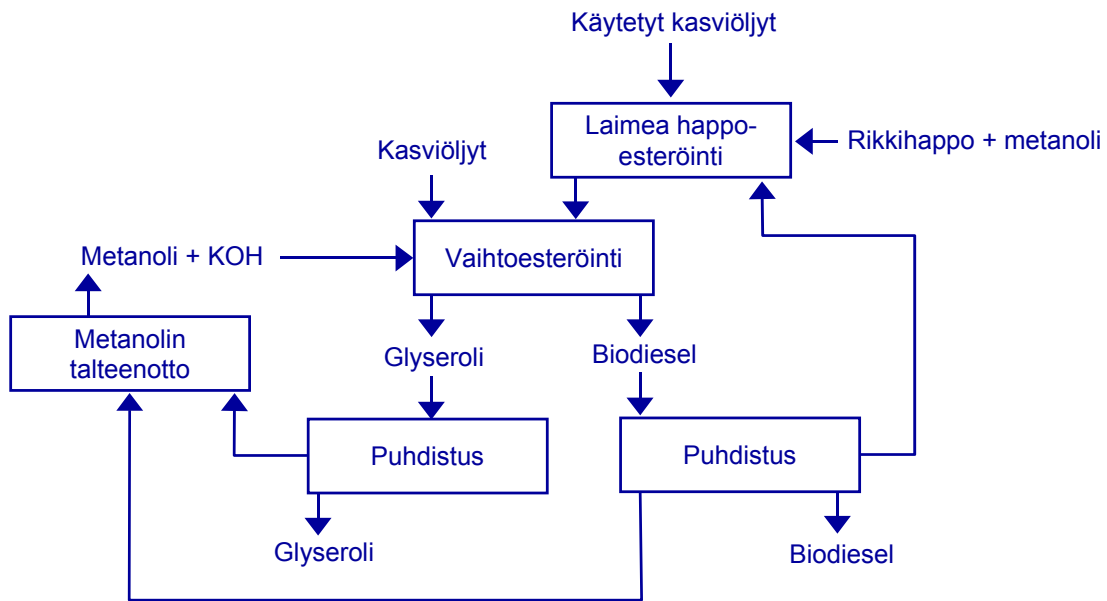
Rypsi tai rapsi soveltuu öljykasveista parhaiten Euroopassa viljeltäväksi, ja toisaalta rypsi- tai rapsiöljystä valmistettu biodiesel täyttää parhaiten eurooppalaisen biodieselnormin EN 14214 raja-arvot. Auringonkukka- ja soiijaöljyistä valmistetuilla biodieseleillä rajoittavana ominaisuutena on usein jodiarvo (Yhdysvalloissa käytettävässä standardissa ei rajoiteta jodiarvoa) ja palmuöljystä valmistetulla kylmäkäyttöominaisuudet (CFPP, Cold Filter Plugging Point), joten näitä öljyjä käytetään Euroopan tuotantolaitoksissa vain seostettuna muihin raaka-aineisiin. Valmistettaessa biodieseliä käytetyistä kasviöljyistä vaaditaan huolelliset ja puhtaat kierrätyskäytännöt, jotta lopputuote täyttää biodieselnormin raja-arvot. (Körbitz ym. 2003)

Rypsimetyyliesterin valmistuksessa siemenet puristetaan ensin mekaanisesti, jolloin saadaan raakarypsiöljyä sekä valkuaispitoiseksi eläinrehuksi kelpaavaa kiinteää jäännöstä eli rypsirouhetta. Kuumapuristuksella saadaan kylmäpuristusta hieman korkeampi öljysaanto. Kiinteä jäännös voidaan vielä uuttaa liuottimilla, esim. heksaanilla, jolloin öljysaanto paranee. Rypsimetyyliesteriä saadaan esteröimällä raakarypsiöljy metanolilla (kuva 13). Sivutuotteena syntyy glyserolia. Suomessa rypsin siementen keskimääräinen saanto on noin 1,75 t/ha, joka vastaisi rypsimetyyliesterin saantoa noin 0,61 t RME/ha.

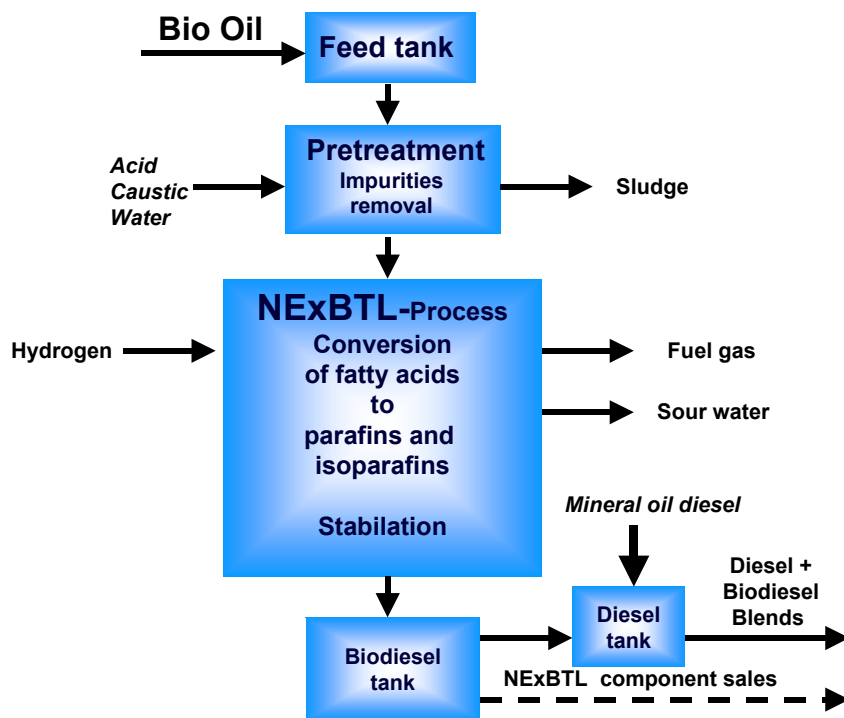
Suomessa on viime vuosikymmeninä useiden eri tahojen toimesta kehitetty vaihtoehtoisia kasviöljyestereiden tuotantokonsepteja eri kokoluokkiin¹⁵. Maatilakohtaisesti voidaan valmistaa sinappi-, rapsi- ja rypsiöljyä matalaseosteiseksi dieselpolttoaineeksi. Myös esteröinti RME:ksi voi tapahtua pienehköissä laitoksissa. Myös mäntyöljypohjaisista esteröintiä on tutkittu. Mikään näistä ei ole kuitenkaan johtanut kaupalliseen toimintaan kaupallisten edellytysten puuttuessa.

Fortum on kehittänyt uudentyyppisen biodieselprosessin, jossa tuotetaan hiilivedyistä koostuvaa dieselpolttoainetta perinteisen rasvahappoestereistä muodostuvan biodieselin sijasta. Fortumin prosessi perustuu raaka-aineen vetykäsittelyyn (kuva 14). Ensimmäinen laitos, tuotantokapasiteetiltaan arviolta 160 000–180 000 t/a, voitaisiin rakentaa lähivuosina, sillä tekninen päätösvalmius investointiin on olemassa.

¹⁵ Mildola Oy. 1996. Sisäinen työraportti KTM:n selvitykseen (Solantausta ym. 1997).



Kuva 13. Biodieselin valmistuksen perusprosessi¹⁶.



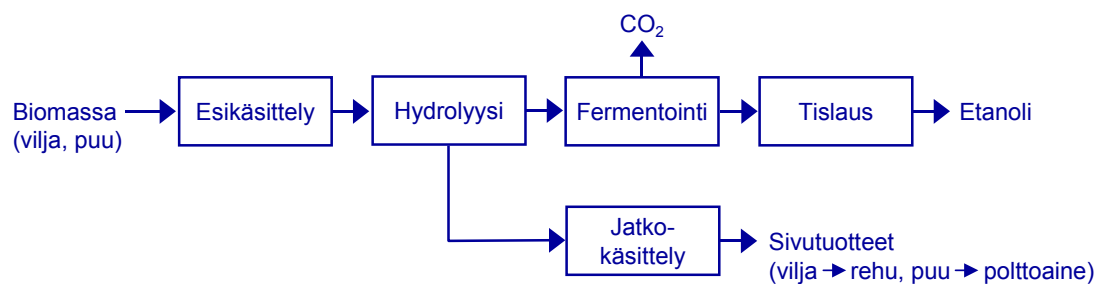
Kuva 14. Fortumin NExBTL-prosessi (lähde: Fortum, syyskuu 2004).

¹⁶ AFDC, 2004. Alternative Fuels Data Center.
http://www.eere.energy.gov/cleancities/afdc/pdfs/biodiesel_chart.pdf

2.2 Etanoli

Etanolia valmistetaan pääasiassa fermentoimalla sokereita mikro-organismien avulla alkoholiksi. Sokeripitoisia raaka-aineita on käytössä useita. Noin 60 % maailmassa tuotetusta etanolista on valmistettu sokeripitoisista viljelykasveista, kuten sokeriruo'osta ja sokerijuurikkaasta, ja suurin osa lopusta valmistetaan viljasta, lähinnä maissista. Tärkkelyspitoisten raaka-aineiden, kuten perunan ja viljojen, tärkkelys on muunnettava ennen fermentointia sokereiksi ns. hydrolyysin avulla. Tärkkelys on suhteellisen helposti hydrolysoitavissa sokereiksi. Sokeri- ja tärkkelyspitoisiin viljelykasveihin perustuva prosessi on tunnettua tekniikkaa ja käytössä polttoainetuotannossa laajassa mittakaavassa Brasiliassa ja Yhdysvalloissa. Prosessien periaatekuva on kuvassa 15. Suomessa viljaetanolin saanto olisi noin 0,91 t/ha, kun raaka-aineena olisi ohra. Viljapohjaisessa tuotannossa saadaan lisäksi rehukäyttöön soveltuvaa sivutuotetta.

Puusta on mahdollista valmistaa etanolia vapauttamalla ensin selluloosan ja hemiselluloosan sokerit kemiallisesti hydrolyysin avulla. Puun rakenteen vuoksi hydrolyysi on kuitenkin hankalampaa kuin tärkkelyspitoisen raaka-aineen. Hydrolyysi voidaan tehdä kolmella eri perustekniikalla: vahvahappo-, laimeahappo- tai entsyymaattisella hydrolyysillä. Entsyymaattiseen hydrolyysiin perustuviin prosesseihin on kehitteillä eri ratkaisuja, jotka eroavat toisistaan entsyymien valmistuksen sekä hydrolyysin ja fermentoinnin kytkennän osalta. Lisäksi laboratorioasteella on kehitteillä synteetisikaasun fermentointiin perustuvia prosesseja mm. Yhdysvalloissa ja Suomessa. Etanolin saanto metsätähteestä hydrolyysiin perustuvissa prosesseissa olisi arviolta 17–22 painoprosenttia kuivasta puusta. Etanolin lisäksi prosessissa saadaan huomattava määrä sivutuotteita, joista tärkein on ligniinipolttoaine. Ligniinipolttoaineen massasaanto on lähes kaksinkertainen etanolin saantoon verrattuna.



Kuva 15. Etanolin tuotantoprosessi viljoista tai puusta.

Etanolin valmistusta puusta tutkitaan lähinnä Yhdysvalloissa, Ruotsissa ja Kanadassa. Useitakin demonstrointihankkeita on suunnitteilla, mutta mitään em. tekniikkaa ei ole vielä kokonaisuudessaan demonstroitu laboratorion ulkopuolella puupohjaisille polttoaineille eikä niitä voida pitää tällä hetkellä kaupallisina prosesseina. Laimeahappohyd-

rolyysiin perustuva prosessi on lähimpänä teollisen mittakaavan toteutusta. Ruotsissa on keväällä 2004 käynnistynyt koetehdas, jossa tuotetaan 400–500 litraa etanolia vuorokaudessa puuraaka-aineista. Havupuun, ja erityisesti metsätähteen, hyödyntäminen raaka-aineena saattaa kuitenkin olla ongelmallista mm. korkean pihka- ja kuoripitoisuuden vuoksi. Tekniikoiden ei uskota olevan kaupallisia vuoteen 2010 mennessä.

Suomessa ei tuoteta etanolia polttoainekäyttöön. Eräät öljy-yhtiöt ovat kokeiluluonteisesti lisänneet etanolia bensiiniin enintään viisi tilavuusprosenttia. Etanoli on hankittu Euroopan ja Brasilian markkinoilta. Altia Oyj valmistaa maatalousperäistä etanolia alkoholijuomien ja teollisuustuotteiden valmistukseen. 1900-luvun jälkipuoliskolla Suomessa valmistettiin sulfiittisellun jäteliemestä etanolia, mutta selluntuotannon siirryttyä sulfaattikeittoon tämä tuotanto loppui. 1990-luvulla Oy Alko Ab esitti ohrapohjaisen polttoaine-etanolitehtaan rakentamista Koskenkorvan tehtaille¹⁷.

2.3 Synteesikaasupohjaiset tuotteet

Biomassasta on mahdollista valmistaa liikenteen biopolttoaineita myös ns. synteesikaasureitin kautta. Tässä prosessissa biomassasta valmistettaisiin ensin termisesti kaasuttamalla synteesikaasua ja edelleen synteesikaasusta polttonesteitä, esimerkiksi metanolia, ns. Fischer–Tropsch-polttoaineita tai dimetyylieetteriä (DME). Kaasutuksen tuotekaasu täytyy puhdistaa epäpuhtauksista eri kaasunpuhdistusmenetelmillä ja edelleen konvertoida synteesiprosessin vaatimusten mukaiseksi synteesikaasuksi. Prosessin periaatekuva on kuvassa 16. Hyvin optimoidussa prosessissa voidaan saavuttaa esim. metanolille jonkin verran yli 55 %:n massasaanto kuivasta puusta.



Kuva 16. Liikenteen biopolttoaineiden valmistusprosessi synteesikaasun kautta.

Synteesikaasua voidaan valmistaa erilaisista biomassoista. Liikenteen biopolttoaineiden valmistukseen Suomessa tulisivat kyseeseen lähinnä metsätähde ja kierrätyspolttoaineet. Ruotsissa on tutkittu myös sellunkeiton jäteliemen, ns. mustalipeän, käyttömahdollisuutta.

Synteesikaasupohjaiset prosessit ovat periaatteessa tunnettua tekniikkaa. Vastaava prosessi demonstroitiin 1980-luvulla Oulussa Kemira Oyj:n laitoksella, jossa tuotettiin turpeesta ammoniakkaa. Laitoksen kapasiteetti oli 80 000 tonnia NH₃/a. Koeajoissa raaka-

¹⁷ Oy Alko Ab. 1996. Sisäinen työraportti KTM:n selvitykseen (Solantausta ym. 1997).

aineena käytettiin myös sahanpurua. Etelä-Afrikassa sijaitsevilla Sasolin laitoksilla valmistetaan kaupallisesti kivihiilestä polttonesteitä kaasutuksen kautta ns. Fischer-Tropsch-tekniikalla. Ensimmäinen laitos Sasolin tehtailla aloitti tuotannon 1950-luvulla. Maakaasusta valmistetaan synteetikaasua eri kemianteollisuuden prosesseihin. Synteetisiä polttoaineita maakaasusta tuotetaan maailmalla kaupallisesti Shellin laitoksella Malesiassa¹⁸. DME on tutkimusasteella oleva dieselmoottoriin soveltuva polttoaine. DME:tä ei tuoteta laajamittaisesti. Japanissa on toiminnassa pilottilaitos, jonka tuotantokapasiteetti on 100 t/d.

Biomassan käyttöönotto synteetikaasupohjaisten prosessien raaka-aineena vaatii kuitenkin vielä kehitystyötä. Tutkimus- ja kehitystyöllä haetaan korkeahyötysuhteisia ja kustannustehokkaita prosessiratkaisuja. EU:n rahoituksella käynnistyi vuoden 2004 alussa Volkswagen Ag:n vetämä 20 M€:n kehityshanke, jossa kehitetään erityisesti synteetikaasupohjaisia liikenteen biopolttonesteiden tuotantoprosesseja. Shell ja Volkswagen ovat myös julkistaneet suunnitelman kehittää yhteistyössä uutta moottori- ja polttoaineteknologiaa¹⁹. Ns. SunFuel-polttoaine tuotettaisiin biomassasta Shellin GTL-teknoologiaan perustuvassa prosessissa.

Suomessa panostetaan synteetikaasun valmistusprosessin kehittämiseen VTT:n vetäessä Ultra clean gas -hankkeessa²⁰. Hankkeella tavoitellaan yhdessä teollisuuden kanssa uuden teknologian demonstrointia vuosina 2008–2009 ja kaupallistumista vuosien 2010–2012 aikana. Suomessa kaavailtujen konseptien perusajatuksena on ollut biopolttonesteiden ja sähkön tai lämmön yhteistuotanto, mikä näyttäisi tarjoavan useita vaihtoehtoja kehittää kokonaisyötysuhteeltaan ja taloudeltaan houkuttelevia yhteistuotantolaitoksia esim. metsäteollisuusintegraatin tai öljynjalostamon yhteydessä.

2.4 Biokaasut

Orgaanisesta materiaalista, esim. jätevesilietteistä tai biojätteistä, voidaan anaerobikäsitelyssä tuottaa ns. biokaasua, joka koostuu lähinnä metaanista ja hiilidioksidista. Kaatopaikoilla muodostuu vastaavaa kaasua, ns. kaatopaikkakaasua. Biokaasuja voidaan hyödyntää liikenteen polttoaineena puhdistuksen ja paineistuksen jälkeen. Tulevaisuudessa kehitystyön onnistuessa myös termisesti kaasuttamalla voitaisiin valmistaa kaasumaista polttoainetta kaasujoneuvojen polttoaineeksi. Termisellä kaasutuksella tuotetaan vetyä ja hiilimonoksidia sisältävää polttokaasua, joka voidaan tarvittaessa edelleen prosessoida

¹⁸ www.shellglobalsolutions.com

¹⁹ http://www.volkswagen-environment.de/_download/sunfuel_en.pdf

²⁰ UltraCleanGas – Synteetikaasun ja ultrapuhtaan polttokaasun valmistustekniikan kehitys. Projektipäällikkö: Esa Kurkela, VTT Prosessit.

metaaniksi (samankaltainen prosessi kuin kuvassa 16 esitetty nestemäisten polttoaineiden valmistus kaasutuksen kautta). Terminen kaasutus mahdollistaa siis sekä neste- että kaasumaisten biopolttoaineiden tuotannon ajoneuvokäyttöön.

2.4.1 Anaerobikäsittely

Anaerobikäsittelyssä, ns. mädätyksessä, orgaanista ainetta hajotetaan hapettomissa olosuhteissa toimivien mikro-organismien avulla. Lopputuotteiksi saadaan kiinteää ja nestemäistä mädätettä sekä pääasiassa metaanista (noin 50 tilavuusprosenttia) ja hiilidioksidista koostuvaa biokaasua. Biokaasun tuotto mädätysprosessissa määräytyy käytetyn jätetyypin, orgaanisen aineen määrän, kuormitusasteen, viipymäajan sekä reaktorityypin mukaan.

Biokaasu on käsiteltävä ennen loppukäyttöä. Liikennekäyttö edellyttää kaasun puhdistusta ja paineistusta. Biokaasu puhdistetaan ajoneuvokäyttöä varten niin, että se vastaa laadultaan hyvälaatuisia maakaasua. Kaasusta poistetaan kaikki korrodoivat ja syövyttävät yhdisteet. Kosteus ja CO₂ poistetaan, jotta kaasu voitaisiin komprimoida maakaasujoneuvojen vaatimaan noin 250 bar:in paineeseen.

Mädätyksen jälkeinen materiaali, mädäte, tarvitsee tavallisesti käsittelyä ennen kuin se voidaan hyödyntää. Useimpien teollisten biojätteen mädätyslaitosten prosesseihin kuuluu 1–2 viikon aerobinen jälkikäsittely (kompostointi). Mädätettä voidaan käyttää esimerkiksi lannoitteena tai maisemoinnissa.

Mädätys on jo pitkään ollut vakiintuneessa käytössä jätevesilietteiden käsittelyssä. Periaatteessa mitä tahansa biohajoavaa orgaanista materiaalia voidaan käyttää anaerobisen käsittelyn raaka-aineena, mutta taloudellisista ja teknisistä syistä toisia materiaaleja käytetään tavallisemmin kuin toisia. Tavallisesti biohajoavan orgaanisen aineen määrä on 70–95 % kuiva-aineen sisällöstä. Aineita, joiden kuiva-aineen orgaanisen aineksen osuus on alle 60 %, pidetään harvoin kannattavina anaerobisen käsittelyn raaka-aineena. Anaerobinen prosessi ei kykene hajottamaan ligniiniä, yhtä puun pääainesosista. Puhdas selluloosa on helposti hajoavaa anaerobisessa reaktorissa, mutta sen luonnossa esiintyvät muodot ovat usein suojattuja biohajoavuudelta niiden sisältämän ligniinin vuoksi. Esimerkiksi heinä, olki ja sinimailanen hajoavat 40–70-prosenttisesti anaerobisessa reaktorissa, mutta sahanpuru on käytännössä inertti.

2.4.2 Kaatopaikkakaasun talteenotto

Kaatopaikoilla muodostuu biokaasua vastaavaa kaasua, ns. kaatopaikkakaasua. Kaatopaikkakaasu on orgaanisesta jätteestä hapettomassa tilassa tapahtuvan (anaerobisen) hajoamisen tuloksena syntyvää kaasua, joka sisältää lähinnä metaania ja hiilidioksidia. Lisäksi se sisältää esim. vesihöyryä, typpeä, happea ja vetyä sekä pieninä pitoisuuksina kloori- ja fluorivetyjä sekä rikkiyhdisteitä. Kaasun muodostumiseen vaikuttavat eniten jätteen koostumus ja kaatopaikalla vallitsevat olosuhteet. Jätteiden sisältämästä orgaanisesti hajoavasta hiilestä vain noin 25 % vapautuu biokaasuna, loppuosa menee kaatopaikkojen valumavesiin tai varastoituu kiinteään kaatopaikkakerrokseen.

Kaatopaikkakaasun talteenottojärjestelmät ovat melko vakiintunutta teknologiaa. Talteenottojärjestelmä koostuu jätekerrokseen asennettavista siivilämäisistä imukaivoista tai salaojaputkistoista. Imukaivot asennetaan pystyyn, kun taas salaojajärjestelmä perustuu vaakaputkistoihin. Myös näiden yhdistelmiä käytetään. Lisäksi järjestelmään kuuluvat imuputkisto ja pumppaamo, jossa tehdään putkistoon ja kaivoihin tarvittava imu. Pumppaamosta kaasu johdetaan joko poltettavaksi soihdussa tai energiakäyttöön. Ennen energiakäyttöä kaasu täytyy puhdistaa. (Tuhkanen 2002)

Talteenoton tehokkuus riippuu luonnollisesti aloittamisajankohdasta. Monesti talteenotto aloitetaan vasta kaatopaikan sulkemisen jälkeen, jolloin suuri osa jätekerroksissa syntyvästä metaanista on jo päässyt ilmakehään. Kaatopaikan toiminnan aikana aloitettu talteenotto on yleistymässä, jolloin tehokkuus paranee. Kun talteenottojärjestelmä on otettu käyttöön, saadaan syntyvästä kaatopaikkakaasusta usein yli 70 % talteen. (Tuhkanen 2002)

Tuhkanen (2002) on arvioinut kaatopaikkakaasun talteenoton (keräilyjärjestelmän ja pumppaamon) kokonaiskustannuksiksi noin 120–170 €/Nm³/a. Tuotettua energiayksikköä kohti kustannukset olisivat noin 1,0–1,3 €/GJ (3,4–4,5 €/MWh). Tällöin jätteen vastaanottomaksu sisältäisi kaikki kaatopaikan kustannukset.

EU:n kaatopaikkadirektiivi (1999/31/EY) edellyttää voimakkaita toimia kaatopaikkasijoituksen vähentämiseksi. Jätteiden syntyä tulee vähentää, kierrätystä ja energiahyötykäyttöä lisätä. Vuonna 2016 saa sijoittaa kaatopaikoille enää 35 % vuonna 1994 kaatopaikoille sijoitetusta jätemäärästä.

2.4.3 Termiset biokaasut

Eräs lupaavimpia uusia tekniikoita on biokaasujen valmistus termisesti kaasuttamalla. Termisesti kaasuttamalla saadaan vetyä ja hiilimonoksidia sisältävää polttokaasua, joka voidaan tarvittaessa edelleen prosessoida metaaniksi (SNG:ksi, synteettinen maakaasu)

tai muiksi kaasuseoksiksi, esim. vedyksi. Termisen biokaasun potentiaali on biokaasun potentiaalia huomattavasti merkittävämpi.

Metaanin valmistaminen biomassasta termisen kaasutuksen kautta perustuu samaan synteetikaasun valmistusprosessiin, jota kehitetään synteettisten nestemäisten polttoaineiden tuotantoon. Synteetikaasun konversio metaaniksi on kaupallista tekniikkaa. Metaanin valmistuksen kustannukset olisivat arviolta 60–70 % F–T-dieselin tuotantokustannuksista. Kun kaasupolttoaine paineistetaan ajoneuvon polttoainetankkiin, kustannukset nousevat lähes yhtä suuriksi kuin F–T-dieselin.

2.5 Tuotantokustannukset

Biopolttonesteestä ja tuotantotekniikasta riippuen biopolttonesteiden tuotantokustannukset ovat 1,5–5-kertaisia verrattuna nykyisten fossiilisten polttoaineiden verottomiin hintoihin. Syksyn 2004 korkea öljynhintaa on (hetkellisesti) kaventanut tätä eroa. Nykyiset kaupalliset biopolttonesteet, peltokasvipohjaiset biodiesel ja etanoli, on saatu monissa maissa kuluttajille kilpailukykyisiksi verohelpotuksin tai tukemalla tuotantolaitoksia (Yhdysvallat, Brasilia).

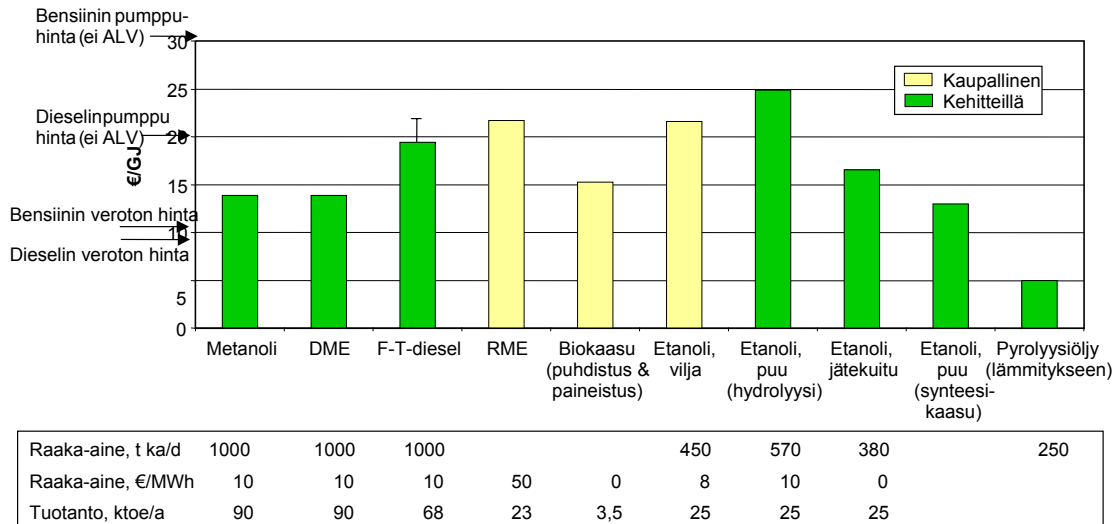
Biopolttonesteiden tuotantokustannuksia pyritään alentamaan tutkimus- ja kehitystyöllä niin EU:ssa kuin Yhdysvalloissa. Tuotantokustannusten alentamiseen pyritään mm. etsimällä toimintamalleja, joissa biopolttonesteiden tuotanto yhdistettäisiin teollisuus- tai voimalaitokseen sekä hyödynnettäisiin halvempia puu- tai jäteperäisiä raaka-aineita. Tavoitteena on kehittää tuotantoteknologioita, jotka mahdollistaisivat liikenteen biopolttoaineiden käyttöönoton mahdollisimman alhaisin ja laskevin tukitasoin. Tutkimus- ja kehitystyössä tulisi Suomessa panostaa niiden teknologioiden kehitykseen, joissa tuki-tarve olisi, mikäli mahdollista, alle nykyisen liikenteen polttoaineverotuksen, joka on dieselpolttoaineella 32 snt/l ja bensiinillä 59 snt/l. Koska suomalaiset yritykset valmistavat maailmanmarkkinoille kilpailukykyisiä metsäteollisuuden laitteita, puun korjuukoneita ja voimalaitoksia, on perusteltua uskoa, että myös biopolttoaineiden tuotantoprosessien laitteita voitaisiin valmistaa meillä sekä koti- että ulkomaan markkinoita varten. Esimerkiksi viime vuosikymmenellä Suomesta toimitettiin viljaetanolin tuotantolaitoksia maailman markkinoille.

Suomessa on tehty varsin vähän liikenteen biopolttonesteiden tuotantokustannusarvioita verrattuna Yhdysvaltojen ja Euroopan suurissa kehitys- ja tutkimushankkeissa tehtyihin kattaviin selvityksiin. Seuraavaksi esitetyt arviot ovatkin vain ohjeellisia arvioita uuden tekniikan mahdollisuuksista. Kun alan tutkimus- ja kehitystyö voimistuu, saadaan myös tarkempia kustannusarvioita.

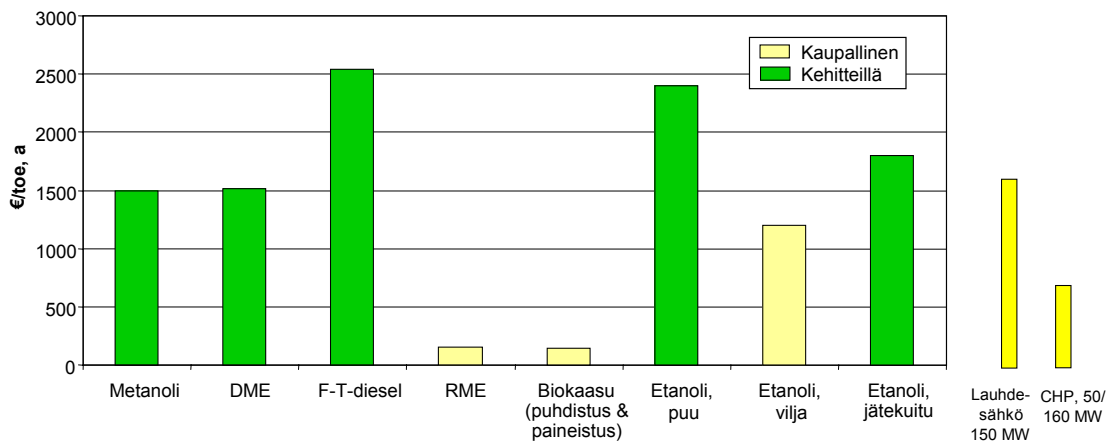
Osana VTT:n vetämää ns. Biofuture-hanketta on vertailtu alustavasti eri biopolttoaineiden tuotantokustannuksia pohjoismaisissa olosuhteissa. Kuvassa 17 esitetään tuotantokustannuksien ja kuvassa 18 ominaisinvestointien vertailu. Tuotantokapasiteettina on käytetty raaka-ainehuollon kannalta tyypillisiä laitospokoja. Tämän vertailun perusteella biopohjaisista dieseltuotteista rypsipohjaisen biodieselin tuotantokustannukset olisivat korkeimmat. Uusilla tekniikoilla tuotetun F–T-dieselin tuotantokustannukset on arvioitu hieman alemmiksi. Bensiniin eetterikomponenttien raaka-aineista metanoli näyttäisi olevan tuotantokustannuksiltaan edullisin vaihtoehto tässä kokoluokassa. Kaupallinen viljapohjainen etanoli olisi tuotantokustannuksiltaan RME:n tasolla. Kehitysvaiheesta olevista etanoliprosesseista metsätähde- ja jät-paperipohjaiset vaihtoehdot olisivat metanolia kalliimpia. Biokaasun hinta puhdistettuna ja paineistettuna ajoneuvossa olisi samaa suuruusluokkaa kuin synteetikaasupohjaisten polttonesteiden hinnat, mutta biokaasun käyttöä rasittavat kaasuajoneuvojen ja jakelujärjestelmien lisäkustannukset. Keski-Euroopassa on tarkasteltu huomattavasti suurempia biopolttonesteiden tuotantolaitoksia, joissa raaka-ainekapasiteetti olisi 5–10-kertainen verrattuna kuvan 17 tapauksiin. Jos polttoainetta olisi samaan hintaan saatavissa näinkin suuriin laitoksiin, alenisivat tuotantokustannukset merkittävästi. Se edellyttäisi kuitenkin todennäköisesti raaka-puun tuontia suomalaisille tehtaille.

VTT arvioi 1990-luvun lopulla puupohjaisen metanolin ja etanolin tuotantokustannuksia integroidussa tuotannossa (kuva 19). Selvityksessä arvioitiin myös mahdollisuuksia pienentää tuotantokustannuksia (kuvassa 19 on esimerkkinä mahdollisuuksia pienentää metanolin tuotantokustannuksia). Metanolin tuotantokustannuksiksi Suomessa integroituna sellutehtaan yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon arvioitiin 13,5–17 €/GJ (48–60 €/MWh) tekniikasta riippuen, kun laitoksen raaka-ainekapasiteetti oli 100 MW (166 000 t kuiva-ainetta/a). Raaka-aineena käytettävän metsätähteen hinnan arvioitiin olevan 2,2 €/GJ (8 €/MWh). Jos hyödynnettäisiin jätetähteistä raaka-ainetta, 5 €/MWh käsittelymaksulla metanolin tuotantokustannukset olisivat 8 €/GJ (28 €/MWh). Ko. käsittelymaksu vastaa tyypillistä jätteenpolttolaitoksen vastaanottomaksua. Etanolin tuotantokustannuksiksi arvioitiin 20–26 €/GJ (71–94 €/MWh) (Mäkinen & Sipilä 2003).

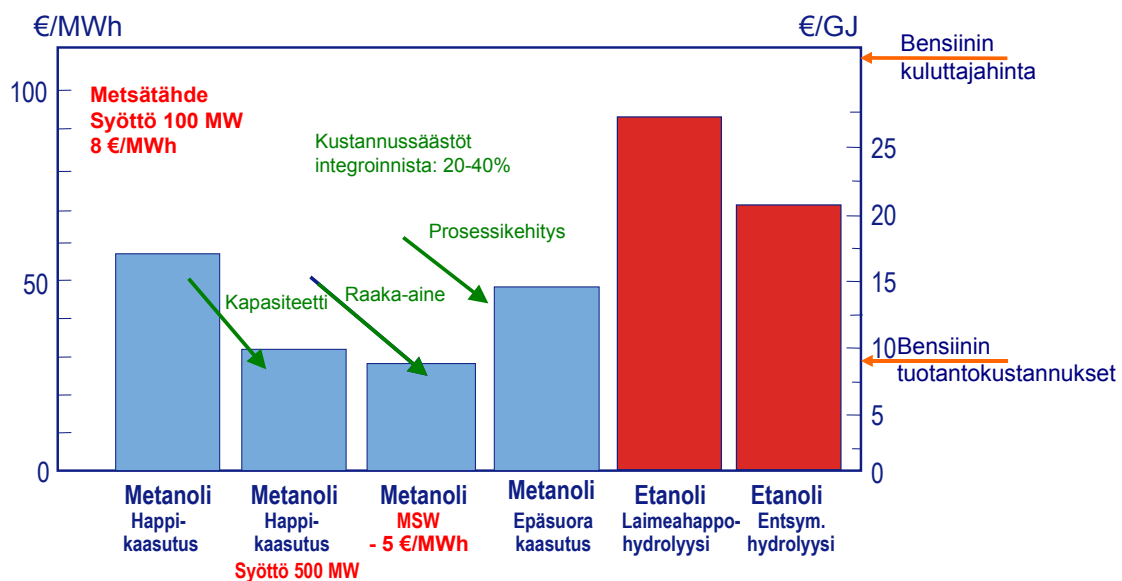
EU:n rahoituksella käynnistyi vuoden 2004 alussa Volkswagen Ag:n vetämä 20 M€:n kehityshanke, jossa kehitetään erityisesti synteetikaasupohjaisia liikenteen biopolttonesteiden tuotantoprosesseja. F–T-dieselin tuotantokustannuksien tavoitearvona on Keski-Euroopassa paikallisesta raaka-aineesta 0,70 €/loe.



Kuva 17. Eräiden liikenteen biopolttoaineiden tuotantokustannuksien suuruusluokkavertailu (lähde: VTT:n Biofuture-projekti, etanoli puusta synteetisikaasun kautta NREL, USA).



Kuva 18. Liikenteen biopolttoaineiden tuotantoprosessien ominaisinvestointien suuruusluokkavertailu (lähde: VTT:n Biofuture-projekti), vertailuna lauhdesähkö- ja CHP-laitosten ominaisinvestoinnit (Savolainen ym. 2001).



Kuva 19. Puupohjaisen metanolin ja etanolin arvioidut tuotantokustannukset suomalaisen sellutehtaaseen integroidussa tuotannossa (Mäkinen & Sipilä 2003).

3. Biopolttoaineiden käyttöominaisuudet

Useimpia biopolttoaineita – alkoholeja, biodieseliä ja biokaasua – voidaan käyttää joko polttoainekomponenttina tai polttoaineena sellaisenaan. Alkoholi ja kaasumaiset polttoaineet soveltuvat kipinäsytytteisten moottorien (ottomoottorien) polttoaineeksi, kasvi- ja eläinperäiset öljyjohdannaiset puristussytytteisten (dieselmoottorien) polttoaineeksi.

Euroopassa direktiivi 98/70/EC, sen täydennysdirektiivi 2003/17/EC sekä EN-normit EN228 (benssiini) ja EN590 (diesel) määrittelevät tieliikennepolttoaineiden laadun. Lähtökohtaisesti polttoainelaatujen tulisi soveltua koko ajoneuvokalustoon. Normeista poikkeavien polttoaineiden käyttö voisi olla mahdollista muunnetuissa, keskitettyä polttoainehuoltoa käyttävissä autoissa, mutta sen rajoituksena ovat korkeat kustannukset ja pieni kokonaisvaikutus. Ajoneuvojen häiriöttömän toiminnan takaamiseksi EN228- ja EN590-normien vaatimukset tulisi täyttää. Klassisilla biokomponenteilla (etanoli sellaisenaan, RME) ei päästä kuin maksimissaan noin viiden tilavuusprosentin korvausasteeseen, jos polttoaineenormien vaatimuksista halutaan pitää kiinni. Synteettiset biopolttoaineet tarjoavat tässä tapauksessa enemmän joustoa, ja korvausaste voi periaatteessa olla 0–100 %.

3.1 Biopolttoaineiden vaikutus päästöihin

Tarkasteltaessa erilaisten polttoaineiden vaikutuksia moottorien säännelyihin päästöihin on huomattava, että nykymoottoreissa pakokaasujen jälkikäsittelylaitteistoilla ja moottorin palamisen tarkalla ohjauksella on aivan ratkaiseva asema päästöjen rajoittamisessa. Tämä pätee erityisesti nykyaikaisiin benssiinimoottoreihin. Myös dieselhenkilöautoissa käytetään tänä päivänä pakokaasujen jälkikäsittelylaitteita, ja raskaaseen dieselkalustoon jälkikäsittely tulee vuosina 2005 (Euro 4) ja 2008 (Euro 5) kiristyvien pakokaasuvaatimusten myötä. Jotta pakokaasujen jälkikäsittelylaitteistot toimisivat halutulla tavalla, myös polttoaineiden laatuvaatimuksia on jatkuvasti parannettu. Tämä näkyy erityisen selvästi rikkipitoisuuden alenemisessa. Vuodesta 2005 alkaen tieliikennepolttoaineiden rikkipitoisuus saa olla enimmillään 50 ppm, ja enintään 10 ppm rikkiä sisältäviä polttoaineita on oltava saatavilla (Direktiivi 2003/17/EC). Suomessa moottoribensiinin ja dieselöljyn valmisteveron porrastuksen perusteita muutettiin 1.9.2004 alkaen siten, että alinta verotaso sovelletaan enintään 10 ppm rikkiä sisältäviin polttoaineisiin. Tällä no-
peutetaan siirtymistä rikittömiin polttoainelaatuihin.

Tämän kehityksen valossa on helppo mieltää, ettei minkään biopolttoaineen käyttö, metaania lukuun ottamatta, voi nykyautoissa tuoda merkittäviä etuja (yli 10 %) säännelyjen päästöjen osalta. Tämä pätee erityisesti siinä tapauksessa, että biopolttoainetta käytetään polttoaineen seoskomponenttina. Vähemmän kehittyntä moottoritekniikkaa käytettäessä vaihtoehtoisilla polttoaineilla on mahdollista alentaa päästöjä, ja tämä olikin

mielenkiinnon kohteena 1980- ja 1990-luvuilla. Metaanilla nykytekniikalla säänneltyt päästöt voivat alentua jopa yli 50 % (raskaiden moottorien hiukkas- ja typenoksidipäästöt). Etu realisoituu käytännössä lähinnä vain kaupunki-ilman laadussa taajamakäytössä. Myös CO₂-päästöjä voidaan alentaa metaania käyttämällä (0–25 % maakaasulla, lähes 100 % biokaasulla).

Nykytekniikalla biopolttoaineiden etu on mahdollisuudessa vähentää fossiilista CO₂-päästöä. CO₂-säästöpotentiaali on mitä suurimmassa määrin polttoainekohtainen, ja siihen vaikuttavat mm. raaka-ainepohja sekä käytetyt tuotanto- ja jalostusprosessit. Todennäköisesti vähän polttoainetta kuluttavat ajoneuvot ovat kustannustehokkaampi vaihtoehto liikenteen CO₂-päästöjen alentamisessa kuin biopolttoaineiden laajamittainen käyttöönotto.

3.2 Alkoholit ja eetterit

Alkoholeja (metanolia, etanolia) voidaan tietysti edellytyksin käyttää sellaisenaan bensiinikomponentteina. Alkoolien ominaispiirteitä:

- Alkoholeilla on korkea oktaaniluku.
- Alkoolien sisältämä happi tehostaa palamista jossain määrin.
- Erikoisrakenteisissa moottoreissa voidaan käyttää lähes pelkkää alkoholia.
- Lämpöarvo on 45–60 % bensiinin lämpöarvosta.

Etanoli on käyttöominaisuuksien kannalta selvästi metanolia parempi vaihtoehto suuremman lämpöarvonsa, suuremman vesitoleranssinsa ja pienemmän korroosiovaikutuksensa ansiosta. Lisäksi etanolilla on pienempi höyrynpainetta nostava vaikutus. Metanolin kanssa on aina käytettävä väliliuottimia, eikä metanoli ole suositeltava polttoainekomponentti Suomen ilmasto-olosuhteissa, koska metanoli voi erottua bensiinistä. Tällöin alkoholi ja kosteus jäävät säiliön pohjalle ja bensiini nousee pinnalle.

Käyttökäytännöstä eetterit ovat alkoholeja parempi vaihtoehto, koska niillä on

- suurempi lämpöarvo
- suurempi vesitoleranssi
- pienempi korroosiovaikutus
- pienempi vaikutus polttoaineen höyrynpaineeseen.

Niinpä eetterit ovat sekä polttoaine- että autoteollisuuden suosima vaihtoehto. EN228-normi sallii jopa 15 % C5- ja raskaampia eettereitä. Eettereitä käytetään yleisesti oksygenaatteina bensiinissä.

Eetterien valmistuksessa lähtöaineina ovat alkoholi ja hiilivety. Mahdollisia eetterikomponentteja ovat mm. MTBE, ETBE, TAME ja TAEE. MTBE:ssä ja TAME:ssa lähtöaineena on metanoli, ETBE:ssä ja TAEE:ssa etanoli. Alkoholin osuus eetterin lämpöarvosta on 15–30 %. MTBE:n käyttö on Yhdysvalloissa vähenemässä pohjavesiongelman vuoksi, Euroopassa ei vastaavaa kehitystä ole näköpiirissä. Alkoolien ja eettereiden ominaisuuksia esitetään taulukossa 5.

Suomessa on käytössä metanolipohjainen MTBE. Fortum on myös valmistanut etanolipohjaista ETBE:tä vientiin.

Taulukko 5. Bensiinin ja valittujen oksygenaattien ominaisuuksia (Ikonen ym. 2000).

	Bensiini	Metanoli	Etanoli	MTBE	TAME	ETBE
Kemiallinen kaava		CH ₃ OH	CH ₃ CH ₂ OH	(CH ₃) ₃ CO CH ₃	(CH ₃) ₂ (C ₂ H ₅) COCH ₃	(CH ₃) ₃ C OC ₂ H ₅
Molekyylipaino, g/mol		32,0	46,1	88,2	102,2	102,2
Tiheys 15 °C, kg/l	0,75	0,79	0,79	0,75	0,77	0,75
Kiehumispiste, °C	30–200	65	78	55	85	73
Oktaaniluku, RON	95–99	108	108	117	112	118
Lämpöarvo, MJ/kg	43	19,6	26,4	35	36	36
Höyrynpaine, Raid, (kPa*)	60–90	32	17	55	14	28
Happipitoisuus, p-%	0	49,9	34,7	18,2	15,7	15,7
Stoikiometrinen ilmakerroin	14,7	6,4	9	11,7	12,1	12,2

*) Höyrynpaine ei käyttydy yleensä lineaarisesti seoksissa, esim. bensiinin suhteen etanolin seoshöyrynpaine on 124 kPa.

Bensiinin osalta direktiivit ja EN228-normi rajaavat happipitoisten komponenttien määrän seuraavasti: polttoaineen maksimihappipitoisuus saa olla 2,7 painoprosenttia, ja tietyille yksittäisille oksygenaateille on annettu maksimipitoisuudet (metanoli 3, etanoli 5, eetterit 15 tilavuusprosenttia). Metanolin kanssa on käytettävä väliliuottimia.

Nämä raja-arvot rajoittavat alkoolien ja eetterien korvausasteen seuraavasti (sulkeissa on esitetty raja-arvoja vastaava maksimikäyttömäärä Suomessa, direktiivin mukainen ohjeellinen tavoite vuodelle 2010 vastaa 215 000 toe:n/a käyttömäärää):

- Komponenttirajoitus
 - maks. 5 tilavuusprosenttia etanolia, joka on energiaosuutena n. 3 % (maksimikäyttömäärä Suomessa biopolttoaineena 60 000 toe/a)
 - maks. 3 tilavuusprosenttia metanolia, energiaosuutena n. 1,5 % (28 000 toe)

- maks. 15 % C5-eettereitä, 15 % ETBE, etanolin (biokomponentin) energiaosuus 4,5 % (81 000 toe)
- ”Happirajoitus”, maks. 2,7 painoprosenttia happea
 - 15 % MTBE, metanolin energiaosuus 2,5 % (47 000 toe).

Normien antamien rajojen puitteissa biokomponenttien käytölle bensiinissä ei ole teknisiä esteitä. Sekä auto- että polttoaineteollisuus suosivat eettereitä alkoholien sijaan mm. paremman vesitoleranssin ja pienemmän korroosiovaaran takia. Lisäksi polttoaineen höyrynpaine on helpompi säätää kohdalleen eettereitä käytettäessä. Eettereistä käytetyimpiä ovat metanoliin pohjautuva MTBE ja etanoliin pohjautuva ETBE. Suomessa eräät öljy-yhtiöt ovat lisänneet etanolia bensiiniin enintään viisi tilavuusprosenttia.

Bensiiniin lisättyinä eetterit nostavat polttoaineen oktaanilukua. Koska etanolin pitoisuus on rajattu 5 %:iin, pelkällä etanolilla ei juurikaan voida nostaa oktaanilukua. Esim. Yhdysvalloissa bensiinissä sallitaan 10 %:n etanolipitoisuus (vastaa 3,7 %:a happea). Happea sisältävän bensiinin on todettu vähentävän kylmäkäynnistyspäästöjä, mutta tämäkin etu on pienentymässä yhä parempien moottorien, ohjausjärjestelmien ja puhdistinlaitteiden myötä.

Yhdysvaltalaiset autonvalmistajat ovat valmistaneet ja valmistavat edelleen ns. Fuel Flexible Vehicles (FFV) -autoja, jotka voivat käyttää polttoaineenaan mitä tahansa seosta pelkästä bensiinistä aina 85-prosenttiseen etanoliin asti. Ruotsissakin näitä autoja on noin 5 000. Ruotsissa on kuitenkin näiden autojen osalta todettu erilaisia kylmään ilmanalaan liittyviä ongelmia, kuten käynnistysvaikeuksia ja käyntiongelmia. Tämän tekniikan käyttöönottoa ei meillä kannata edistää, ennen kuin Ruotsissa esiintyneet ongelmat on ratkaistu.

Etanolipohjaisten polttoaineiden lisäkäytön mahdollistamiseksi olisi mahdollisesti syytä selvittää 10–15 % etanolia sisältävien seosten toimivuus nykykalustossa.

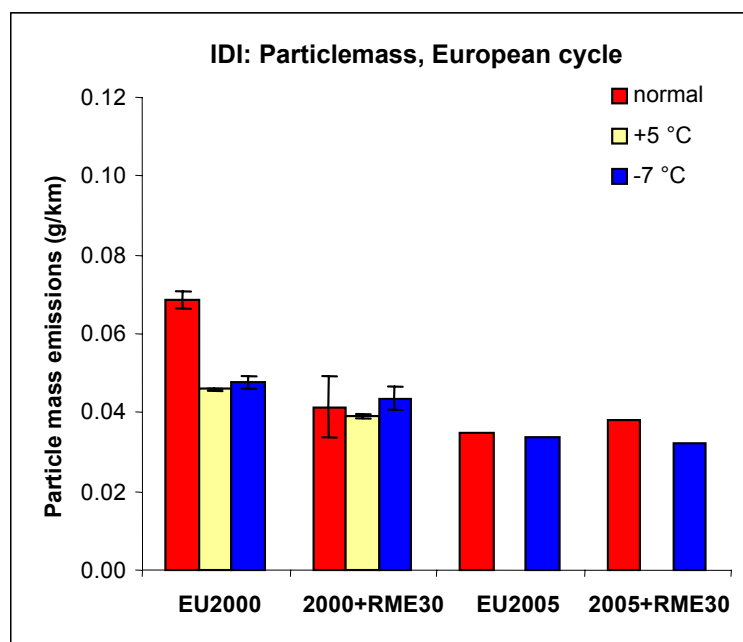
Alkoholi ei sovellu sellaisenaan tavanomaisen dieselmoottorin polttoaineeksi. Ruotsissa on käytössä etanolibusseja, joiden polttoaineena on syttyvyydenparantamislisäaineella lisäaineistettu etanoli. Nyt tämä käyttömuoto uhkaa loppua, koska bussien valmistaja Scania on päättänyt lopettaa etanolille sovitettujen moottorien valmistuksen. Ruotsissa on myös tutkittu dieselin ja etanolin emulsiopolttoaineita, mutta nämä kokeilut eivät ole antaneet kovin lupaavia tuloksia.

3.3 Biodiesel (RME/FAME)

Rasvahappojen metyyliestereille (FAME), ns. biodieselille, on olemassa eurooppalainen normi EN 14214. Tämä normi säätelee sekä 100-prosenttisen biodieselin että biodieselin komponenttikäytön laatua.

Kasviöljyestereitä käytetään dieselkomponentteina useissa Euroopan maassa. Pitoisuudet ovat tyypillisesti 5–30 %. Alle 5 %:n biodieselosuutta ei tarvitse ilmoittaa jakelimitarissa (esim. ranskalainen käytäntö). Kasviöljyesteri toimii mm. voitelevuuslisäaineena suojaten ruiskutuslaitteita kulumiselta. Saksassa ja Itävallassa käytetään polttoaineena myös 100-prosenttista biodieseliä. Eräät auto- ja työkonevalmistajat sallivat 100-prosenttisen biodieselin käytön normaalien takuuehtojen puitteissa.

FAME sisältää noin 10 % happea. Peruslaatuiseen dieselpolttoaineeseen sekoitettuna FAME voi joissakin tapauksissa alentaa hiukkaspäästöjä, mutta haittapuolena on tällöin yleensä typen oksidien lisääntyminen. Hyvälaatuiseen (vuoden 2005 spesifikaation mukaiseen) dieselpolttoaineeseen sekoitettuna FAME ei juurikaan anna päästöetuja (kuva 20, 30 %:n RME-seoksen vaikutus dieselhenkilöauton hiukkaspäästöihin).



Kuva 20. RME-lisäyksen vaikutus dieselhenkilöauton hiukkaspäästöihin (Aakko & Ny-
lund 2003).

Komponenttikäytössä on yleensä täytettävä direktiivien ja EN590-normin vaatimukset. Missään näistä dokumenteista ei rajoiteta FAMEn pitoisuutta. Säännökset perustuvat tältä osin siihen, että seospolttoaineen tulee täyttää tavanomaiselle dieselpolttoaineelle asetettavat vaatimukset. RME:n tiheys on dieselpolttoaineen tiheyttä korkeampi. Lisäksi

tislausalue on kapea ja tislauksen loppulämpötila korkea. EN590-normin tiheysvaatimus ja tislausaluevaatimus rajoittavat epäsuorasti RME-pitoisuuden noin 5 %:iin, jolloin korvausmäärä Suomessa olisi 96 000 toe/a. Jollei polttoaine täytä normivaatimuksia, autonvalmistajat saattavat evätä takuun voimassaolon.

FAMEn kylmäominaisuudet (juoksevuus) ovat huonommat verrattuna tavanomaisiin Suomessa käytettäviin dieselpolttoainelaatuihin. Korkeaan lämpötilaan sijoittuva kapea tislausalue huonontaa lisäksi FAMEn ominaisuuksia kylmäkäynnistyksessä vaikeuttaen polttoaineen höyrystymistä ja moottorin käynnistymistä sekä lisäten mm. moottoriöljyn polttoainelaimentuman vaaraa. Mm. näistä syistä 100-prosenttinen biodiesel ei ole parhaimmillaan kylmissä olosuhteissa. Jos meillä ylipäätään halutaan käyttää FAMEa, meillä tulisi etanolin tapaan suosia biodieselseosten käyttöä mieluummin kuin perinteisen 100-prosenttisen FAME-polttoaineen käyttöä. Muita FAMEen liittyviä ongelmia ovat huono varastoitavuus ja tuotannossa syntyvien sivutuotteiden käyttö ja talous.

Keskimäärin autonvalmistajien suhtautuminen biodieseliin on kuitenkin kielteistä. Autoteollisuus on määritellyt omat polttoainevaatimuksensa ns. World Wide Fuel Charterissa²¹. Vaatimukset kiristyvät Category 1:stä Category 4:ään siirryttäessä. Biodieselin osalta ACEA on kirjannut seuraavat rajoitukset:

- Category 1: ei rajoituksia FAMElle (esim. RME)
- Category 2: maks. 5 % FAME, pumppumerkintöjä suositellaan aina, jos FAMEa käytetään.
- Category 3&4: FAMEa ei sallita.

WWFC ei ole mitenkään sitova normisto, vaan se on lähinnä katsottava autoteollisuuden ”toivelistaksi” polttoainelaaduille. Autonvalmistaja voi mahdollisesti evätä ajoneuvon takuun, jos käytettävä polttoaine ei täytä autonvalmistajan määrittelemiä laatuvaatimuksia. Mikään WWFC:n kategoria ei suoraan vastaa EN-normeja 228 ja 590, mutta Category 3 on lähimpänä nykyisiä polttoainenormeja (Category 3:n määritelmä: polttoaine markkinoille, jossa ovat vaatimuksena Euro 3 ja Euro 4 -päästönormit).

WWFC ei siis salli FAME:n käyttöä luokissa 3 ja 4. Synteettisille polttoainekomponenteille ei ole rajoitteita, ja bensiinin osalta eetterien käyttö hyväksytään.

²¹ http://www.acea.be/ACEA/WWFC_Dec2002_Brochure.pdf

3.4 Synteettiset polttoaineet

Synteettisiä polttoaineita voidaan valmistaa synteetikaasusta Fischer–Tropsch-synteesin avulla. Synteetikaasua taas valmistetaan kaasutuksella (kiinteistä polttoaineista, öljystä) tai reformoinnilla (metaanista). Raaka-aineena voi siten olla öljy, biomassa, hiili tai maakaasu. Lopputuotteena syntyy pääasiassa korkealuokkaista synteettistä dieselpolttoainetta, jolla on erinomaiset syttymisominaisuudet. Lopputuotteen ominaisuudet eivät ole sidoksissa prosessin raaka-aineeseen. Biopohjaisista synteettisistä polttoaineista ei ole maailmalla vielä kaupallisia kokemuksia, mutta sekä tuotannon että käytön koetointaa on meneillään.

Synteettinen (hiilivety-) polttoaine on tyypillisesti korkealaatuista, aromaattivapaata, hyvät syttymisominaisuudet omaavaa dieselpolttoainetta. Korkea setaaniluku ja rikittömyys antavat lisäarvoa pelkkään lämpöarvoon verrattuna. Ominaista synteettiselle dieselpolttoaineelle ovat tavanomaista dieselpolttoainetta hieman alhaisempi tiheys ja taas FAMEen verrattuna kohtuulliset kylmäominaisuudet. Synteettisellä dieselillä ei ole FAME:n tapaan rajoitteita sekoituksen osalta, ja sitä voidaan sekoittaa jopa yli 50 % tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen.

Fortum Oyj on kehittänyt uudentyyppisen biodieselprosessin (NExBTL), jossa biodieseliä valmistetaan bioöljyistä vetykäsittelyprosessilla. Tällä tavalla saatava tuote vastaa ominaisuuksiltaan hyvälaatuista dieselpolttoainetta, joskin sen tiheys on alhaisempi kuin tavanomaisen dieselpolttoaineeseen.

Fortum Oyj ilmoittaa, että NExBTL-tuotetta voidaan käyttää joustavammin ja ilman tiettyjä tavanomaiseen FAME-polttoaineeseen liittyviä rajoitteita. Prosessi mahdollistaa myös laajemman raaka-ainepohjan ja paremman tuoteoptimoinnin verrattuna perinteiseen menetelmään, jossa valmiiseen dieselpolttoaineeseen lisätään FAMEa. NExBTL:n pitoisuudelle ei tarvinne määrittää mitään erillistä ylärajaa sillä edellytyksellä, että lopputuote täyttää direktiivien ja EN590:n vaatimukset. Tuotetta on valmistettu koemääriä, ja testaus koeautoilla on käynnissä.

VTT Prosessien Moottorit ja ajoneuvot -ryhmä on tehnyt pakokaasumittauksia NExBTL-biokomponentin ja dieselpolttoaineen seoksilla henkilöautoilla sekä linja-autolla. Mittauksia tehtiin 5, 15 ja/tai 20 % sekä 85 % biokomponenttia sisältävillä polttoaineilla käyttäen peruspolttoaineena Ruotsin nk. Miljöklass 1-vaatimukset täyttävää dieselpolttoainetta sekä eurooppalaista peruslaatua edustavaa dieselpolttoainetta. Alustavien tulosten mukaan biokomponentti ei lisännyt tutkittuja päästöjä vaan päinvastoin vähensi joitakin päästöjä. Erityisesti hiilimonoksidi ja kokonaishiilivedyt sekä korkeimmalla NExBTL-pitoisuudella hiukkaspäästö olivat alhaisempia NExBTL-

biokomponenttia sisältävillä polttoaineilla verrattuna peruspolttoaineisiin. NO_x-päästö ei lisääntynyt NExBTL-biokomponentilla toisin kuin esim. kasviöljyestereillä.

Taulukossa 6 vertaillaan reformuloidun dieselpolttoaineen (rikki alle 10 ppm), RME:n, maakaasusta tehdyn synteettisen dieselpolttoaineen (GTL, gas-to-liquids) ja NExBTL-polttoaineen (BTL, biomass-to-liquids) tuoteominaisuuksia. GTL-polttoaineita tuotetaan maailmalla kaupallisesti Shellin laitoksessa Malesiassa²².

Taulukko 6. Eri dieselpolttoainevaihtoehtojen tuoteominaisuudet (Fortum, syyskuu 2004).

	NExBTL	GTL Fischer- Tropsch Diesel	FAME	Diesel fuel 2005 (summergr.)
Density at +15°C (kg/m³)	780 - 785	770- 785	≈ 885	≈ 835
Viscosity at +40°C (mm²/s)	3.0 - 3.5	≈ 3.2- 4.5	≈ 4.5	≈ 3.5
Cetane index or number	98 - 99	≈ 73 - 81	≈ 51	≈ 53
10 % distillation (°C)	≈ 260- 270	≈ 260	≈ 340	≈ 200
90 % distillation (°C)	295 - 300	325 - 330	≈ 355	≈ 350
Cloud point (°C)	- 30 ... - 5	≈ 0 ... +3	≈ 0 ... - 5	≈ - 5
Heating value (MJ/kg)	≈ 44	≈ 43	≈ 38	≈ 43
Heating value (MJ/l)	≈ 34,5	≈ 33,8	≈ 34	≈ 36
Polyaromatic content (wt-%)	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 4
Oxygen content (wt-%)	≈ 0	≈ 0	≈ 11	0
Sulfur content (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10

Synteesikaasusta voidaan valmistaa myös dimetyylieetteriä (DME). DME on tutkimusasteella oleva dieselmoottoriin soveltuva polttoaine, joka on normaalipaineessa kaasumainen. DME:tä ei tuoteta laajamittaisesti. Japanissa on toiminnassa pilottilaitos, jonka tuotantokapasiteetti on 100 tonnia/d.

DME muistuttaa ominaisuuksiltaan nestekaasua ja vaatii paineistetun säilytyksen. DME:llä, toisin kuin nestekaasulla, on hyvät syttymisominaisuudet. DME ei kuitenkaan ole kovinkaan käytännöllinen polttoaine, koska sillä on erittäin alhainen viskositeetti, alhainen voitelevuus ja korkea haihtuvuus. Moottoreihin tarvitaan korkeapaineinen polttoaineen ruiskutusjärjestelmä. DME:n käyttö tieliikenteen polttoaineena edellyttää investointeja tuotantolaitoksiin, uuteen jakeluinfrastruktuuriin sekä uusiin ajoneuvoihin.

²² www.shellglobalsolutions.com

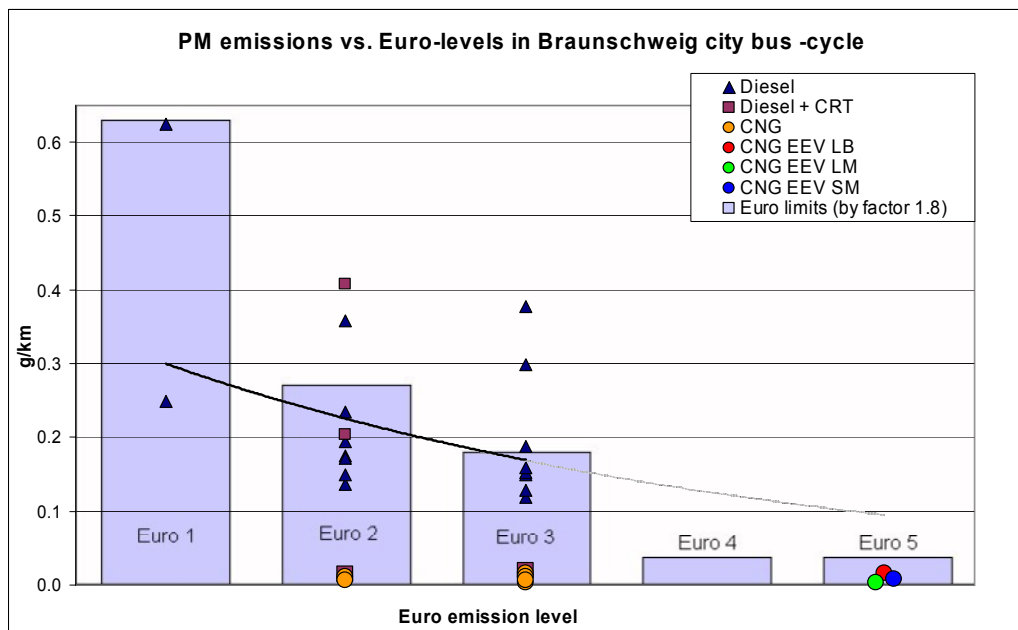
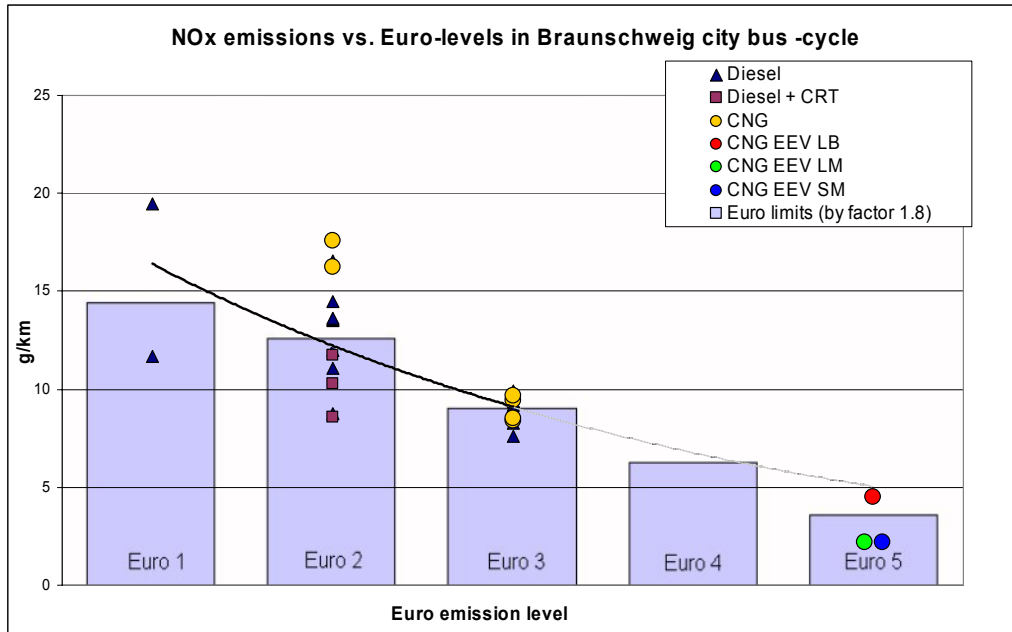
3.5 Maakaasu ja biokaasut

Maakaasun käyttö liikennepolttoaineena on Euroopassa laajentumassa voimakkaasti. Parhaimmat raskaat kaasuautot täyttävät jo nyt tulevat Euro 5 -päästömääräykset (kuva 21). Myös henkilöautoissa maakaasulla voidaan saavuttaa päästövähennyksiä (kuvassa 22 hiukkaspäästöt massana ja lukumäärinä eri tekniikoilla). Korvattaessa bensiiniä maakaasulla saadaan noin 25 %:n CO₂-päästöjen alenema, kun taas nykytekniikalla dieseliä korvattaessa ero ei ole merkittävä. Raskaat kaasumoottorit toimivat ottoperiaatteella (kipinäsytytys), ja niiden hyötysuhde on huonompi dieselmoottoreihin verrattuna. Niinpä hyötysuhde-erot kompensoivat likimain polttoaineen matalamman CO₂-ominaispäästön (päästö/energiayksikkö). Dieselpolttoaineen CO₂-ominaispäästö on 72 g/MJ ja bensiinin 69 g/MJ. Maakaasulla arvo on 56 g/MJ eli 22 % alhaisempi kuin dieselillä.

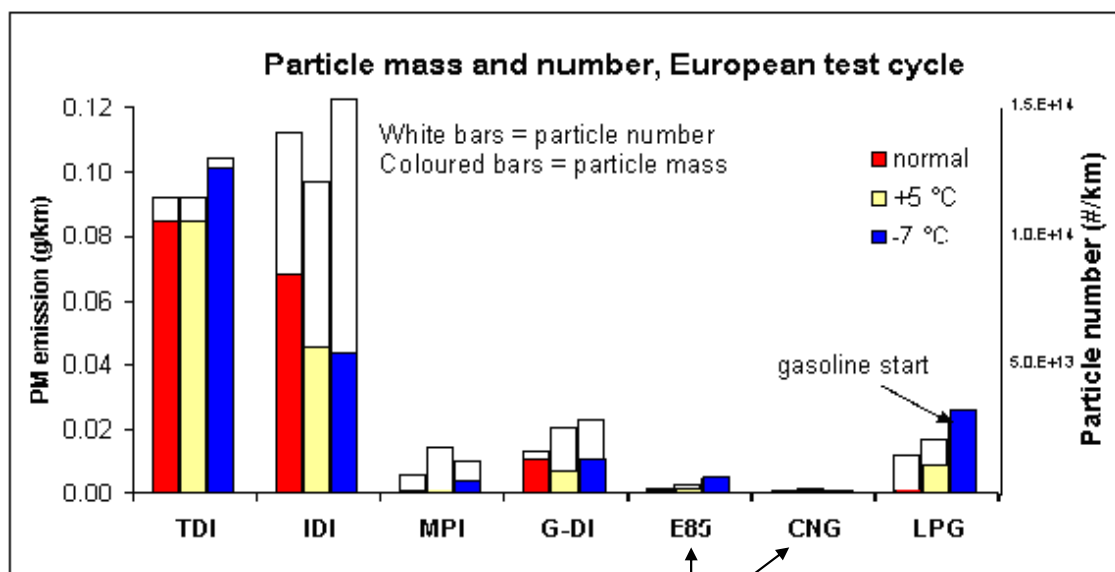
Maakaasun suurin ongelma on se, että se vaatii investointeja sekä korkeapaineisiin tankkausasemiin että erikoisrakenteisiin ajoneuvoihin. Toisaalta vastaavasti nestemäiset biopolttoaineet vaativat investoinnit omiin tuotantolaitoksiin. Ajomatka maakaasulla on rajoitettu, yleensä noin 300 km. Henkilöautoissa on yleensä bensiini-maakaasukaksoispolttoainejärjestelmä, mutta raskaat kaasuaajoneuvot toimivat pelkästään kaasulla, eikä niissä näin ollen ole varapolttoainemahdollisuutta.

Kompressoriasema, joka pystyy pikatankkauksella kattamaan noin 50 bussin polttoainetarpeen maksaa noin 0,5 M€ (10 000 €/auto). Kaasun komprimointityö on 2–3 % korkeapainesäiliöihin syötettävästä energiamäärästä. Jos kompressoreiden tarvitsema sähkö tuotetaan maakaasulla, komprimoinnin tarvitsema energiamäärä vastaa noin 6 %:a kokonaisenergiasta. (Knight 2004)

Tankkausvalmiuksia rakennettaessa autojen määrä ja tankkauskapasiteetti on tasapainotettava tarkkaan. Vaikkakin maakaasun energiahinta on edullinen, paineistetun maakaasun (CNG) hinta asettuu kalliista tankkausjärjestelyistä johtuen tasolle 0,5–0,7 €/loe (bensiniäkvivalentti). Tällä polttoainehinnalla raskaan kaasuauton kokonaiskustannukset (huomioiden kaasuauton lisäkustannukset ja kaasuauton dieseliin verrattuna korkeampi polttoaineen kulutus) ovat likimain samalla tasolla kuin dieselikäytössä (kaasussa vain energiaverot, autosta ei polttoainemaksua). Hankinnassa kaasukäyttöisen bussin lisäkustannukset ovat noin 40 000 € (20 %). Kaasukäyttöinen henkilöauto on 2 000–3 500 € (10 %) bensiiniautoa kalliimpi.



Kuva 21. Bussien päästöarvoja (Nylund 2004).



Etanolilla ja maakaasulla muita polttoaineita alhaisemmat hiukkaspäästöt

Kuva 22. Henkilöautojen hiukkaspäästöt eri polttoaineilla (Aakko & Nylund 2003).

Myös puhdistettu metaanipohjainen biokaasu soveltuu käytettäväksi moottoripolttoaineena. Ruotsista, jossa maakaasua on tarjolla vain eteläisimmässä osassa maata, on useita esimerkkejä biokaasun käytöstä moottoripolttoaineena ja lisäksi myös esimerkkejä maa- ja biokaasun yhteiskäytöstä. Ruotsissa on noin 4 000 ja Euroopassa noin 400 000 kaasuaajoneuvoa.

Pelkän biokaasun varassa toimivat järjestelmät vaativat varapolttoaineen keskeytymättömän toiminnan takaamiseksi. Ruotsissa useassa kohteessa kaasuputkiston ulkopuolella varapolttoaineena on nesteytetty maakaasu (LNG). Voidaan myös todeta, että laajamittainen maakaasun liikennekäyttö vaatisi biokaasun tai LNG:n varapolttoaineeksi.

Biokaasujärjestelmät perustuvat siihen, että biokaasulle käytetään samanlaisia kompressorijärjestelmiä ja ajoneuvoja kuin maakaasulle. Vain kaasun tuotanto ja puhdistus eroavat maakaasusta. Maakaasu-biokaasuratkaisu ei ole yhtä joustava vaihtoehto kuin nestemäiset biopoltoaineet, koska kaasujen käyttö vaatii aina oman tankkausinfrastruktuurinsa ja erikoisvarustellut ajoneuvot.

Koska Suomessa maakaasun liikennekäyttö on edistynyt varsin verkkaisesti (pääkaupunkiseudulla on käytössä noin 80 maakaasubussia), ei voida myöskään olettaa, että biokaasun käyttö yleistyisi kovin nopeasti. Biokaasun käyttö kovin pienissä kohteissa ei liene järkevää, koska tällöin tankkauskompressorien investointi autoa kohden muodos-

tuu merkittäväksi, varsinkin jos tankkausaseman on kyettävä ns. pikatankkaukseen (tankkausaika alle 10 minuuttia).

Yksi mahdollisuus biokaasun käytön edistämiseksi olisi maa- ja biokaasun yhteiskäyttö. Tässä vaihtoehdossa voitaisiin mahdollisesti tulevaisuudessa hyödyntää perinteisen biokaasun lisäksi myös termistä kaasua (kaasutuskaasua). Termisen kaasun potentiaali on biokaasun potentiaalia huomattavasti merkittävämpi. Tämä vaihtoehto vaatisi kuitenkin maakaasujoneuvojen ja -tankkausjärjestelmien nopeaa yleistymistä. Terminen kaasu voisi luonnollisestikin korvata maakaasua myös muissa kohteissa kuin liikenteessä.

3.6 Vety

Vety on usein mainittu tulevaisuuden polttoaineena ja polttokenno tulevaisuuden voimanlähteenä. Tässä keskustelussa on kuitenkin usein unohdettu se, että vety on energian kantaja sähkön tapaan, ei energian lähde. Tällä hetkellä maailman vetytuotanto perustuu yli 95-prosenttisesti maakaasuun. Vety kuitenkin mahdollistaa joko osittain tai kokonaan CO₂-vapaaan energijärjestelmän toteuttamisen, joko ydinenergialla tai uusiutuvas- ta energiasta tuotettuna tai käytettäessä hiilidioksidin talteenottoa fossiilisilla polttoai- neilla. Mahdollinen vetytalouteen siirtyminen tulee kuitenkin viemään aikaa ja vaati- maan merkittäviä investointeja; ehkä suurimpana ongelmana on vedyn laajamittainen hankinta ja sen infrastruktuuri.

Polttokennojen suurin etu on 0-päästötaso ja etenkin bensiinimoottoreita parempi hyö- tysuhde osakuormilla. Vedyllä toimivien polttokennoautojen ongelmia taas ovat mm.

- vedyn varastoinnin vaikeus
- polttokennovoimalaitteiden korkea hinta
 - yli 10,000 €/kW, polttomoottoreilla alle 50 €/kW
- infrastruktuurin puute
- toistaiseksi vetyä ei tuoteta polttoainekäyttöön.

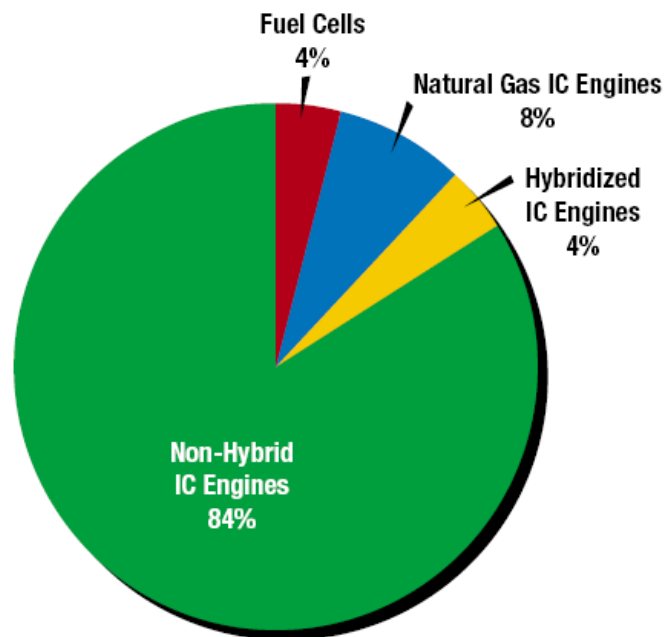
Näistä syistä vetykäyttöiset polttokennoautot tulevat yleistymään hitaasti. Kuvassa 23 on ExxonMobilin arvio (pohjautuu EUCARin lukuihin) autojen voimalaitteista vuonna 2030. ExxonMobil povaa polttokennoille vain 4 %:n osuutta vuonna 2030. Toisaalta, ExxonMobil on myös varovainen ennustaessaan hybridien osuutta. Eräät muut lähteet

ennustavat huomattavasti nopeampaa kehitystä. Esim. J.D. Powers and Associates arvioi, että hybridien osuus nousee 5 %:iin jo vuonna 2013²³.

Suomessa saattaa vuonna 2010 olla mahdollisesti joitain polttokennoautojen koekappaleita ja vuonna 2020 ehkä joitain kymmeniä autoja. Tästä syystä vetyä ei tässä vaiheessa tarvitse erikseen huomioida verotusmielessä. Jos tarve vaatii, vetyä voitaisiin kohdella verotusmielessä samalla tavalla kuin metaania nyt.

Fossiilisesta energiasta lähdettäessä polttokennoajoneuvoilla kokonaisketjun CO₂-päästöetä on bensiinihenkilöautoon verrattuna noin 30 %, kun taas diesel-hybridiauto yltää samaan kokonaishyötysuhteeseen kuin polttokennoauto.

**Internal Combustion (IC) Engines Remain
Primary Technology in 2030**



Source: EUCAR

Kuva 23. Arvio voimalaitteiden jakautumasta vuonna 2030 (ExxonMobil 2004).

²³ <http://www.jdpa.com/news/releases/pressrelease.asp?ID=2003032>

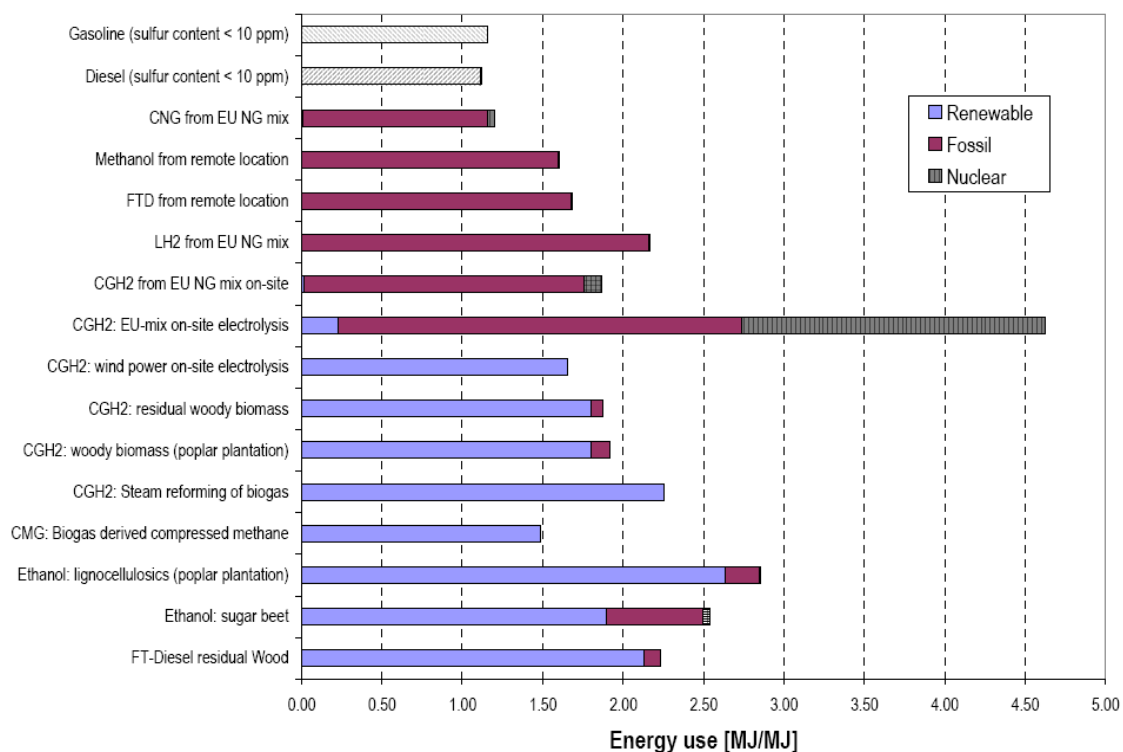
4. Kasvihuonekaasupäästöt

Arviot liikenteen biopolttonesteillä saavutettavista kasvihuonekaasupäästöjen vähene- mistä vaihtelevat raaka-aineen ja prosessin sekä laskennassa käytettyjen oletusten mu- kaan. Tyypillisiä laskentaoletuksia ovat raaka-aineen viljelyssä käytetty energia, raaka- aineiden kuljetuksessa käytetty energia, tuotannon hyötysuhde sekä sivutuotteiden hyö- dyntämisvaihtoehdot. Biodieselillä on esitetty saatavan 50–80 %:n päästövähene- mä verrattuna fossiiliseen dieselpolttoaineeseen ja vastaavasti viljaetanolilla 20–40 %:n päästövähene- mä verrattuna bensiiniin. Puupohjaisilla polttoaineilla on mahdollista saa- da 75–95 %:n päästövähene- mä (Fulton 2002).

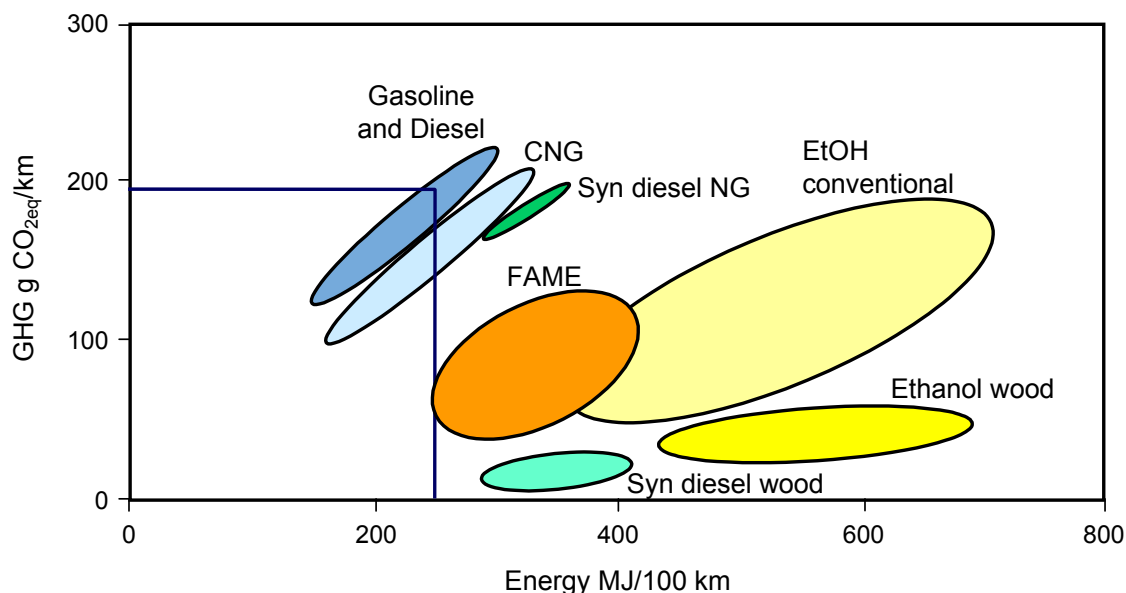
Energia- ja kasvihuonekaasutarkasteluja voidaan tehdä joko koko polttoaineketjun yli (WTW, well-to-wheel) tai osittamalla ketju: polttoaineketjun alkupää (WTT, well-to- tank) ja loppukäyttö (TTW, tank-to wheel). Kattavaa kasvihuonekaasutarkastelua tuo- tannon ja käytön ketjuista perustuen nykytekniikoihin Suomen olosuhteissa ei ole tehty. Tarkastelu tehdään Tekesin ClimBus-teknologiaohjelmassa.

Kuvassa 24 esitetään WTT-energiankäyttö eri polttoainevaihtoehdoille. Kuvaan on bio- polttoaineiden osalta merkitty fossiilisen energian osuus. Bensiinin, dieselin ja paineis- tetun maakaasun osalta tarvitaan 1,15–1,2 MJ kokonaisenergiaa per säiliöön tuotu 1 MJ lämpöarvoa. Kaikki muut vaihtoehdot ovat energiaintensiivisempiä, suhteen ollessa keskimäärin 2 biopolttoaineilla ja peräti 4,5 elektrolyysillä tuotetulla vedyllä (sähkön- tuotanto keskimääräisellä EU:n tuotantosuhteella, EU mix).

Kuvassa 25 esitetään energiankulutus- ja kasvihuonekaasupäästöarvioita henkilöautojen eri polttoaine- ja tekniikkavaihtoehdoille (WTW). Uusilla polttoaine- ja ajoneuvovaih- toehdoilla tulisi pyrkiä parempaan kokonaistilanteeseen kuin bensiinillä ja dieselillä (energiankulutuksen tulisi olla alle noin 250 MJ/100 km ja kasvihuonekaasupäästöjen alle noin 200 g CO₂ekv/km). Kuva osoittaa, että uusiutuvaan energiaan perustuvat vaihto- ehdot ovat keskimäärin energiaintensiivisempiä kuin perinteiset vaihtoehdot bensiini ja diesel. Klassisilla biopolttoaineilla (viljapohjaisella etanolilla, RME:llä) saavutetaan keskimäärin noin 50 %:n kasvihuonekaasuvähene- mä. LBST:n (2002) arvioissa poltto- moottoriautojen ja polttokennoautojen hyötysuhde-ero on arvioitu varsin suureksi. Ku- ten edellä (kohdassa 3.6) todettiin, diesel-hybridi antaa saman hyötysuhteen kuin poltto- kennoauto.



Kuva 24. Eri polttoaineiden well-to-tank-energiälukuja (LBST 2002), CNG = synteettinen maakaasu, FTD = Fischer–Tropsch-diesel, LH2 = nesteytetty vety, CGH2 = paineistettu kaasumainen vety, CMG = paineistettu metaani.



Kuva 25. Henkilöautojen kokonaisenergiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt eri tekniikkavaihtoehdoilla (Concawe/JRC 2003).

Suomen olosuhteisiin ei ole tehty vastaavia kattavia eri polttoaineketjujen kasvihuonekaasupäästöarvioita. Suomessa polttoaineketjujen kasvihuonekaasupäästöjä ja kustannuksia on tarkastellut kattavasti viimeksi Steven Gust Fortumilta 1990-luvun puolivälissä. Taulukossa 7 esitetään Gustin arvio biopolttoaineiden vaikutuksesta Suomen kasvihuonekaasutaseeseen. Koska uudempia arvioita ei ole, Tekesin ClimBus-teknologiaohjelmassa on käynnistymässä hanke, jossa tarkastellaan liikenteen biopolttoaineiden eri tuotanto- ja käyttöketjujen mahdollisuuksia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä sekä arvioidaan vältettyjen kasvihuonekaasupäästöjen kustannuksia Suomen olosuhteissa. Peltojen noon-food-käytöstä tarkastellaan sekä liikennekäyttöä että ruokohelven käyttöä kiinteänä biopolttoaineena.

Taulukko 7. Biopolttoneiteiden vaikutus Suomen kasvihuonekaasutaseeseen (Gust 1997, Solantausta & Gust 1994).

Raaka- aine	Pinta-ala x saanto = määrä			Polttoaine	Netto- energia Mtoe/a	Kokonaisvaikutus % vähennys vuotuisessa CO ₂ -taseessa
	1000 ha	t ka/ha	Mt/a			
ohra	300	3,4	1,2	etanoli	0,051	-0,2
rypsi	100	2	0,2	RME	0,042	-0,4
metsä- tähde	400	9	3,5	metanoli	0,7	-5
	400	9	3,5	pyrolyysiöljy (lämmityk- seen)	0,9	-6
viljelty puu	500	7	3,5	metanoli	0,7	-6
	500	7	3,5	pyrolyysiöljy (lämmityk- seen)	0,9	-6

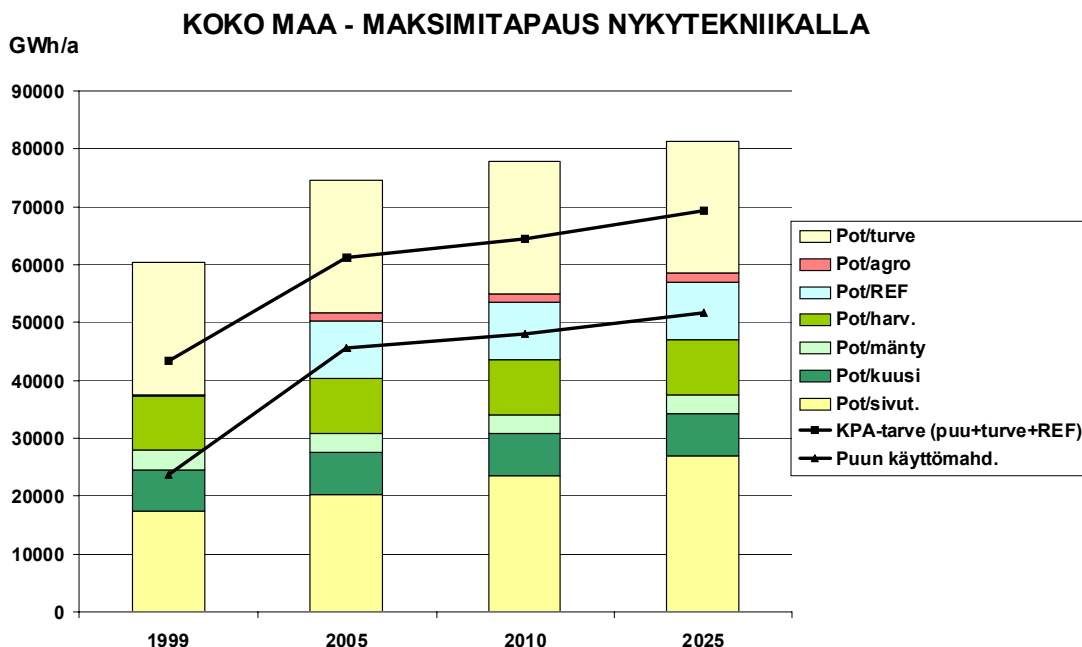
Tuotantomäärät suuria raaka-ainehuollon kannalta.

5. Toimintavaihtoehtoja Suomessa

5.1 Bioenergian kilpailutilanne Suomessa

Suomessa bioenergialla katetaan noin 20 % kokonaisenergian tarpeesta ja noin 10 % sähkön kokonaiskulutuksesta. Nykyisin 80 % käytetystä bioenergiasta on metsäteollisuuden sivutuotteita ja jätteitä, joilla tuotetaan höyryä teollisuudelle sekä kaukolämpöä ja sähköä. Suomessa metsien hakkuita voidaan lisätä seuraavina vuosina vain hieman nykyisestä. Metsäteollisuuden tuotantoa ei Suomessa voida laajentaa merkittävästi, ellei puun tuontia lisätä edelleen. Suomessa biopolttoaineiden kysyntä sähkön- ja lämmöntuotantoon, erilliseen lämmöntuotantoon sekä liikennepolttoaineiksi vuoteen 2010 ja 2020 ylittää selvästi puu-, pelto- ja kierrätyspolttoaineiden nykyiset taloudelliset tuotantomahdollisuudet. (Helynen ym. 2003)

Bioenergian käyttöä voidaan lisätä ottamalla käyttöön tällä hetkellä hyödyntämättä jääviä biomassoja. Suurimpia eriä ovat metsän hakkuiden ja harvennusten hakkuutähteet ja kaatopaikalle päätyvät eloperäiset jätteet. Suomen biomassavarat arvioitiin Tekesin Climtech-teknologiaohjelmassa (Helynen ym. 2002). Lisäpuuta, pääasiassa metsähaketta ensiharvennuksista ja päätehakkuista, olisi mahdollista saada energiamarkkinoille 36–84 PJ/a (0,86–2,0 Mtoe/a) vuoden 1999 tasosta vuoteen 2010 (kuva 26). Lisäksi jäteperäisiä kierrätyspolttoaineita olisi mahdollista saada lisää noin 1 Mtoe/a.



Kuva 26. Suomen biomassavarat maksimitapauksessa sekä kiinteän polttoaineen tarve (Helynen ym. 2002).

Energiasektorilla biomassoista voidaan tuottaa sähköä, lämpöä, jalosteita (pellettejä, bioöljyjä) lämmityssektorille sekä liikenteen polttoaineita. Lisäsähkön tuotanto, lämmitysöljyn korvaus ja liikenteen biopolttoaineet ovat samasta raaka-aineesta kilpailevia vaihtoehtoja. Kaiken kaikkiaan biopolttoaineiden käyttökohteita on enemmän kuin koh- tuukustannuksin tarjolla olevia biopolttoaineita. Myös lastu- ja kuitulevytehtaiden raa- ka-aineiden hankinta tapahtuu samoilta kilpailluilta polttoainemarkkinoilta kuin energi- antuotantolaitosten ja sellutehtaiden.

Climtech-selvityksessä (Helynen ym. 2002) arvioidut biopolttoaineiden käytön lisäys- mahdollisuudet teollisuudessa, kaukolämmityksessä ja kiinteistölämmityksessä ovat 1,2 Mtoe/a perustapauksessa ja 3,0 Mtoe/a maksimitapauksessa vuodesta 1999 vuoteen 2010 (taulukko 8). Saatavissa oleva lisäbiopolttoaine on vastaavasti 1,1 Mtoe/a ja 3,3 Mtoe/a. Esimerkiksi 0,2 Mtoe liikennepolttoaineita edellyttäisi puuraaka-aineena noin 0,4–0,5 Mtoe. Mahdollisia käyttökohteita on siis perustapauksessa hieman enemmän kuin tarjolla olevia edullisimpia biopolttoaineita, jos liikenteen polttoaineita ei tuotettaisi lainkaan metsäteollisuuden sivutuotteista tai metsätähteistä. Käyttökohteet ja poltto- aineiden tuotantomahdollisuudet eivät ole myöskään jakaantuneet tasaisesti, mikä edel- leen vähentää laitoksilla käytettävissä olevaa biopolttoainemäärää.

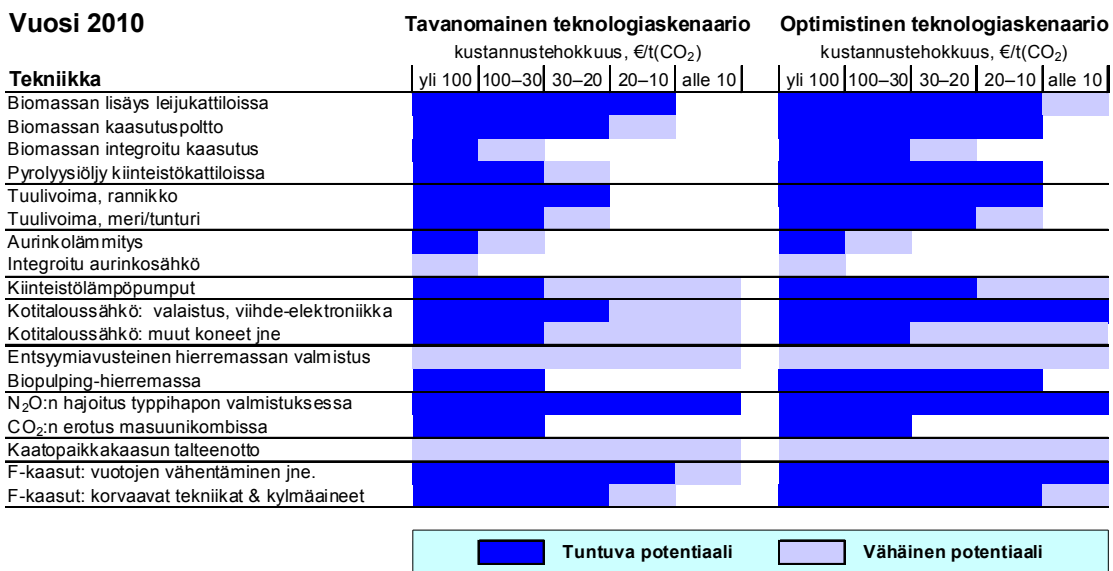
Taulukko 8. Biopolttoaineiden käytön lisäysmahdollisuudet.

Käyttökohte	Laskenta- vaihtoehdot	Arvioitu lisäys- mahdollisuus vuodesta 1999 vuoteen 2010 Mtoe/TWh	Hiilidioksidipäästöjen vähennys milj. tonnia
Kiinteistölämmitys	Perustapaus Maksimitapaus	0,5 / 5,8 0,8 / 9,3	1,4 2,2
Suurkäyttökohteet	Perustapaus Maksimitapaus	0,73 / 8,5 2,2 / 25,6	1,4–2,3 5,2–8,7
Liikennekäyttö	Perustapaus (3 %) Maksimitapaus (5,75 %)	0,25/2,9 0,5/5,8 (metsätähdettä tai REF:ää)	0,5 1,0
YHTEENSÄ	Perustapaus Maksimitapaus	1,2–1,5 / 14,3–17,2 3,0–3,5 / 34,9–39,7	2,8–4,2 7,4–11,9
Saatavilla oleva lisäbiopolttoaine	Perustapaus Maksimitapaus	1,1/ 13 3,3 / 38	

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistoimenpiteenä bioenergian hyödyntäminen CHP- tuotannossa on edullisin vaihtoehto. Eri teknologioiden kustannustehokkuutta ja poten- tiaaleja kasvihuonekaasujen rajoittamisessa on arvioitu Tekesin Climtech-teknologia- ohjelmassa (kuva 27); arvioinneissa ei ollut mukana bioenergian käyttöä liikenteessä. Bioenergian hyödyntäminen kiinteistöjen lämmityksessä on hieman kalliimpi vaihtoehto

mutta kuitenkin edullisempi kuin käyttö liikenteen biopolttoaineena. Hyödyntäen jättepohjaisia raaka-aineita ja onnistuneella integroinnilla liikenteen biopolttoaineille kustannustaso 20–40 €/t CO₂ voisi olla mahdollinen, metsätähdeintegraateissa synteetikaasutekniikalla taso olisi 40–120 €/t CO₂ ja peltopohjaiset olisivat tasolla yli 200 €/t CO₂. Jos bioöljyä (pyrolyysiöljyä) valmistettaisiin stationäärikäyttöön, olisi mahdollista päästä tasolle 20 €/t CO₂. Vältetyn CO₂-tonnin hintaerojen tasoittuminen edellyttäisi periaatteessa EU:n liikenteen ja sähkön tuotannon ja käytön verotuskohtelun muuttumista tai muuta taloudellista ohjausta. Tulevina vuosina ja vuosikymmeninä raakaöljyn hintakehitys vaikuttaa oleellisesti vältetyn CO₂-tonnin hintoihin liikenteen biopolttoaineilla.

Teknologioiden kustannustehokkuus



Kuva 27. Arvio eri prosessien kustannustehokkuudesta kasviuonekaasupäästöjen vähentämisessä (Tekesin Climtech-teknologiaohjelma).

Päästökauppa alkaa EU:ssa vuoden 2005 alussa. Vuoteen 2010 on päästöoikeuksien hinnan arvioitu eri lähteissä pysyvän vielä maltillisena noin 10 €/t CO₂:n tasolla. Päästökaupan arvioidaan kuitenkin nostavan sähkön hintaa arviolta 10 %, mikä lisää myös maksukykyä biopolttoaineille. Teoreettisesti 28 €/t CO₂:n hintataso voisi ohjata jo metsäteollisuuden raaka-ainetta sähkön ja lämmön tuotantoon ja aiheuttaa metsäteollisuuden raaka-ainehuoltoon häiriöitä. Päästökaupan kolmannen vaiheen käynnistyessä vuonna 2012 todennäköisesti hintataso nousee merkittävästi.

5.2 Jätehuolto ja liikenteen biopolttoaineet

Kansallisessa biojätestrategiassa on esitetty osana kansallista ilmastostrategiaa toimenpiteitä biologisesti hajoavan materiaalin vähentämiseksi, kierrättämiseksi ja hyödyntämiseksi energiana. Näillä toimenpiteillä tähdätään kaatopaikoille sijoitettavan materiaalin vähentämiseen; EU:n kaatopaikkadirektiivi edellyttää vuoteen 2016 mennessä kaatopaikoille sijoitettavan vain 35 % siitä määrästä, joka sijoitettiin vuonna 1994.

Kotitalouksien ja elintarviketeollisuuden biojäte voidaan kompostoida maanparannusaineksi tai mädättää biokaasuksi. Kotitalouksien kuivajätteestä sekä kierrätykseen soveltumattomista teollisuuden ja kaupan pakkausjätteistä voidaan valmistaa kierrätyspolttoaineita energiasektorille. Ympäristöviranomaiset ovat arvioineet valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa jätteiden energiakäytön tarpeeksi noin 1 milj. tonnia/a. Vuoden 2006 alusta myös vanhoilla laitoksilla voimaantuleva jätteenpolttodirektiivi asettaa rajat savukaasupäästöille. Viranomaiset ohjaavat jätevirtoja, julkisilta kaatopaikoilta perittävä jäteveronousee vuoden 2005 alusta 23 €:sta 30 €:oon/t.

Jäteperäisistä raaka-aineista voidaan valmistaa sekä nestemäisiä että kaasumaisia liikenteen polttoaineita. Nykyisin Euroopassa valmistetaan kaupallisesti sekä biodieseliä käytetyistä kasvirasvoista että biokaasua jätevedenpuhdistamoilla. Biokaasuja voidaan käyttää puhdistettuna ja paineistettuna maakaasujoneuvoissa joko puhtaana tai seoksina maakaasun kanssa. Pääosa biokaasusta käytetään kiinteissä kattiloissa tai moottoreissa sähkön ja lämmön tuotantoon. Nestemäisiä polttoaineita voidaan valmistaa kaasuttamalla kiinteitä jätteitä tai kierrätyspolttoaineita synteetikaasuksi. Muutama kiinteän jätteen kaasutuksen demonstrointilaitos on tuotannossa Euroopassa. Myös jätemuoveja käytetään sekä kaasutus- että pyrolyysilaitoksissa dieselöljyä korvaavien tuotteiden valmistukseen esim. Japanissa. Sokeri-, tärkkelys- ja selluloosapitoisista jätteistä voidaan valmistaa etanolia hydrolyysin ja fermentoinnin avulla. Lisäksi elintarviketeollisuudesta syntyy eläinrasvoja ja käytettyjä kasviöljyjä, joita rajoitetusti voidaan käyttää myös liikenteen biopolttoaineiden valmistukseen.

Jätepohjaiset raaka-aineet ovat halvan hintansa takia kiinnostava vaihtoehto myös liikenteen biopolttoaineiden valmistamiseksi. Liikenteen biopolttoaineiden valmistaminen kilpailee muiden energia- ja materiaalihyötykäyttövaihtoehtojen kanssa. Kierrätyspolttoaineiden mahdolliset laatuvaihtelut ja määrälliset saannin vaihtelut saattavat heikentää niiden houkuttelevuutta laajoihin investointeihin. Suomessa yhdyskuntajätteitä syntyy vähemmän kuin Keski-Euroopassa pienen väestömäärän vuoksi. Tässä raportissa jätteitä on nähty mahdolliseksi käyttää biokaasuna, käytettyinä kasviöljyinä ja eläinrasvoina synteettisen biodieselin valmistuksessa sekä kiinteänä polttoaineena synteetikaasun valmistuksessa. Esim. etanolin tuotantomahdollisuudet elintarviketeollisuuden sokeri- ja tärkkelyspitoisista jätteistä todettiin vähäisiksi käsiteltyllä tarkkuudella; maksimissaan etanolin määrä olisi joitakin tuhansia tonneja vuodessa.

5.3 Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöskenaarioita Suomessa vuonna 2010

Liikenteen biopolttoaineiden hyödyntämisen perusskenaariona on tuoda maahan joko Euroopassa tai maailmanmarkkinoilla tuotettua polttoaine-etanolia, kasviöljyjä tai niiden johdannaisia. Niiden hintatasoksi muodostunee tuonnissa se eurooppalainen taso, mikä maksetaan (korkeamman) verotuen avulla eri EU-maissa. Esimerkiksi Saksassa biopolttoaineet on kokonaan vapautettu polttoaineveroista, jotka ovat 47 snt/l dieselille ja 65 snt/l bensiinille²⁴ (päätös on voimassa vuoden 2009 loppuun). Suomen polttoainemarkkinat ovat niin pienet, että muita maita halvemmalla tuonti on tuskin laajasti mahdollista. Euroopan markkinoille ei ole myöskään saatavissa suuria eriä niin edullisia biopolttoaineita, että tuontipolttoaineita voitaisiin hyödyntää ilman tukitoimia.

Tällä hetkellä kaupallista tekniikkaa on vain perinteisten biopolttonesteiden, siis viljelykasvipohjaisen etanolin sekä biodieselin, tuottaminen. Lisäksi eräissä maissa on demonstrointihankkeita biokaasun liikennekäytöstä. Suomessa ei ole kaupallista liikenteen biopolttoaineiden tuotantoa. Taulukkoon 9 on arvioitu liikenteen biopolttoaineiden tuotantoskenaarioita Suomessa kotimaisista raaka-aineista vuonna 2010.

Jos biopolttoaineiden valmistusta varten rakennettaisiin uudet etanoli- tai biodieseltehtaat, edellyttäisi investoija tehtaalleen todennäköisesti selvästi yli kymmenen vuoden pitoaikaa ja vastaavia veropäätöksiä. EU:ssa ei liene hyväksyttäviä järjestelyjä, joilla voitaisiin edellyttää em. tehtaissa käytettävän vain kotimaista raaka-ainetta, vaan todennäköisesti pääosa tuotannosta perustuisi kansainvälisiltä markkinoilta ostettuun raaka-aineeseen. Esim. polttoaineverotukia ei voida rajoittaa koskemaan vain kotimaista alkuperää olevia tuotteita (EY:n verosyrjintäkielto).

Suomessa voitaisiin kesantopeltoja hyödyntäen tuottaa joko viljaetanolia tai RME:tä. Tuotantomääriä rajoittavat suurien tukitarpeiden lisäksi viljelytekniset rajoitukset, esim. rypsin vuoroviljely. Viljelyalojen perusteella arvioituna tuotanto voisi olla 50 000–100 000 toe/a. Viljelykasvipohjaisen etanolin ja biodieselin tuotantomahdollisuuksien kotimaisista raaka-aineista arvioitiin olevan vähäinen käsitellyllä tarkkuudella. Kustannustehokkaampi peltojen non-food-vaihtoehto olisi ruokohelven viljely kiinteäksi polttoaineeksi sähkön ja lämmön tuotantoon kuin em. liikenteen polttoaineiksi.

Kaasumaisten biopolttoaineiden käyttöä liikenteen polttoaineena rajoittavat kaasun saataavuus, polttoainejakelun logistiikka sekä vaadittavat investoinnit tankkausasemiin ja kaasujoneuvoihin. Taulukossa 9 esitetyssä skenaariossa arvioidaan biokaasun liikennekäytön potentiaaliksi 1,7 PJ/a, mikä on kolmannes jätevedenpuhdistamoiden, kaatopaikkojen

²⁴ <http://www.ufop.de/3225.htm>

ja yhdyskuntien biojätteiden osuudesta Suomen biokaasupotentiaalista. Elektrowatt–Ekonon (2003) arvion mukaan Suomen kaatopaikka- ja biokaasun tekninen potentiaali vuonna 2010 olisi yhteensä 6,6 PJ (1,82 TWh, 360 milj. m³). Biokaasun liikennekäytön edistämiseksi on olennaista maa- ja biokaasun yhteiskäyttö, mikä turvaa polttoainehuoltoa sekä kaasun jakeluinfrastruktuurin ja riittävän suuren ajoneuvokaluston hankinnat.

Niin EU:n tutkimusohjelmissa kuin Suomessa Tekesin tutkimus- ja tuotekehitysrahoituksella kehitetään edullisempia, ei-viljelykasvipohjaisia ratkaisuja. Niissä käytetään raaka-aineena pääosin metsätähteitä, yhdyskuntajätteitä sekä teollisuuden biomassapohjaisia sivuvirtoja. Tavoitteena olisi tuottaa nykyisiä biopolttoainetuotteita, kuten etanolia, metanolia tai biodieseliä, käytettäväksi seoksina bensiinin ja/tai dieselpolttoaineen joukossa nykyisissä ajoneuvoissa. Tällöin ei polttoaineiden jakelujärjestelmiin eikä ajoneuvoihin tarvittaisi muutoksia eikä lisäkustannuksia.

Periaatteessa Suomessa olisi tulossa markkinoille riittävästi puu- ja jättepohjaisia raaka-aineita direktiivin vuoden 2010 tavoitteen mukaisen biopolttonestemäärän tuottamiseksi. Uuden puupolttoainepotentiaalin oletetaan kuitenkin menevän markkinaehtoisesti pääasiassa teollisuuden ja yhdyskuntien kasvavaan yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon. Päästökauppa voi lisätä myös biopohjaisen lauhdesähkön tuotantoa isoissa sähköä ja lämpöä tuottavissa voimalaitoksissa. Metsätähteiden korjuun oletetaan tehostuvan vuoteen 2010 sekä korjuuteknologian että markkinoiden maksukyvyyn ansiosta.

Puu- ja jättepohjaisia raaka-aineita hyödyntävät liikenteen biopolttoaineiden tuotantoteknologiat ovat vielä kehitteillä, joten mahdollisen kaupallisen tuotannon raaka-ainevarat ja hinta on vaikea ennustaa. Keski-Euroopassa isojen laitosten on esitetty perustuvan laivalla tapahtuvaan raaka-aineiden kaukotuontiin. Synteesikaasupohjaisen tekniikan on arvioitu voivan kaupallistua ensimmäisissä demonstrointilaitoksissa vuoteen 2010 mennessä, jos tutkimus- ja kehitystyöhön panostetaan riittävästi. Ensimmäiset kaupalliset koelaitokset voisivat olla tuotannossa Euroopassa 10 000–60 000 toe:n/a kokoluokassa arviolta vuosina 2008–2010. Raaka-aineiden kulutus olisi tällöin prosessista riippuen 20 000–150 000 toe/a (0,8–6,2 PJ/a). Laajamittainen biopolttonestetuotanto voisi olla mahdollista vuosiin 2015–2025 mennessä. Puupohjaisen etanolin tuotannon ei arvioida olevan kaupallista vielä vuoteen 2010 mennessä, koska vuonna 2004 käynnistyi vasta ensimmäinen pienimuotoinen pilottilaitos (Örnsköldvik, Ruotsi). Kehityspanosten uusiin tekniikkoihin tulisi olla huomattavia, 20–100 M€ demonstrointilaitosinvestointi mukaan lukien.

Fortum Oil and Gas Oy on esittänyt suunnitelman käynnistää lähivuosina biodieselin tuotanto kasviöljyistä ja eläinrasvoista pohjautuen prosessiin, joka ei perustu esterointiin vaan jossa tuotetaan perinteistä dieselpolttoainetta vastaavia hiilivetyjä. Kotimaisista raaka-aineista (käytetyistä kasviöljyistä ja eläinrasvoista) tuotannon on arvioitu olevan noin 20 000 toe/a, mikäli elintarviketeollisuuden raaka-ainekäyttö jatkuu nykyisellään. Pääosa raaka-aineista olisi tuontia ulkomailta. Arvioitu laituskapasiteetti on 160 000–180 000 t/a.

Taulukko 9. Liikenteen biopolttoaineiden tuotantoskenaarioita Suomessa kotimaisista raaka-aineista vuonna 2010, uuden tekniikan ensimmäiset demonstraatiolaitokset. Direktiivin mukainen ohjeellinen tarve vuonna 2010 215 000 toe.

Polttoaine	Tuotanto, toe/a	Tuotanto, PJ/a
RME tai viljapohjainen etanoli kesantopelloilta, viljapohjainen etanoli oletettu liian kalliiksi, rypissä viljelyrajoite	0–20 000	0–0,8
Biokaasu liikennekäyttöön, kolmannes potentiaalista (kaatopaikat, jätevedenpuhdistamot, biojäte), edellytyksenä maakaasu tukipolttoaineena	40 000	1,7
Energiamarkkinoille tuleva lisäpuu ja kierrätyspolttoaine synteetisikaasupohjaisiin tuotteisiin, 1. demolaitos	40 000–60 000	1,7–2,5
Kotimaiset eläinrasvat ja käytetyt kasviöljyt synteettisen biodieselin tuotantoon, 1. kaupallinen laitos, johon myös tuontiraaka-aineita (myös puhtaita kasviöljyjä)	20 000	0,8
Yhteensä	100 000–140 000*	4,2–5,8

* vastaa n. 2,5–3,5 %:a Suomen tieliikenteen arvioidusta polttoainekulutuksesta v. 2010

Perinteisillä biokomponenteilla on käyttörajoituksia, mutta niiden käyttömahdollisuudet ovat kuitenkin suuremmat kuin tuotantomahdollisuudet kotimaassa kotimaisiin raaka-aineisiin perustuen. Taulukossa 10 esitetään selvityksessä arvioidut vaihtoehtoisten polttoaineiden (biopolttoaineiden, maakaasun, vedyn) maksimiosuudet liikenteen polttoaineiden kulutuksesta Suomessa vuoteen 2020 mennessä.

Taulukko 10. Arvio vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden maksimiosuuksista liikenteen polttoaineiden kulutuksessa Suomessa, biopolttoaineet kotimaisista raaka-aineista.

	2005	2010	2020
Biopolttoaineet	0,01 %	3 % – synt. biodiesel 0,5 % – biokaasu 1 % – biopohj. bensiinikomponentit / F–T-diesel 1–1,5 %	5 %
Maakaasu	0,1 %	0,5–1 %	3 %
Vety			< 0,01 %

Maakaasun ja biokaasun osuus eivät ole yhteenlaskettavissa. Ajoneuvojen määrä rajoittaa.

Seuraavassa esitetään perustelut taulukon 10 arvioille.

Biopolttoaineet:

- Kasviöljy- ja eläinrasvapohjaisista tuotteista synteettinen biodiesel on käyttöominaisuuksiltaan paras vaihtoehto; kotimaiset jäterasvat riittävät vuonna 2010 alle 0,5 prosenttiyksikköön.
- Kaikki kotimainen rypsiöljy menee tällä hetkellä elintarvikkeiksi; biodieselin laajamittainen tuotanto edellyttäisi tuontia.
- Biopohjaisia bensinikomponentteja (MTBE/ETBE) tai F–T-dieseliä riittäisi vuonna 2010 1–1,5 prosenttiyksikköön; edellyttää uuden synteesikaasuteknologian kehitystyön onnistumista ja ensimmäisen kaupallisen laitoksen rakentamista Eurooppaan.
- Biokaasun käyttö valikoidussa kalustossa voi olla vuonna 2010 noin 1 %, noin 1 000 ajoneuvoa; edellyttää maakaasua varapolttoaineeksi.
- Edellyttäisi julkista tukea teknologian kehittämiseen, investointiavustusta uudelle teknologialle sekä polttoaineverohuojennuksia. Verohuojennukset olisivat biodieselinille 8 M€/a (20 000 toe x 0,32 €/l), biometanolille (MTBE) 65 M€/a (40 000 toe metanolia x 59 c/l) ja biokaasulle 15 M€/a (40 000 toe x 0,32 €/l) vuonna 2010. Em. verotuki on laskettu täydellisellä polttoaineverohuojennuksella; mahdollisesti osittainkin huojennus voi olla riittävä riippuen fossiilisten liikennepolttoaineiden tulevasta hintakehityksestä.

Maakaasu:

- Huoltovarmuus on ongelma (jollei biokaasua ole varapolttoaineena).
- Vuonna 2020 1–5 % on mahdollinen, jos selvä hintaetu dieselpolttoaineeseen verrattuna, ei kovin todennäköinen.
- Lähinnä julkisessa liikenteessä (ei henkilöautoissa), vuonna 2010 0,5–1 %, autojen lukumäärä 500–1000 (ei yhteenlaskettavissa biokaasuaajoneuvojen kanssa).
- Alhainen päästötaso helpommin saavutettavissa kaasulla kuin dieselillä.
- Mahdollisesti rakentuva infrastruktuuri palvelisi myös biokaasua.
- Maakaasun matalan verotason ja biokaasujen verottomuuden tulisi säilyä, merkitys vuositasolla 11 M€/a (30 000 toe x 0,32 c/l) (dieselautoihin verrattuna).

Vety arvioitiin vuoteen 2020 asti marginaaliseksi vaihtoehdoksi (<0,01 % liikenteen polttoainekulutuksesta). Suomessa saattaa vuonna 2010 olla mahdollisesti joitakin polttokennoautojen koekappaleita ja vuonna 2020 ehkä joitakin kymmeniä autoja. Niitä voitaneen verotuksessa käsitellä erityisenä demonstrointikohteena.

Energiasektori aiheuttaa suurimman osan, yli 80 %, Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Vuoden 2000 kansallisessa päästöinventaarissa liikennepolttoaineiden osuus Suomen kasvihuonekaasupäästöistä oli 18 %. Yhteensä Suomen kasvihuonekaasujen päästöt olivat vuonna 2000 75 miljoonaa tonnia CO₂-ekvivalenttia (Savolainen ym. 2003). Jos liikenteen polttoaineista korvataan 3 % biopolttoaineilla, sen merkitys Suomen kasvihuonekaasutaseessa on noin 0,3–0,6 % ja liikennesektorin päästöistä 1,5–2,5 %.

Jos oletetaan Suomessa haluttavan käyttää vuonna 2010 noin 3 % eli 110 000 toe/a biopolttoaineita ja jos myönnettäisiin dieselin polttoaineiveroa vastaava verohelpotus 32 c/l (esim. Saksassa dieselin 47 c/l:n polttoaineiverohelpotus) koko määrälle, merkitsisi se vuodessa valtiolta verotukea runsaat 30 M€/a. Vastaavasti bensiinin polttoaineiveroa vastaavalla verohelpotuksella 59 c/l verotuki olisi runsaat 55 M€.

VTT (Halonen ym. 2003) on arvioinut bioenergian tuotanto- ja käyttöketjujen suoria työllisyysvaikutuksia. Liikenteen biopolttonesteiden osalta on tehty karkea arvio työllistävyydestä, koska tarkemmat suunnitelmat liikenteen biopolttonesteistä ovat tekemättä. Arvion pohjana on käytetty työryhmän ehdotuksessa uusiutuvan energian edistämisohjelmaksi esitettyä alustavaa käyttötavoitetta vuodelle 2010 (3,2 PJ, 2 % liikenteen kokonaispolttoaineiden käytöstä). Arviossa oletettiin, että tuotanto jakautuisi RME:n ja ohraetanolin tuotannon välillä energiamäärän suhteen siten, että ohraetanolia on noin kolmannes. Arviossa oletettiin, ettei viljely eikä raaka-aineiden tai tuotteiden kuljetus lisäänty vaan työvoiman tarve kasvaa ainoastaan varsinaisissa tuotantoprosesseissa. Työvoiman tarpeeksi arvioitiin yhteensä 140 henkilöä.

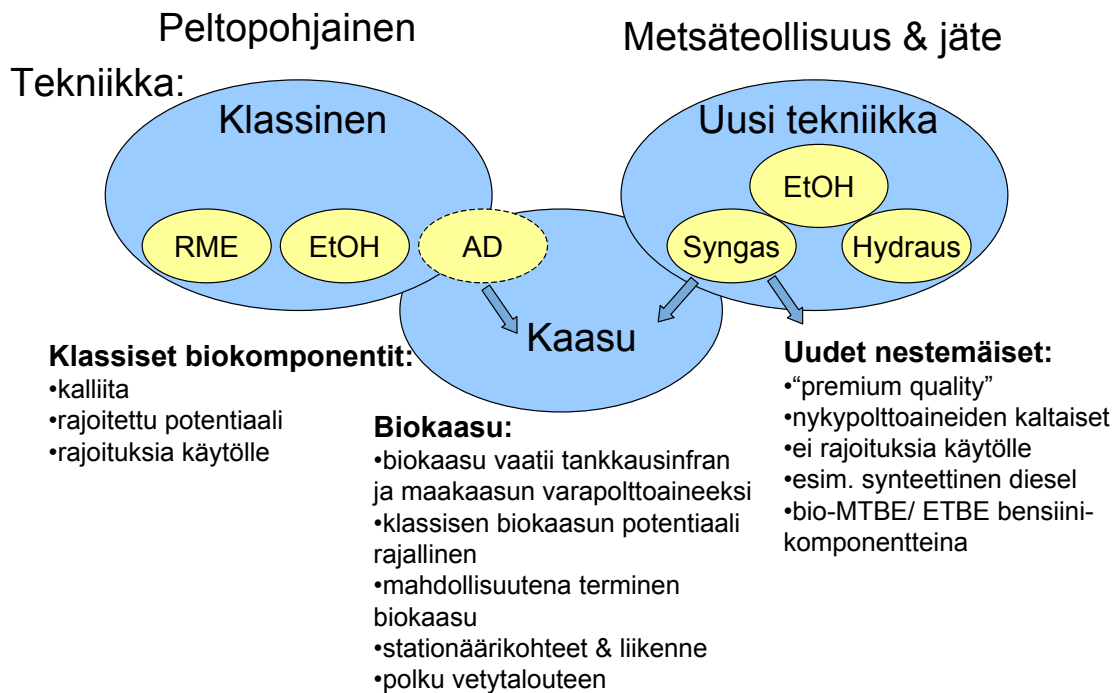
5.4 Teknologiavaihtoehtojen käyttöönotosta

Yhteenveto eri vaihtoehdoista liikenteen biopolttoaineiksi on kuvassa 28.

Jos vaihtoehtoisia liikennepolttoaineita halutaan kehittää Suomessa, voidaan kuvata seuraavat mahdolliset teknologiavaihtoehdot ja etenemispolut:

- synteesikaasun valmistus, biopolttonesteiden (metanoli, F–T-polttonesteet) tuotanto, demolaitoksen aikaisin arvioitu käynnistyminen vuonna 2010
- biokaasun käyttö liikenteessä ja maakaasuverkossa, demonstroitu ulkomailla
- selluloosapohjaisen etanolin tuotanto, pienimuotoinen pilottilaitos Ruotsissa
- puun pyrolyysiöljy, öljy kiinteistöjen lämmitykseen tai mahdollisesti jalostamolle liikenteen polttoaineiden tuotantoon, pilottilaitos Suomeen vuosien 2008–2010 aikana
- synteettisen maakaasun (SNG) tuotanto ja käyttö maakaasuverkossa, demolaitoksen rakentamisvalmius kehitystyön onnistuessa arviolta vuosien 2008–2012 aikana.

Raaka-aine:



Kuva 28. Biopolttoainevaihtoehdot.

Kaasumaisten biopolttoaineiden käyttöä rajoittavat kaasun saatavuus, polttoainejakelun logistiikka sekä vaadittavat investoinnit tankkausasemiin ja kaasujoneuvoihin. Liikennöitsijän kannalta kaasujoneuvojen hankintahinta on korkeampi. Kuorma- ja linja-autojen hankintahinta on noin 20–30 % dieselajoneuvon hankintahintaa suurempi ja polttoainekustannukset on noin 70–80 % dieselpolttoainekustannuksista, jos nykyiset Suomen veroratkaisut pysyisivät voimassa myös tulevaisuudessa. Suomessa biokaasusta ei suoriteta valmisteveroa. Energiaverodirektiivin mukaan maakaasu ja nestekaasu voidaan vapauttaa verosta, mikäli niitä käytetään moottoripolttoaineena. Säännöksen on katsottu kattavan myös metaanista koostuvan bioperäisen kaasun. Käytön edistämiseksi tulisi harkita lisäksi biokaasukäsitteen laajentamista myös uusille tuotantotekniikoille (termiset biokaasut, kierrätyspolttoaineesta valmistetun kaasun biomassaosuus). Biokaasun tuotanto lannasta on tuotantokustannuksiltaan kaatopaikka- ja jätevedenpuhdistamoiden tuotekaasuja kalliimpaa. Tästä syystä biokaasun laajamittainen liikennekäyttö olisi perusteltua aloittaa yhdyskuntien suuremmista ja edullisemmista biokaasulähteistä.

Uusien liikenteen biopolttoaineiden käyttöönotolle on oleellista saada aikaan valtiovalan ympäristö-, liikenne- ja energiastrategioiden linjausten lisäksi eri toimijoiden yhteenliittymiä koko ketjun toteuttamiseksi ja investointien riskien jakamiseksi. Liikenteen biopolttoaineet tulevat olemaan yrityksille todennäköisesti kiinteiden biopolttoaineiden kansainvälistä kauppaa laajempi liiketoiminta-alue. Koska tarvittavat tuotantolaitosinvestoinnit ovat huomattavia, niistä päättäminen edellyttäisi pitkiä viranomaisten

strategia- ja verolinjauksia ja kansainvälisiä yhteistyöjärjestelyjä. Uuden teknologian tutkimiseen ja kehittämiseen tarvitaan kasvavia varoja, jos halutaan saavuttaa raportissa arvioidut, matalamman tukitason mahdollistavat biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöjärjestelmät.

6. Yhteenveto

Nykytilanne ja kehitys EU:ssa ja muissa maissa

- Nykyisin valmistetaan kaupallisesti liikenteen polttoaineiksi viljelykasvipohjaista etanolia ja biodieseliä lähinnä Brasiliassa, Yhdysvalloissa ja joissakin EU-maissa; lisäksi on tutkimus- ja demonstrointitoimintaa biokaasun käytöstä maakaasukäyttöisissä ajoneuvoissa. Muiden biopolttoaineiden tuotantoprosessit eivät ole vielä kaupallisia.
- Nykyiset biopolttoaineiden käyttövaihtoehdot eivät ole taloudellisesti mahdollisia ilman viranomaisten tukitoimenpiteitä. Biopolttoaineiden tukemisen tärkeimpänä ajavana voimana on ollut maatalouden tukeminen, lisäksi ympäristönäkökohdat sekä paikallisen taloudellisen tilanteen parantaminen. Kansalliset tukiratkaisut vaihtelevat erilaisista poliittisista ja markkinalähtöisistä syistä, mikä on johtanut erilaisiin käytösratkaisuihin.
- Liikenteen biopolttoaineiden edistämistä perustellaan usein huoltovarmuuden parantamisella. Helposti hyödynnettävät öljyvarat ovat supistumassa samaan aikaan, kun esim. Kiinan öljynkulutus on voimakkaassa kasvussa. Öljyn nykyiset tuotantomäärät eivät todennäköisesti kasva enää merkittävästi tai kääntyvät loivaan laskuun. Öljyn hintaan kohdistuu nousupaineita tulevina vuosikymmeninä.
- EU:n direktiivi liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämiseksi hyväksyttiin keväällä 2003. Direktiivissä esitetään ohjeelliset tavoitteet liikenteen biopolttoaineiden hyödyntämiselle (2 % vuonna 2005 ja 5,75 % vuonna 2010 energiana tieliikenteen polttoaineen kulutuksesta). Komissiolle vuonna 2004 raportoidut kansalliset ohjeelliset tavoitteet vuodelle 2005 ovat 0–3 %.

Liikenteen biopolttoaineiden tuotantoteknologioiden kehitysnäkymät

- Niin EU:n tutkimusohjelmissa kuin Suomessa Tekesin tutkimus- ja tuotekehitysrahoituksella kehitetään edullisempia, ei-viljelykasvipohjaisia ratkaisuja. Raaka-aineena käytettäisiin pääosin metsätähteitä, yhdyskuntajätteitä sekä teollisuuden biomassapohjaisia sivuvirtoja. Pääprosessit ovat synteetisikaasuun perustuvat prosessit, etanolin valmistus lignoselluloosapohjaisesta biomassasta (olki, puu) sekä metaanin tuotanto.
- Ensimmäiset kaupalliset koelaitokset voisivat olla tuotannossa Euroopassa 10 000–60 000 tonnia kokoluokassa arviolta vuosina 2008–2010. Uudet biopolttoaineet voisivat tulla markkinoille laajamittaisesti vuosina 2015–2025.
- Tutkimus- ja kehitystyössä tulisi Suomessa panostaa niiden teknologioiden kehitykseen, joissa tukitarve olisi mahdollisimman alhainen. Kehityspanosten uusiin tekniikoihin tulisi olla huomattavia, 20–100 M€ demonstrointilaitosinvestointi mukaan lukien.

- Koska suomalaiset yritykset valmistavat maailmanmarkkinoille kilpailukykyisiä metsäteollisuuden laitteita ja voimalaitoksia, on perusteltua uskoa, että myös liikenteen biopolttoaineiden tuotantoprosessien laitteita voitaisiin valmistaa meillä sekä koti- että ulkomaan markkinoita varten.

Biopolttoaineiden käyttöominaisuudet

- Nykymoottoreissa pakokaasujen jälkikäsitteilylaitteistoilla ja moottorin palamisen tarkalla ohjauksella on ratkaiseva asema lainsäädännöllä säänneltyjen päästöjen rajoittamisessa. Minkään biopolttoaineen käyttö, metaania lukuun ottamatta, ei voi nykyautoissa tuoda merkittäviä etuja (yli 10 %) säänneltyjen päästöjen osalta. Tämä pätee erityisesti seoksina käytettäviin biopolttoaineisiin.
- Ajoneuvojen hiilidioksidipäästöihin voidaan vaikuttaa ajoneuvo- ja moottoritekniikan sekä polttoaineiden avulla. Todennäköisesti vähän polttoainetta kuluttavat ajoneuvot ovat kustannustehokkaampi vaihtoehto liikenteen CO₂-päästöjen alentamisessa kuin biopolttoaineiden laajamittainen käyttöönotto. Tämä pätee erityisesti seoksina käytettäviin biopolttoaineisiin.
- Tavanomaisessa polttomoottorissa on vielä merkittävää kehityspotentiaalia. Hybriditekniikka tekee tuloaan. Polttokennoautot voivat mahdollisesti yleistyä vuoden 2020 jälkeen. Dieselmoottori yhdistettynä hybriditekniikkaan tarjoaa vähintäänkin yhtä energiatehokkaan voimalaiteratkaisun kuin tulevaisuuden lupaukseksi nimetty polttokennotekniikka.
- Laajimmillaan polttoainelaatujen tulisi soveltua koko ajoneuvokalustoon. Biopolttoaineiden tulee täyttää nykyiset ja tulevat EU:n liikennepolttoaineiden normit ja direktiivit, mistä seuraa selkeitä rajoitteita. Klassisilla biokomponenteilla (etanolilla, RME:llä) ei päästä kuin maksimissaan noin viiden tilavuusprosentin korvausasteeseen, jos polttoainenormien vaatimuksista halutaan pitää kiinni.

Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöketjujen kasvihuonekaasupäästöt

- Arviot liikenteen biopolttonesteillä saavutettavista kasvihuonekaasupäästöjen vähenemistä vaihtelevat raaka-aineen ja prosessin sekä laskennassa käytettyjen oletusten mukaan. Verrattuna vastaavaan fossiiliseen polttoaineeseen biodieselillä (FAMElla) on esitetty saatavan 50–80 %:n, viljaetanolilla 20–40 %:n ja puupohjaisilla polttoaineilla 75–95 %:n päästövähennys. Kattavaa kasvihuonekaasutarkastelua tuotannon ja käytön ketjuista perustuen nykytekniikoihin Suomen olosuhteissa ei ole tehty. Tarkastelu tehdään Tekesin ClimBus-teknologiaohjelmassa.
- Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistoimenpiteenä bioenergian hyödyntäminen yhdistetyssä sähkön ja lämmöntuotannossa on edullisin vaihtoehto. Bioenergian

hyödyntäminen kiinteistöjen lämmityksessä on hieman kalliimpi vaihtoehto mutta kuitenkin edullisempi kuin käyttö liikenteen biopolttoaineena.

- Hyödyntäen jättepohjaisia raaka-aineita ja onnistuneella integroinnilla liikenteen biopolttoaineille kustannustaso 20–40 €/t CO₂ voisi olla mahdollinen, metsätähdeintegraateissa synteetisikaasutekniikalla taso olisi 40–120 €/t CO₂ ja peltopohjaiset olisivat tasolla yli 200 €/t CO₂. Kustannustehokkaampi peltojen non-food-vaihtoehto olisi ruokohelven viljely kiinteäksi polttoaineeksi sähkön ja lämmön tuotantoon. Jos bioöljyä valmistettaisiin stationäärikäyttöön (pyrolyysiöljyksi), olisi mahdollista päästä tasolle 20 €/t CO₂.
- Vältetyn CO₂-tonnin hintaerojen tasoittuminen edellyttäisi periaatteessa EU:n liikenteen ja sähkön tuotannon ja käytön verotuskohtelun muuttumista tai muuta taloudellista ohjausta.

Bioenergian kilpailutilanne Suomessa

- Suomessa bioenergian käyttöä voidaan lisätä ottamalla käyttöön tällä hetkellä hyödyntämättä jääviä biomassoja. Suurimpia eriä ovat metsän hakkuiden ja harvennusten hakkuutähteet ja kaatopaikoille päätyvät eloperäiset jätteet.
- Energiasektorilla biomassosta voidaan tuottaa sähköä, lämpöä, jalosteita (pellettejä, bioöljyjä) lämmityssektorille sekä liikenteen polttoaineita. Vaihtoehdot kilpailevat samasta raaka-aineesta, ja kaiken kaikkiaan biopolttoaineiden käyttökohteita on Suomessa enemmän kuin kohtuukustannuksin tarjolla olevia biopolttoaineita. Myös lastu- ja kuitulevytehtaiden raaka-aineen hankinta tapahtuu samoilta kilpailluilta polttoainemarkkinoilta kuin energiantuotantolaitoksien ja sellutehtaiden.
- Päästökauppa alkaa EU:ssa vuoden 2005 alussa. Vuoteen 2010 on päästöoikeuksien hinnan arvioitu pysyvän vielä maltillisena noin 10 €/n/t CO₂ tasolla. Teoreettisesti 28 €/n/t CO₂ hintataso voisi ohjata jo metsäteollisuuden raaka-ainetta sähkön ja lämmön tuotantoon ja aiheuttaa metsäteollisuuden raaka-ainehuoltoon häiriöitä.

Jätehuolto ja liikenteen biopolttoaineet

- Jättepohjaiset raaka-aineet ovat halvan hintansa takia kiinnostava vaihtoehto myös liikenteen biopolttoaineiden valmistamiseksi. Liikenteen biopolttoaineiden valmistaminen kilpailee muiden energia- ja materiaalihyötykäyttövaihtoehtojen kanssa. Kierrätyspolttoaineiden mahdolliset laatuvaihtelut ja määrälliset saannin vaihtelut saattavat heikentää niiden houkuttelevuutta laajoihin investointeihin.
- Tässä raportissa jätteitä on nähty mahdolliseksi käyttää biokaasuna, käytettyinä kasviöljyinä ja eläinrasvoina synteettisen biodieselin valmistuksessa sekä kiinteänä raaka-aineena synteetisikaasun valmistuksessa.

Biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa

- Sekä käyttöominaisuudet että mahdolliset raaka-ainevarat rajoittavat klassisten biopolttoaineiden – biodieselin (RME:n) ja etanolin – potentiaalia Suomessa. Synteettiset biopolttoaineet tarjoavat enemmän joustoa: korvausaste voi periaatteessa olla 0–100 %; myös raaka-ainepohja on laajempi.
- Liikenteen biopolttoaineiden hyödyntämisen perusskenaariona on tuoda maahan maailmanmarkkinoilta etanolia tai biodieseliä. Hintatasoksi tuonnissa muodostunee se eurooppalainen taso, mikä maksetaan (korkeamman) verotuen avulla eri EU-maissa. Euroopan markkinoille ei ole saatavissa suuria eriä niin edullisia biopolttoaineita, että niitä voitaisiin hyödyntää ilman tukitoimia.
- Jos Suomeen rakennettaisiin perinteisiä etanoli- tai biodieseltehtaita, tuotannon arvioitiin perustuvan pääasiassa maailmanmarkkinoilta ostettuun raaka-aineeseen.
- Polttoaineverotukia ei voida rajoittaa koskemaan vain kotimaista alkuperää olevia tuotteita (EY:n verosyrjäntäkielto).
- Liikenteen biopolttoaineiden maksimiosuus voisi Suomessa olla kotimaisista raaka-aineista tuotettuna vuonna 2010 3 % ja maakaasun 0,5 % tieliikenteen polttoaineiden kokonaiskulutuksesta eri tuotantoskenaarioissa. Biopolttoaineiden osuus koostuu synteettisestä biodieselistä (Fortumin suunnitelma) 0,5 %, biokaasusta 1 % ja biopohjaisista bensiinikomponenteista tai F–T-dieselistä (ensimmäinen kaupallinen koelaitos) 1–1,5 %.
- Vety arvioitiin vuoteen 2020 asti marginaaliseksi vaihtoehdoksi (<0,01 % liikenteen polttoainekulutuksesta).
- Jos oletetaan Suomessa haluttavan käyttää vuonna 2010 noin 3 % eli 110 000 toe/a biopolttoaineita ja jos myönnettäisiin dieselin polttoaineveroa vastaava verohelpotus 32 c/l koko määrälle, merkitsisi se vuodessa valtiolta verotukea runsaat 30 M€/a. Vastaavasti bensiinin polttoaineveroa vastaavalla verohelpotuksella 59 c/l verotuki olisi runsaat 55 M€.

Lähdeluettelo

Aakko, P. & Nylund, N.-O. 2003. Particle emissions at moderate and cold temperatures using different fuels. Society of Automotive Engineers. SAE Technical Paper 2003-01-3285.

Berg, C. 2004. World fuel ethanol analysis and outlook. April 2004.

<http://www.distill.com/World-Fuel-Ethanol-A&O-2004.html>

BP 2004. BP Statistical Review of World Energy. June 2004.

<http://www.bp.com/subsection.do?categoryId=95&contentId=2006480>

Campbell, C. J. 2004. Oil and Gas Liquids 2004 Scenario.

<http://www.peakoil.net/uhdsg/Default.htm>

Concawe/JRC 2003. Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context. <http://ies.jrc.cec.eu.int/Download/eh>

Electrowatt–Ekono. 2003. Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman arviointi. Raportti 60K03410-Q060-002. 19.02.2003.

ExxonMobil 2004. A Report on Energy Trends, Greenhouse Gas Emissions and Alternative Energy. 24 s.

http://www2.exxonmobil.com/corporate/files/corporate/Energy_Brochure.pdf

Fortum 2004. Fortum – Öljytoiminnot – Öljytuotteet – Biotuotteet – Biobensiini.

<http://www.fortum.fi> [Luettu 19.3.2004]

Fulton, L. 2002. Penetration of alternative fuels in the EU and potential impact on conventional fuels market. IEA. IFQC European Automotive Fuels Briefing. Pariisi, Rans-ka. 12.11.2002.

Gust, S. 1997. Calculations of the Effect of Liquid Biofuels Production on Finnish CO₂ Balance. A report of Fortum Oil & Gas. 10.10.1997.

Halonen, P., Helynen, S., Flyktman, M., Kallio, E., Kallio, M., Paappanen, T. & Vesterinen, P. 2003. Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut sekä niiden suorat työllisyysvaikutukset. Espoo: VTT Tiedotteita 2219. 51 s. ISBN 951-38-6194; 951-38-6195-3.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2219.pdf>

Helynen, S., Flyktman, M., Mäkinen, T., Sipilä, K. & Vesterinen, P. 2002. Bioenergian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Espoo: VTT Tiedotteita 2145. 110 s. + liitt. 2 s. ISBN 951-38-6054-X; 951-38-6055-8.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2145.pdf>

Helynen, S., Peltola, E. & Lund, P. 2003. Uusiutuvat energialähteet – suuret mahdollisuudet. Teoksessa: Savolainen, I., Ohlström, M. & Kärkkäinen, A. (toim.). Ilmasto – Haaste teknologialle. Näkemyksiä ja tuloksia Climtech-ohjelmasta. Helsinki: Tekes.

IFP 2004. Panorama 2004. Biofuels in Europe.

http://www.ifp.fr/IFP/en/files/cinfo/IFP-Panorama04_12-BiocarburantVA.pdf

Ikonen, M., Nylund, N.-O., Aakko, P., Laurikko, J., Eklund, T. & Mäkelä, S. 2000. Kat-saus ajoneuvoliikenteen polttoainevaihtoehtoihin. Espoo: VTT Energia. (VTT Energian raportteja 18/2000.)

Knight, B. 2004. Short and Long Term Approaches to sustainability. Toronto, Canada: Proceedings of the 21st Windsor Workshop, 2004.

Körbitz, W., Friedrich, St., Waginger, E. & Wörgetter, M. 2003. Worldwide review on biodiesel production.

<http://www.novem.nl/default.asp?menuId=10&documentId=135528>

LBST 2002. Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems – A European Study. <http://www.lbst.de/gm-wtw>

MMM 2003. Öljykasvistrategia. Työryhmämuistio MMM 2003:8. Helsinki.

MMM 2004. Peltobiomassa, liikenteen biopoltonesteet ja biokaasu -jaosto. Väliraportti. Työryhmämuistio 2004:11. Helsinki.

Mäkinen, T. & Sipilä, K. 2003. Liquid biofuels for transportation: production potential, utilisation and production costs in Scandinavia. International Nordic Bioenergy 2003 Conference. Jyväskylä, 2.–5.9.2003.

Nylund, N.-O. 2004. Bussien ympäristöystävällisyyden kehittyminen. Polttoaineet, uusi tekniikka ja mittaustulokset. Paikallisliikennepäivät Kuopio, 16.–17.9.2004.

Nylund, N.-O. 2002. Dieseltekniikan kehityssuuntia. Raportti YTV:lle.

Savolainen, I., Tuhkanen, S. & Lehtilä, A. (toim.) 2001. Teknologia ja kasviuonekaasujen päästöjen rajoittaminen. Taustatyö kansallista ilmasto-ohjelmaa varten. 198 s. (Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja 1/2001.)

Savolainen, I., Ohlström, M. & Kärkkäinen, A. (toim.) 2003. Ilmasto – Haaste teknologialle. Näkemyksiä ja tuloksia Climtech-ohjelmasta. Helsinki: Tekes.

Solantausta, Y. & Gust, S. 1994. Polttonestetuotanto biomassasta. Helsinki. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Energiaosasto. 134 s. (Katsauksia B:185.)

Solantausta, Y., McKeough, P. & Sipilä, K. 1997. Biopolttonesteet. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö. 105 s. (Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 5/1997.)

Stevens, D. J., Hogan, E., Östman, A., Segerborg-Fick, A. & Wörgetter, M. 2001. Non-technical policy, regulatory, and market influences on the use of liquid biofuel. November 2001. Prepared for IEA Bioenergy Agreement.

<http://www.liquid-biofuels.com/pub.htm>

Systemes Solaires 2004. Biofuels barometer. Systemes Solaires n° 161. June 2004.

Tuhkanen, S. 2002. Jätehuollon merkitys Suomen kasviuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto. Espoo: VTT Tiedotteita 2142. 46 s. ISBN 951-38-5895-2; 951-38-5896-0. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2142.pdf>

UFOP 2004. <http://www.ufop.de/3225.htm>

Östman, A. 2004. Report of Kemiinformation AB for VTT. Sisäinen projektiraportti. 8.6.2004.

Tekijä(t) Mäkinen, Tuula, Sipilä, Kai & Nylund, Nils-Olof			
Nimeke Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa Taustaselvitys			
Tiivistelmä EU:ssa eräs keskeinen energia- ja ympäristöpolitiikan tavoite on uusiutuvien energialähteiden käytön edistäminen erityisesti hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ja huoltovarmuuden parantamiseksi. Tärkein uusiutuva energiavara on biomassassa, jota voidaan käyttää niin sähkön ja lämmön tuotannossa kuin liikenteen polttoaineena. Tässä julkaisussa, joka on valtiovarain- ja kauppa- ja teollisuusministeriöiden tilaaman taustaselvityksen ”Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto ja käyttö Suomessa” loppuraportti, keskitytään biomassan hyödyntämiseen liikenteen polttoaineena. Selvityksen tavoitteena oli antaa taustatietoa viranomaisille kansallisen ilmastostrategian päivittämiseen sekä liikenteen biopolttoaineita koskevan direktiivin soveltamiseen Suomessa. Useimpia biopolttoaineita – alkoholeja, biodieseliä ja biokaasua – voidaan käyttää joko polttoainekomponenttina tai polttoaineena sellaisenaan. Laajimmillaan polttoainelaatujen tulisi soveltua koko ajoneuvokalustoon. Biopolttoaineiden tulee täyttää nykyiset ja tulevat EU:n liikennepolttoaineiden normit ja direktiivit, mistä seuraa selkeitä rajoitteita niiden käytölle. Nykyiset biopolttoainevaihtoehdot eivät ole liiketaloudellisesti kannattavia ilman viranomaisten tukitoimenpiteitä, etenkin verotukea. EU:n biopolttoainedirektiivi edellyttää biopolttoaineille vapaaehtoisena tavoitteena vuonna 2010 5,75 %:n osuutta (energiana) tieliikennekäyttöön myydyistä polttoaineista, joka vastaa EU:ssa noin 17–18 Mtoe/a:n määrää. Nykyisin Euroopassa tuotetaan etanolia ja biodieseliä yhteensä noin 1,5 Mtoe/a. Nykyisiä kaupallisia peltopohjaisia tuotteita edullisemmin voisi valmistaa puu- ja jättepohjaisista biomassavaroista joko nestemäisiä biopolttoaineita tai biokaasuja. Uusia tuotantotekniikoita kehitetään useissa maissa, ja ensimmäiset koetehtaat ja demonstrointihankkeet käynnistyvät lähivuosina. Julkaisussa esitetään vaihtoehtoja Suomen kehityspoluiksi. Biopolttoaineiden käyttömahdollisuudet on arvioitu suuremmaksi kuin tuotantomahdollisuudet kotimaisiin raaka-aineisiin perustuen. Liikenteen biopolttoaineiden maksimiosuus voisi Suomessa olla kotimaisista raaka-aineista tuotettuna vuonna 2010 3 % ja maakaasun 0,5 % tieliikenteen polttoaineiden kokonaiskulutuksesta eri tuotantoskenaarioissa.			
Avainsanat transportation fuels, biofuels, manufacturing technology, utilization, bioalcohols, biodiesel, biogas, thermal gasification, Fischer-Tropsch, production costs			
Toimintayksikkö VTT Prosessit, Biologinkuja 3–5, PL 1601, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6540-1 (nid.) 951-38-6541-X (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Projektinnumero C4SU00484	
Julkaisu-aika Maaliskuu 2005	Kieli Suomi, engl. tiiv.; laajennettu tiivistelmä suom. ja engl.	Sivuja 96 s.	Hinta B
Projektin nimi 22BIOSELVI		Toimeksiantaja(t) VM, KTM	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Author(s) Mäkinen, Tuula, Sipilä, Kai & Nylund, Nils-Olof			
Title Possibilities to produce and use biofuels in transportation in Finland Background study			
Abstract One of the key goals of the EU's energy and environment policy is to promote the utilisation of renewable energy sources in order to reduce greenhouse gas emissions and to improve the security of fuel supply. The main renewable energy source is biomass, which can be utilised in heat and power production and as transportation fuel. Biomass utilisation as transportation fuel is the main topic of this publication. The aim of the study was to produce background information on biomass-based transportation fuels for the Finnish authorities to update the national climate strategy and define the national policy in implementing the new EU Biofuel Directive on the promotion of the use of biofuels for transportation. Most biofuels – like bioalcohols, biodiesel and biogas – can be used as fuels additives or as fuels as such. At the broadest fuel grades should apply to the whole vehicle base. Biofuels will have to fulfil current and future directives and standards, which presents clear constraints on their utilisation. The current biofuel options are not economically feasible without supporting measures from the authorities, like tax relief. The Biofuel Directive presents an indicative target share of 5.75% in 2010 for the exploitation of biomass-based road transportation fuels in the EU, which corresponds to a biofuel utilisation of about 17–18 Mtoe/a. In 2003, about 1.5 million oil equivalent tons of bioethanol and biodiesel was produced in the EU. Wood- and waste-derived liquid or gaseous transportation fuels could be produced more cost-effectively than the current commercial ones. New production technologies are under development in several countries, and the first demo plants will start up in the near future. In the publication, technological development options are presented for Finland. The potential to utilise biomass-based fuels in the Finnish transportation sector were evaluated to be larger than the potential to produce them from indigenous raw materials. In Finland, the maximum share of biomass-based fuels produced from indigenous raw materials could be 3% of total fuel consumption in road transportation in 2010 and the share of natural gas could be 0.5% in different production scenarios.			
Keywords transportation fuels, biofuels, manufacturing technology, utilization, bioalcohols, biodiesel, biogas, thermal gasification, Fischer-Tropsch, production costs			
Activity unit VTT Processes, Biologinkuja 3–5, P.O.Box 1601, FI-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6540-1 (soft back ed.) 951-38-6541-X (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Project number C4SU00484	
Date March 2005	Language Finnish, Engl. abstr., extended abstract in Finnish and English	Pages 96 p.	Price B
Name of project 22BIOSELVI		Commissioned by Ministry of Finance, Ministry of Trade and Industry	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

Valtiovarain- ja kaupp- ja teollisuusministeriöiden tilauksesta tehdyssä selvityksessä annetaan taustatietoa viranomaisille kansallisen ilmastostrategian päivittämiseen sekä liikenteen biopolttoaineita koskevan direktiivin soveltamiseen Suomessa.

Nykyiset kaupalliset biopolttoainevaihtoehdot eivät ole liiketaloudellisesti kannattavia ilman viranomaisten tukitoimenpiteitä, etenkin verotukea. Nykyisiä kaupallisia peltopohjaisia tuotteita edullisemmin voisi valmistaa joko nestemäisiä biopolttoaineita tai biokaasuja puu- ja jätepohjaisista biomassavaroista. Uusia tuotantotekniikoita kehitetään useissa maissa, ja ensimmäiset koetehtaat ja demonstrointihankkeet käynnistyvät lähivuosina. Julkaisussa esitetään vaihtoehtoja Suomen kehityspoluiksi.

Biopolttoaineiden käyttömahdollisuudet on arvioitu suuremmiksi kuin kotimaisiin raaka-aineisiin perustuvan tuotannon mahdollisuudet. Eri tuotantoskenaarioiden mukaan liikenteen biopolttoaineiden maksimiosuus voisi Suomessa olla vuonna 2010 kotimaisista raaka-aineista tuotettuna 3 % ja maakaasun 0,5 % tieliikenteen polttoaineiden kokonaiskulutuksesta.

Tätä julkaisua myy	Denna publikation säljs av	This publication is available from
VTT TIETOPALVELU	VTT INFORMATIONSTJÄNST	VTT INFORMATION SERVICE
PL 2000	PB 2000	P.O.Box 2000
02044 VTT	02044 VTT	FI-02044 VTT, Finland
Puh. 020 722 4404	Tel. 020 722 4404	Phone internat. + 358 20 722 4404
Faksi 020 722 4374	Fax 020 722 4374	Fax + 358 20 722 4374