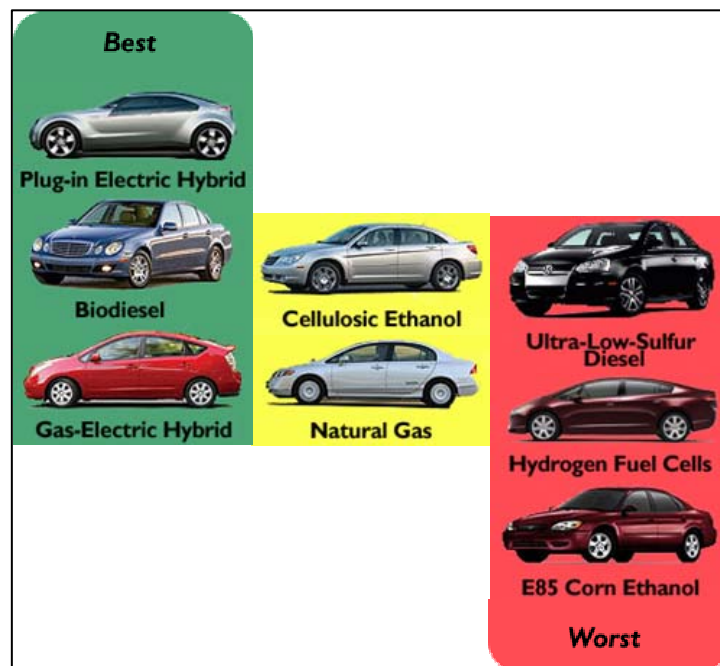


LIIKENTEEN POLTTOAINEVAIHTOEHDOT KEHITYSTILANNERAPORTIN TIIVISTELMÄ



Kuva ja luokittelu Co-op America Quarterly 2007.

Nils-Olof Nylund & Päivi Aakko-Saksa
TEC TransEnergy Consulting Oy

31.10.2007

Raportin nimi	Liikenteen polttoainevaihtoehdot. Kehitystilanneraportin tiivistelmä.
Numero	TEC 02a/2007
Päivämäärä	31.10.2007
Laajuus	36 s. + 3 liitettä
Vastuhenkilö	Nils-Olof Nylund
Kirjoittajat	Nils-Olof Nylund, Päivi Aakko-Saksa
Tarkastanut	Matti Kytö/VTT
Asiakas	LVM
Sopimus/tilaus	VTT 28.5.2007
Julkisuus	Julkinen

Sisällysluettelo

Laajennettu tiivistelmä	4
1 Toimeksiannon määrittely ja toteutus	8
2 Liikennesektorin energia- ja ympäristöhaasteita	9
3 Vaihtoehtoisten polttoaineiden edistäminen ja polttoaineiden hintataso	12
4 Vaihtoehtoisten polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöt ja energiatehokkuus	16
5 Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöominaisuudet ja vaatimukset ajoneuvoille	19
6 Viitteet	32
7 Ominaisuustaulukot	36

Laajennettu tiivistelmä

Haitalliset päästöt (CO, HC, NO_x, hiukkaset) ovat perinteisesti olleet suurin huolen aihe liikenteessä. Teollisuusmaissa ollaan kuitenkin pääsemässä tilanteeseen jossa tekninen kehitys hoitaa perinteisten päästöjen ongelman. Seuraava haaste on liikenteen hiilidioksidipäästöjen (CO₂) vähentäminen. Liikenteen hiilidioksidipäästöt jatkavat kasvuaan. Hiilidioksidipäästöjen leikkaaminen on kova haaste, koska vähennyksiä voidaan saada aikaan vain energiankulutusta vähentämällä tai polttoaineiden hiiliosuutta vähentämällä. Kolmas haaste on energian riittävyys. Öljytuotteista tulee ennen pitkää pulaa, ja lyhyemmällä aikavälillä tämä tietää öljytuotteiden hinnan kohoamista. Parhaimmat vaihtoehtoiset polttoaineet voisivat tuoda lievitystä kaikkiin em. haasteisiin.

Toistaiseksi vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden käyttö on maailmanlaajuisesti arvioiden sangen vähäistä. Merkittävimmät vaihtoehtoiset polttoaineet ovat suuruusjärjestyksessä etanoli, nestekaasu, maakaasu ja biodiesel. Kivihiilestä ja maakaasusta valmistetaan synteettisiä polttoaineita parissa tuotantolaitoksessa, mutta määrät ovat toistaiseksi melko pieniä. Vaihtoehtoisten polttoaineiden yhteenlaskettu osuus maailman tasolla on noin 3,5 %, ja biopolttoaineiden osuus noin 1,5 %.

Viime aikoina on virinnyt keskustelua siitä, täyttävätkö eri biopolttoainevaihtoehdot kestävän kehityksen kriteerit. Tulilinjalta on joutunut erityisesti viljaan perustuva etanoli ja osittain myös perinteinen kasviöljypohjainen biodiesel. Selvää on, että biopolttoaineille tarvitaan yhteisesti hyväksytyjä ”pelisääntöjä”

Vain harvassa tapauksessa vaihtoehtoiset polttoaineet pystyvät aidosti kilpailemaan tavanomaisten hiilivety-polttoaineiden kanssa, vaan vaihtoehdot on saatu markkinoille erilaisten verohelpotusten, muiden tukien tai pakotteiden avulla. Ilman tukia kilpailukykyisiä vaihtoehtoja ovat lähinnä Brasiliassa tuotettu sokeriruokopohjainen etanoli ja myös maakaasu tietyissä Etelä-Amerikan ja Aasian maissa. Euroopassa tuotetut perinteiset biopolttoaineet ovat energiasisältöön suhteutettuna luokkaa 50 % kalliimpia kuin bensiini ja diesel.

Alkuvuodesta 2007 esitellyssä energiastrategiassa komissio esittää sitovaa 10 %:n biopolttoainevelvoitetta vuodelle 2020. Biopolttoainetavoite on kuitenkin ehdollinen, ja edellytykset ovat että biopolttoaineiden tuotanto on kestäväällä pohjalla ja että ns. toisen sukupolven biopolttoaineet kaupallistuvat. EU:n sisällä Ruotsissa ja Saksassa on panostettu voimakkaasti vaihtoehtoisten polttoaineiden edistämiseen. Saksassa on käytössä verohuojennusten ja käyttövelvoitteiden yhdistelmä. Saksassa verotuki on poistunut tai poistumassa ensimmäisen sukupolven biopolttoaineilta. Suomessa on säädetty joustava biopolttoaineiden käyttövelvoitelaki, joka astuu voimaan 2008. USA:ssa presidentti Bushin Twenty in Ten –aloite tähtää bensiinin kulutuksen leikkaamiseen 20 % 10 vuodessa vaihtoehtoisten polttoaineiden ja energiansäästön avulla.

Eri polttoainevaihtoehtojen elinkaaren aikaisen kasvihuonekaasupäästöt vaihtelevat suuresti. Huonoimmillaan perinteiset biopolttoaineen (etanoli, biodiesel) jopa lisäävät kasvihuonekaasupäästöjä bensiiniin ja dieseliin verrattuna. Nykyisistä vaihtoehdoista brasilialainen sokeriruokoetanoli ja biokaasu alentavat kasvihuonekaasupäästöjä kaikkein tehokkaimmin. Myös synteettisillä kaasutukseen perustavilla biopolttoaineilla ja selluloosapohjaisella etanolilla arvioidaan päästävän edullisiin kasvihuonekaasutaseisiin. CO₂-päästöjen vähentämisen kustannukset biopolttoaineiden avulla ovat keskimäärin tasolla 200 – 400 €/t. Lähes kaikki vaihtoehtoiset polttoaineet ovat energiantensiivisempiä kuin perinteinen

benziini ja diesel, joiden jalostamiseen kuuluu suhteellisen vähän energiaa. Tehokkain tapa vähentää liikennesektorin CO₂-päästöjä sekä vaikutusten että kustannustehokkuuden kannalta tarkasteltuna on energian säästö.

Lähtökohtaisesti polttoainelaatujen tulisi soveltua ilman erityistoimenpiteitä koko ajoneuvokalustoon, ja yleisessä jakelussa olevien polttoaineiden tulisi täyttää voimassa olevat polttoaineiden laatustandardit ajoneuvojen häiriöttömän toiminnan takaamiseksi. Tämä vaatimus rajoittaa klassisten biokomponenttien pitoisuuden ylimmillään 10 %:iin. Synteettisillä komponenteilla korvausaste voi olla huomattavasti suurempi. Synteettiset polttoaineet ovat varsinkin dieselpolttoaineen kohdalla tavanomaisia polttoaineita laadukkaampia, ja niinpä autoteollisuus puhuu voimakkaasti synteettisten polttoainevaihtoehtojen (XTL, GTL, BTL) puolesta.

Etanolia voidaan käyttää joko bensiinin seoskomponenttina tai polttoaineena lähes sellaisenaan. Ole-massa oleva autokalusto sietää enimmillään luokkaa 10 % etanolia. E85-polttoaine sisältää 15 % bensiiniä mm. käynnistyvyyden parantamiseksi. Ns. FFV-autot pystyvät käyttämään mitä tahansa polttoai-nejoustoja. Toistaiseksi FFV-tekniikkaan liittyy kuitenkin varauksia. Euroopassa FFV-autoilta ei vielä vaadita pakokaasuhyväksyntää E85-polttoaineella, ja toiseksi E85-polttoaineella kylmäkäynnistyksen päästöt ovat huomattavan korkeat. E85 muodostaa syttymiskelpoisen seoksen varsin laajalla lämpötila-alueella, ja vaati erikoisvarustellut tankkauslaitteet. Lisäksi etanolin korroosiovaikutukset on huomioi-tava sekä jakelujärjestelmien että ajoneuvojen materiaaleissa.

Lisäaineistettu etanoli käy myös modifioitun dieselmoottorin polttoaineeksi. Scania on tällä hetkellä ainoa valmistaja joka tekee raskaita etanolimoottoreita.

Perinteinen estreröity biodiesel FAME on tällä hetkellä Euroopan tärkein biopolttoaine, huomattavasti merkittävämpi kuin etanoli. Nykyinen dieselpolttoainenormi rajaa FAME-pitoisuuden 5 %:iin. Varsin-kin saksalainen autoteollisuus vastustaa pitoisuuden nostoa peläten ongelmia mm. hiukkassuodattimien tukkeutumisen ja moottoriöljyn laimentuman osalta. 100 %:n FAME vähentää dieselmoottorin hiuk-kaspäästöjä mutta lisää typenoksidipäästöjä. Sitä mukaa kun ruiskutusjärjestelmät kehittyvät ja pako-kaasujen jälkikäsitteily yleistyy yhä useampi moottorinvalmistaja tulee kieltämään 100 %:n perinteisen biodieselin.

Synteettinen (hiilivety-) polttoaine on tyypillisesti korkealaatuista, aromaattivapaata hyvät sytty-misominaisuudet omaavaa parafiinista dieselpolttoainetta. Korkea setaaniluku ja rikittömyys antavat lisäarvoa pelkkään lämpöarvoon verrattuna. Tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen verrattuna synteetti-sellä dieselpolttoaineella on mahdollista alentaa sekä NO_x- että hiukkaspäästöjä ja lisäksi dieselpako-kaasujen toksisuutta. Sekä NO_x- että hiukkaspäästöt vähenevät parhaimmillaan luokkaa 40 %. Synteetti-nen dieselpolttoaine sopii periaatteessa ilman rajoitteita niin olemassa olevaan jakelujärjestelmään kuin olemassa oleviin ajoneuvoihin. Autonvalmistajien näkökulmasta synteettinen dieselpolttoaine auttaa yhä kiristyvien pakokaasuvaatimusten täyttämässä.

Toistaiseksi synteetikaasuun perustuvia polttoaineita (XTL) valmistetaan pienehköjä määriä maakaasusta ja kivihiilestä. Maakaasupohjaisille GTL-tuotteille on povattu voimakkaasti kasvavia tuotanto-määriä. Kivihiilestä tuotetun synteettisen polttoaineen (CTL) CO₂-päästöt ovat erittäin korkeat. En-simmäinen pieni kaupallinen kiinteää biomassaa käyttävä BTL-laitos valmistuu Saksaan 2008. Myös

suomalainen energia- ja metsäteollisuus on kiinnostunut BTL-polttoaineista. Neste Oil on ensimmäisenä valmistajana maailmassa käynnistänyt vetykäsitelyyn perustuvan biodieselin tuotannon. NExBTL-polttoaine vastaa käyttö- ja päästöominaisuuksiltaan varsinaisia synteettisiä dieselpolttoaineita. Ensimmäisen tuotantolaitoksen kapasiteetti on 170.000 t/a, ja toinen vastaavan suuruinen laitos on rakenteilla. Korkean pitoisuuden NExBTL-polttoaineet (30 – 100 %) tulevat koekäyttöön pääkaupunkiseudun busseissa ja jäteautoissa.

Kaasumaiset polttoaineet edellyttävät aina infrastruktuurimuutoksia, sekä tankkausjärjestelmien että ajoneuvojen osalta. Usein riittävän suuren polttoainevaraston mahdolluttaminen ajoneuvoon tuottaa ongelmia. Suurin osa maa- ja nestekaasuautoista on toteutettu kaksoispolttoainejärjestelmillä siten, että autoja voidaan käyttää myös bensiinillä. Moottoriteknisesti bensiinimoottorin muuttaminen esim. maatai nestekaasulle on suhteellisen helppoa. Kaasu ei syty itsestään puristussytytteisessä moottorissa (dieselmoottorissa), joten kaasumoottori on muutettava ottomoottoriksi. Lähes kaikki nykyiset raskaan kaluston maakaasumoottorit perustuvat muunnettuihin dieselmoottoreihin.

Koska nykyaikaiset bensiinimoottorit ovat erittäin puhtaita, ei maatai nestekaasuun siirtyminen juuriin vähennä haitallisia päästöjä. US EPA on kuitenkin nimennyt pelkällä maakaasulla toimivan Honda Civic GX NGV maakaasuauton maailman puhtaimmaksi polttomoottorikäyttöiseksi autoksi. Päästömielessä suurin hyöty maakaasusta saadaan raskaan kaluston dieselpolttoainetta korvattaessa. Dieselistä maakaasuun siirtyminen on aina vähentänyt hiukkaspäästöjä. Sen sijaan ei ole itsestään selvää, että NO_x-päästö vähenee kaasuun siirryttäessä. Vanhemmat kaasumoottorit saattoivat jopa tuottaa enemmän NO_x:ia kuin vastaava dieselmoottori. Kaasumoottori tarvitsee aina myös katalysaattorin formaldehydipäästöjen rajoittamiseksi. Uusien dieselmääräysten astuessa voimaan raskaalla puolella kehitys vie samaan suuntaan kuin henkilöautopuolella, ts. polttoaineesta aiheutuvat erot tasaantuvat. Toisaalta dieselmoottorien monimutkaistuminen parantaa kaasumoottorien kilpailukykyä.

DME on nestekaasun tapainen tuote, jolla kuitenkin maa- ja nestekaasusta poiketen on hyvät syttymisominaisuudet. Näin ollen DME soveltuu dieselmoottorin polttoaineeksi. DME ei kuitenkaan ole kovinkaan käytännöllinen moottoripolttoaine, koska sillä on erittäin alhainen viskositeetti, alhainen voitelevuus ja korkea haihtuvuus. Näistä syistä tarvitaan mm. kokonaan uusi korkeapaineinen polttoaineen ruiskutusjärjestelmä. DME:n käyttö tieliikenteen polttoaineena edellyttäisi investointeja tuotantolaitoksiin, uuteen jakeluinfrastruktuuriin sekä uusiin ajoneuvoihin. Nissan Diesel on osoittanut, että DME:llä voidaan saavuttaa hyvin alhainen päästötaso. Volvo suunnittelee DME-kuorma-autojen kenttäkoetta vuosille 2009 -2010.

Vetyä voidaan käyttää niin polttomoottorin kuin polttokennon polttoaineena. Kaikkien vetyautojen osalta yhteisiä ongelmia ovat vedyn varastoinnin vaikeus (kaasumaisena tai nesteytettynä), tankkausinfrastruktuurin puute ja se, ettei vetyä toistaiseksi tuoteta energiatarkoituksiin. Polttokennotekniikka on toistaiseksi erittäin kallista ja osittain epäluotettavaa. Niinpä eräät valmistajat, mm. BMW, Ford ja MAN ovat esitelleet vetykäyttöisiä polttomoottoriautoja. Vetymoottori on hyvinkin puhdas, pakokaasuissa on vain hieman voiteluaineperäisiä hiilivetyjä ja palamisen lämmöstä syntyviä typen oksideja. Typen oksidien muodostus on kuitenkin vähäistä, koska moottori saadaan toimimaan erittäin laihalla seoksella. MAN on tuomassa Berliiniin yhteensä 14 polttomoottorilla varustettua vetykäyttöistä bussia.

Polttokennoja on demonstroitu niin henkilöautoissa kuin busseissa. Esim. Hondalla on hyvin valmiin olinen polttokennoauto. Bussien kohdalla polttokennotekniikka on sillä tasolla, että polttokennobussi

saattaa ylittää dieselbussin suorituskykytasoon, muttei vielä välttämättä samaan energiatehokkuuteen kuin dieselbussi. Myös polttokennobussi hyötyy hybridisoinnista.

Hybridi- ja sähköautoille on yhteistä että autoa eteenpäin saava voima kehitetään osittain tai kokonaan sähkömoottorilla. Polttokennoauto kuuluu myös samaan kategoriaan. Tähänastiset hybridautot ovat olleet autonomisia, ts. niihin ei ole syötetty ulkopuolista sähköenergiaa. Tähän on ilmeisesti tulossa muutos. Jos enenevässä määrin siirryttäisiin verkkosähköllä ladattaviin ns. plug-in hybridautoihin, jotka mahdollistavat lyhyemmät matkat pelkällä sähköllä, tai perinteisiin akkusähköautoihin, tämä merkitsisi huomattavaa lisäystä sähkön kulutukseen, ja tällä olisi heijastumia niin sähkön tuotantoon kuin sähkön jakeluverkkoon.

Hybridauton suurimpana etuna on sen parempi kokonaishyötysuhde, johon vaikuttaa kaksi oleellisesta parannusta perinteisiin polttomoottorilla toimiviin ajoneuvoihin verrattuna. Ensinnäkin, polttomoottoria (tai polttokennoa) voidaan käyttää enemmän parhaan hyötysuhteen alueella, mikä korostuu mitä nykivämpää ajo on. Toiseksi, normaalisti lämpöenergiaksi menetetyistä jarrutusenergiasta saadaan talteen merkittävä määrä energiaa suhteessa ajoneuvon kuluttamaan energiaan. Polttoaineen säästö on tyypillisesti luokkaa 25 – 30 %.

Hybriditekniikasta saadaan luonnollisestikin paras hyöty kaupunkiolosuhteissa, ja niinpä bussit ovat erityisen kiinnostava sovelluskohde. Hybriditekniikka leikkaa päästöjä vähintäänkin samassa suhteessa kuin polttoaineen kulutusta. Varsinkin busseissa on havaittu merkittäviä vähenemisiä hiukkaspäästöissä kun hybridijärjestelmä tasaa kiihdytysten tehopiikkejä.

Hybridauto on normaalia autoa monimutkaisempi ja hankalampi valmistaa. Henkilöautoissa hybriditekniikka ei toistaiseksi ole kovin kustannustehokas tapa vähentää CO₂-päästöjä, vaan tässä dieselöinti on parempi vaihtoehto. Hybridauton valmistusprosessin kannalta akku ja akkujen kierrättäminen ovat keskeisessä asemassa. Akkujen suorituskyky on kriittinen tekijä sekä sähköautojen että plug-in hybriden

1 Toimeksiannon määrittely ja toteutus

VTT teki vuonna 2002 MOBILE²-tutkimuskokonaisuuden puitteissa selvityksen eri polttoainevaihtoehtojen päästö- ja käytettävyyssominaisuuksista (Ikonen 2002). Tämä raportti oli pääasiassa taulukkomuodossa. Vuonna 2007 liikenne- ja viestintäministeriö tilasi aiheeseen päivityksen. Selvityksen muoto on nyt normaali kirjallisuustyönä tehty kehitystilanneraportti. Jokaisen kappaleen lopussa on yhteenveto. Lisäksi raportin liitteenä on taulukkomuotoinen päivitetty yhteenveto.

Liikenne- ja viestintäministeriön toivomuksesta on tarkasteltu myös eri polttoainevaihtoehtojen elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä. Eri polttoainevaihtoehtojen suorituskyvyn ja päästövaikutusten kuvauksissa on käytetty mahdollisimman uusia tutkimustuloksia. Niinpä raporttiin on sisällytetty mm. VTT:n uusimpia tutkimustuloksia.

Raportista on laadittu kaksi eri versiota, laajempi 124-sivuinen taustaraportti ja nyt käsillä oleva 36-sivuinen tiivistetty versio.

Raportit on VTT:n alihankkijana laatinut TEC TransEnergy Consulting Oy (TEC). Työ liittyy liikenne- ja viestintäministeriön osarahoittamaan RASTU-tutkimuskokonaisuuteen.

Pääkirjoittajana TEC:ssä on TkT Nils-Olof Nylund. TEC:ssä työhön osallistuivat FM Päivi Aakko-Saksa. VTT:n kontaktihenkilö hankkeessa on asiakaspäällikkö Matti Kytö. Tilaajan eli liikenne- ja viestintäministeriön edustajana toimii erityisasiantuntija Juhani Hienonen.

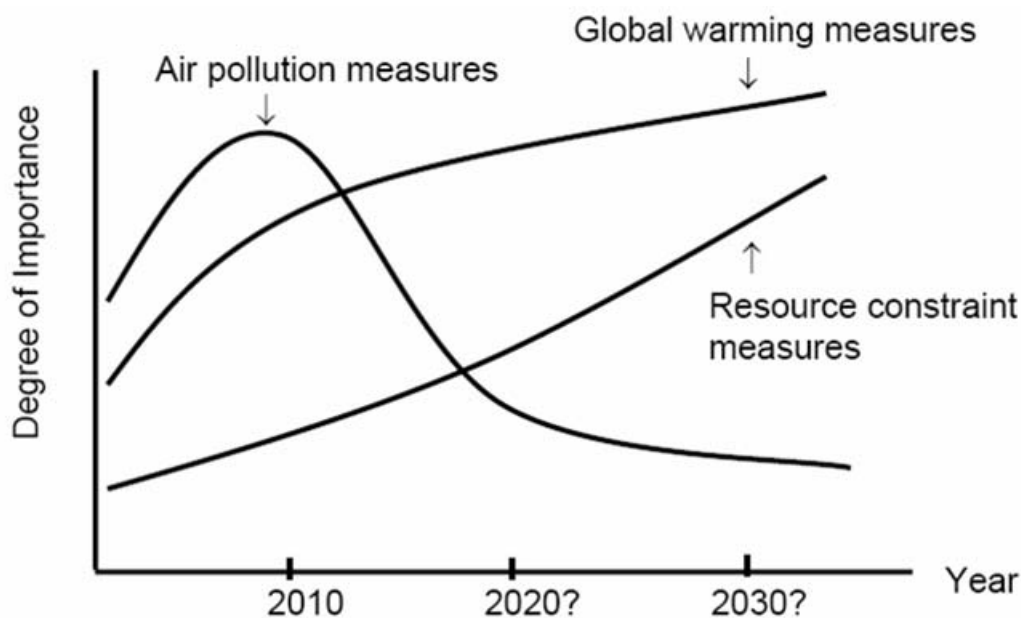
2 Liikennesektorin energia- ja ympäristöhaasteita

Liikenteen osuus energian loppukäytöstä on maasta riippuen tavallisimmin haarukassa 15 – 30 %. Suomessa liikenteen osuus energian loppukäytöstä oli 17 % vuonna 2005 (Tilastokeskus 2006). Osuus paikallisista päästöistä voi olla huomattavasti suurempi. Niinpä liikenne on merkittävä tekijä, tarkasteltiinpa asioita sitten energian tai päästöjen näkökulmasta.

Kuvassa 2.1 on tiivistetty liikennesektorin energia- ja ympäristöhaasteet. Haitalliset päästöt (CO, HC, NO_x, hiukkaset) ovat perinteisesti olleet suurin huolen aihe. Teollisuusmaissa ollaan kuitenkin pääsemässä tilanteeseen, jossa hyvälaatuiset polttoaineet, kehittynyt moottoritekniikka ja edistyneet pakokaasujen puhdistuslaitteet hoitavat perinteisten päästöjen ongelman. Tätä havainnollistaa kuva 2.2, joka ennakoii Euroopan tulevaa tieliikenteen päästöjen kehitystä.

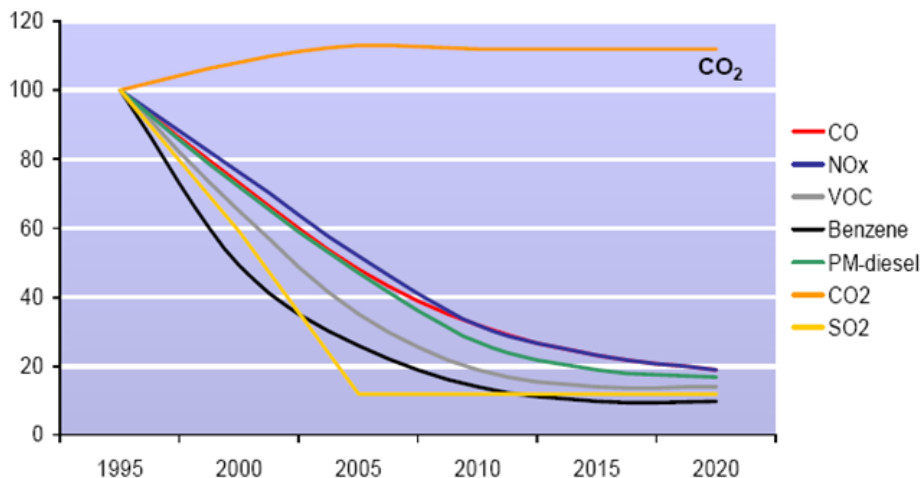
Seuraava haaste on liikenteen hiilidioksidipäästöjen (CO₂) vähentäminen. Liikenteen hiilidioksidipäästöt jatkavat kasvuaan. Hiilidioksidipäästöjen leikkaaminen on kova haaste, koska vähennyksiä voidaan saada aikaan vain energiankulutusta vähentämällä tai polttoaineiden hiiliosuutta vähentämällä. Mitkään autoihin asennettavat puhdistimet eivät tuo helpotusta tähän asiaan. Autonvalmistajille tulee lisähaastetta siitä, että tekniikat, jotka vähentävät haitallisia päästöjä, yleensä lisäävät polttoaineen kulutusta. Poikkeuksena tähän on typen oksidien poistaminen SCR-tekniikalla.

Kolmas haaste on energian riittävyys. Tieliikenne on 97 prosenttisesti riippuvainen öljystä. Öljytuotteista tulee ennen pitkää pulaa, ja lyhyemmällä aikavälillä tämä tietää öljytuotteiden hinnan kohoamista. Kulutus on kovassa kasvussa erityisesti Aasian maissa, ja samaan aikaan lähestytään sitä pistettä, missä perinteinen öljyntuotanto saavuttaa huippunsa.



Kuva 2.1. Liikennesektorin energia- ja ympäristöhaasteet. (Tabata 2005)

All gaseous emission components will soon reach “sustainable” levels except CO₂ ... our future challenge!



Kuva 2.2. Ennuste tieliikenteen päästöjen kehityksestä Euroopassa. (Røj 2006)

Parhaimmat vaihtoehtoiset polttoaineet voisivat tuoda lievitystä kaikkiin em. haasteisiin. Esim. biokaasu ja puujätteestä valmistettu synteettinen biodiesel alentavat niin haitallisia päästöjä kuin hiilidioksidipäästöjä laajentaen samalla liikennepolttoaineiden raaka-ainepohjaa.

Maailman autokanta on noin 800 miljoonaa autoa (OECD 2003). EU:ssa autoja on 247 miljoonaa, Yhdysvalloissa 237 miljoonaa, Japanissa 75 miljoonaa, Kiinassa 26 miljoonaa ja Venäjällä 29 miljoonaa (Statistical Pocketbook 2006). Näiden alueiden osuus maailman autokannasta on siis luokkaa 75 prosenttia. Tieliikennepolttoaineiden kulutus maailmassa on 1 600 Mtoe (Panorama 2007).

Toistaiseksi vaihtoehtoisten liikennepolttoaineiden käyttö on maailmanlaajuisesti arvioiden sangen vähäistä. Merkittävimmät vaihtoehtoiset polttoaineet ovat suuruusjärjestyksessä etanoli, nestekaasu, maakaasu ja biodiesel. Etanolin ja nestekaasun käyttö on lähes samaa suuruusluokkaa. Metanolia käytetään MTBE:n muodossa bensiinikomponenttina, mutta MTBE:n käyttömäärät ovat laskussa. Kivihiilestä ja maakaasusta valmistetaan synteettisiä polttoaineita parissa tuotantolaitoksessa, mutta määrät ovat toistaiseksi melko pieniä.

Liikenteen biopolttoaineiksi valmistetaan nykyisin kaupallisesti viljelykasveihin pohjautuvaa etanolia ja biodieseliä lähinnä Brasiliassa, Yhdysvalloissa ja joissakin EU-maissa. Lisäksi joissakin maissa käytetään biokaasua metaanikäyttöisissä ajoneuvoissa. Muiden biopolttoaineiden tuotantoprosessit eivät ole vielä kaupallisia. Viime vuosina tutkimus- ja kehityspanostukset uusiin vaihtoehtoihin ovat lisääntyneet voimakkaasti. Kehitteillä on esimerkiksi prosesseja, joissa liikenteen biopolttoaineita valmistetaan puusta tai jätteistä. Suomessa Neste Oil on käynnistänyt korkealuokkaisen kasviöljyjen ja eläinrasvojen vetykäsittelyyn perustuvan biodieselin tuotannon.

Taulukossa 2.1 on yhteenveto eri vaihtoehtoisten polttoaineiden tuotantomääristä. Luvut ovat suuntaa antavia, ja perustuvat vuoden 2005 tilanteeseen.

Taulukko 2.1. Vaihtoehtoisten tieliikennepolttoaineiden tuotantomäärät 2005 (eri lähteistä).

Polttoaine	Tuotanto (Mtoe/a)	Osuus liikennepolttoaineista (%)
Etanoli	18	1,1
Nestekaasu	17	1,1
Maakaasu	10	0,6
Biodiesel	4	0,3
Metanoli (osuus MTBE:ssä)	3	0,2
GTL	1	0,1
Yhteensä	53	3,3
Biopolttoaineiden osuus	22	1,4

- Liikenteen suurin ympäristöhaaste tällä hetkellä on kasvihuonekaasupäästöjen rajoittaminen.
- Parhaimmat vaihtoehtoiset polttoaineet auttavat vähentämään niin haitallisia päästöjä, kasvihuonekaasupäästöjä kuin öljyriippuvuutta.
- Useat asiantuntijat arvioivat, että tavanomainen öljyn tuotanto saavuttaa huippunsa lähimmän 5 – 10 vuoden sisään.
- Yhä kasvava öljyn kulutus ja mahdollinen öljyn tuotannon huippu nostavat öljyn hintaa.
- Maailman tieliikennepolttoaineiden kulutus on noin 1 600 Mtoe/a.
- Vaihtoehtoisten polttoaineiden osuus on noin 3,5 %, ja biopolttoaineiden osuus 1,5 %.
- Etanoli, nestekaasu ja maakaasu ovat tämän hetken tärkeimmät vaihtoehtoiset polttoaineet.
- Brasilia ja USA ovat etanolin suurimmat tuottajamaat, biodiesel dominoi Euroopassa.
- Maakaasun käyttö liikennepolttoaineena on yleisintä Etelä-Amerikassa, ja myös Aasian markkinat ovat voimakkaassa kasvussa.

3 Vaihtoehtoisten polttoaineiden edistäminen ja polttoaineiden hintataso

Yleistä

Vaihtoehtoisten polttoaineiden osuus liikenteessä on tällä hetkellä luokkaa 3,5 %. Vain harvassa tapauksessa vaihtoehtoiset polttoaineet pystyvät aidosti kilpailemaan tavanomaisten hiilivetyypolttoaineiden kanssa, vaan vaihtoehdot on saatu markkinoille erilaisten verohelpotusten, muiden tukien tai pakotteiden avulla. Ilman tukia kilpailukykyisiä vaihtoehtoja ovat lähinnä Brasiliassa tuotettu sokeriruokopohjainen etanoli ja myös maakaasu tietyissä Etelä-Amerikan ja Aasian maissa.

EU:ssa eräs keskeinen energia- ja ympäristöpolitiikan tavoite on uusiutuvien energialähteiden käytön edistäminen. Edistämistä pidetään tärkeänä hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ja polttoaineomavaraisuuden parantamiseksi, jotka ovat myös keskeisiä liikennepolitiikan tavoitteita. Tärkein uusiutuva energiavara on biomassa, jota voidaan käyttää sähkön ja lämmön tuotannossa sekä liikenteen polttoaineena. Biopolttoaineiden edistäminen kytkeytyy olennaisesti myös EU:n maatalouspolitiikkaan ja eräiden tuotteiden ylituotantoon. (Biopolttoainetyöryhmä 2006)

Vuonna 2003 annettiin biopolttoainedirektiivi 2003/30/EC. Tässä direktiivissä asetetaan tavoitteet (ohjeelliset, ei-sitovat) liikenteen biopolttoaineosuudelle:

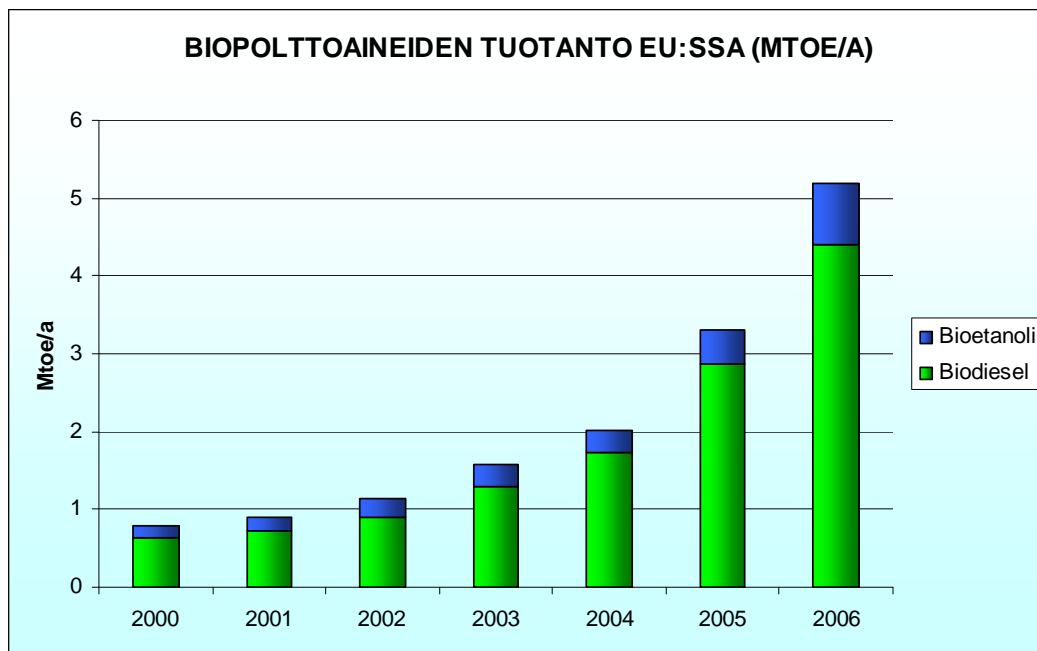
- 2 % energiana laskien vuonna 2005
- 5,75 % energiana laskien vuonna 2010

Alkuvuodesta 2007 esitellyssä energiastrategiassa (COM(2007) 1) komissio esittää sitovaa 10 %:n biopolttoainevelvoitetta vuodelle 2020. EU:n johtajat hyväksyivät energiastrategian linjaukset Brysselissä maaliskuussa 2007. Biopolttoainetavoite on kuitenkin ehdollinen, ja edellytykset ovat että biopolttoaineiden tuotanto on kestäväällä pohjalla ja että ns. toisen sukupolven biopolttoaineet kaupallistuvat. (EurActiv 2007)

Kuvassa 3.1 on esitetty biopolttoaineiden tuotannon kehittyminen Euroopassa. Kasvu on ollut erittäin nopeaa, 65 % vuodesta 2004 vuoteen 2005 ja 57 % vuodesta 2005 vuoteen 2006. Vuoden 2006 tuotantomäärä oli 5,2 Mtoe, josta perinteisen biodieselin osuus oli 85 % ja etanolin 15 % (lämpöarvoihin suhteutettuna). Ylivoimaisesti suurin tuottaja on Saksa. Saksassa on myös määrätietoisesti edistetty maakaasun käyttöä liikenteessä.

Ruotsissa on panostettu voimakkaasti vaihtoehtoisten polttoaineiden ja ns. vähäpäästöisten autojen edistämiseen. Ruotsissa pääasialliset biopolttoainevaihtoehdot ovat etanoli ja biokaasu.

Suomessa eduskunta päätti keväällä 2007 biopolttoaineiden käyttövelvoitelasta (446/2007). Käyttövelvoite on työryhmän suositusten mukaisesti joustava, eli toimijat saavat itse päättää miten he tehokkaimmin täyttävät velvoitteen. Vuoden 2008 käyttövelvoite on 2 % energiaosuutena, vuoden 2009 velvoite 4 % ja vuoden 2010 velvoite 5,75 % EU:n tavoitteiden mukaisesti.



Kuva 3.1. Euroopan biopolttoaineiden tuotannon kehittyminen. Perustuu Systemes Solaires'in (2006), EBB:n (2007) ja ebio:n (2007) lukuihin.

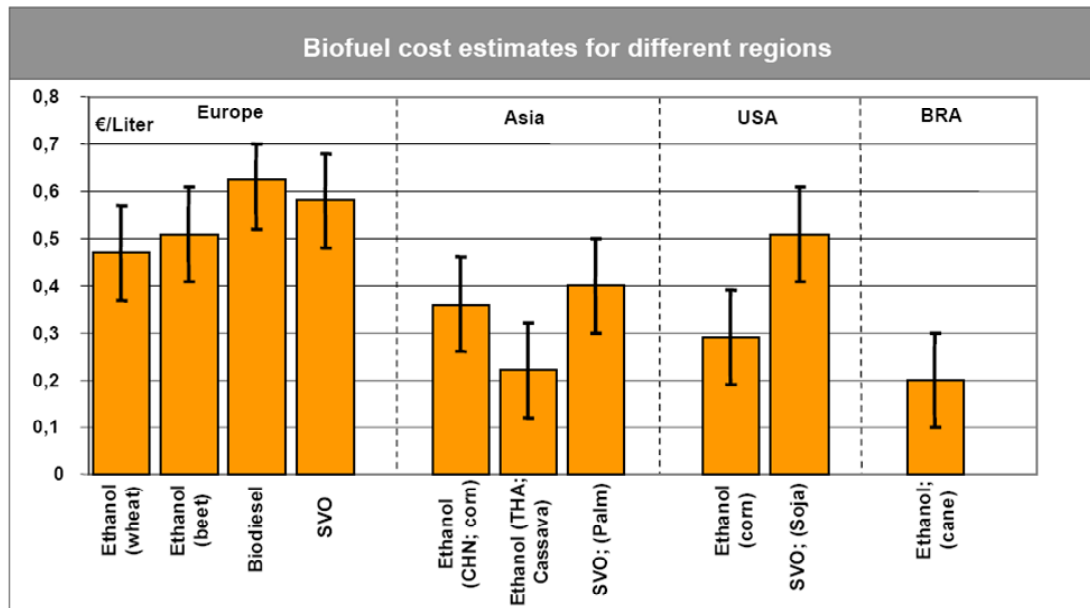
Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöä edistetään myös USA:ssa. Tammikuussa 2007 kansakunnalle pitämässään puheessa presidentti Bush esitti uusia linjauksia myös liikennepolttoaineiden osalta. Tavoitteet ovat seuraavat (White House 2007):

- bensiinin kulutuksen vähentäminen 20 % seuraavan 10 vuoden aikana (Twenty in Ten)
- uusiutuvien ja vaihtoehtoisten polttoaineiden määrän merkittävä lisääminen, vuoden 2017 tavoite 35 miljardia gallonaa, eli lähes viisinkertainen määrä verrattuna vuoden 2012 tavoitteeseen, vuoden 2017 määrä vastaa 15 % bensiinin kulutuksesta
- CAFE-polttoaineenkulutשמääräysten tiukentaminen bensiinin kulutuksen vähentämiseksi 5 %; vaihtoehtopolttoainevaatimuksesta ja kulutuksen laskusta syntyy yhteensä 20 %:n säästö

Polttoaineiden hinnat

Polttoaineen kuluttajahinta muodostuu polttoaineen tuotanto- ja jakelukustannuksista sekä mahdollisista veroista. Vaihtoehtoiset polttoaineet vapautetaan usein polttoaineverosta. Suomessa bensiinin polttoainevero on 0,59 €/l ja dieselpolttoaineen 0,32 €/l (ÖKKL 2007). Pumppuhintojen ollessa lokakuussa bensiinin osalta 1,30 €/l ja dieselpolttoaineen osalta 1,00 €/l, on sekä bensiinin että dieselpolttoaineen veroton litrahinta noin 0,50 €/l (ilman polttoaineveroa ja arvonlisäveroa). Suomessa veroton hinta on arvatenkin hieman korkeampi kuin suurissa kuluttajamaissa.

Kuvassa 3.2 on saksalainen arvio etanolin ja perinteisen biodieselin hintatasosta ilman veroja. Hinnat on ilmoitettu tilavuusyksikköä (litraa) kohti, joten vertailua varten hinnat tulisi suhteuttaa lämpösisältöön. Korjauskerroin etanolille bensiinin verrattuna on 1,63 ja biodieselille dieseliin verrattuna 1,06.



Source: meo

18

Kuva 3.2. Kustannusarvioita perinteisille biopolttoaineille eri maanosissa. Hinnat ilman korjausta lämpöarvon suhteen. (Schmitz 2007)

Eurooppalaisen etanolin ekvivalenttihinna on näin ollen noin 0,80 €/l ja brasilialaisen sokeriruokoetanolin noin 0,35 €/l. Eurooppaan tuotuna brasilialaisen etanolin hintaan on lisättävä kuljetuskustannukset, joten vertailukelpoinen hinta lienee noin 0,50 €/l. Tämän perusteella brasilialainen etanoli on hinnaltaan kilpailukykyistä Euroopassa, mutta paikallisesti tuotettu etanoli ei. USA:ssa tuotettu etanoli sijoittuu hinnaltaan Euroopassa ja Brasiliassa tuotetun etanolin välimaastoon.

Euroopassa tuotetun RME-biodieselin ekvivalenttihinna on noin 0,70 €/l. Raakapalmuöljyn (SVO palm) hinnaksi on arvioitu 0,40 €/l. Jos tähän lisätään esteröinnistä aiheutuva lisäkustannus (arvio 0,05 €/l), palmuöljystä tehdyn esteröidyn biodieselin ekvivalenttihinna tulisi noin 0,50 €/l. Tässäkin tapauksessa USA:ssa tuotettu biopolttoaine eli soijapohjainen biodiesel sijoittuisi hinnaltaan välimaastoon.

Euroopassa tuotettujen perinteisten biopolttoaineiden hintalisä on siis haarukassa 0,20 – 0,30 €/l, kun taas trooppisissa maissa tuotetut biopolttoaineet ovat kohtuullisen kilpailukykyisiä öljytuotteisiin nähden. Varsinaisten BTL-tuotteiden ja selluloosapohjaisen etanolin hintatasoista on vasta esitetty arvailuja, ja lopullisiin hintoihin tulevat vaikuttamaan niin prosessikehityksen onnistuminen kuin raaka-aineiden saatavuus ja hintataso. Oletusarvo on kuitenkin, että nämä tuotteet olisivat jatkossa kustannustehokkaampia kuin perinteiset eurooppalaiset biopolttoaineet.

Ajoneuvokäytössä maakaasun kohdistuu Suomessa pelkkä maakaasun energiavero, ei ylimääräistä polttoaineveroa. Paineistettua maakaasua myydään Helsingissä lokakuussa 2007 ajoneuvoihin 0,63 €/l bensiiniekvivalenttihinalla. Maailmalla myös nestekaasua myydään ajoneuvokäyttöön yleensä noin puoleen bensiinin hinnasta (ekvivalenttihinna).

- Pääsääntöisesti vaihtoehtoisten polttoaineiden markkinoille tuominen on edellyttänyt erilaisia tukitoimenpiteitä tai vaihtoehtoisesti velvoitteita.
- Biopolttoaineet ovat yleensä selvästi kalliimpia kuin bensiini ja diesel. Ainoastaan trooppisissa maissa tuotetut biopolttoaineet saattavat tänä päivänä olla hinnaltaan kilpailukykyisiä.
- Kaasujen (maakaasu, nestekaasu) energiahinta on yleensä alhaisempi kuin öljytuotteiden energiahinta.
- Sekä Euroopassa että USA:ssa harkitaan nyt sitovia velvoitteita vaihtoehtoisille polttoaineille (Euroopassa biopolttoaineille).
- Biopolttoaineiden osalta keskustellaan nyt vilkkaasti kestävän kehityksen mukaisista tuotantomuodoista. Niin peltopohjainen tuotanto Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa kuin biopolttoaineiden tuotanto yleensä trooppisissa maissa ovat joutuneet tarkastelun kohteeksi.
- Euroopassa Ruotsi ja Saksa ovat olleet edelläkävijämaita vaihtoehtoisten polttoaineiden edistämisessä.
- Ruotsissa on varsin monimutkainen tuki- ja kannustinjärjestelmä vähäpäästöisille henkilöautoille.
- Ruotsissa etanoli on tärkein vaihtoehtoinen polttoaine. Panostus erilliseen etanolin tankkausverkostoon ja etanolille räätälöityihin ajoneuvouhin ei välttämättä ole kustannustehokkain tapa tuoda biopolttoaineita liikenteeseen.
- Saksassa on kehitetty sekä biodieselin että maakaasun käyttöä.
- Saksa on maailman suurin perinteisen biodieselin tuottaja, mutta hiljattain toteutetun verouudistuksen takia osa biodieselpotentiaalista on tällä hetkellä vajaakäytössä.
- Jatkossa Saksassa tullaan käyttämään veroporrastusten ja käyttövelvoitteen yhdistelmää biopolttoaineille.
- Saksa on malliesimerkki siitä, miten maakaasukäyttöisten autojen ja maakaasun tankkausosien lukumäärät ovat kehittyneet tasapainoisesti.

4 Vaihtoehtoisten polttoaineiden kasviuonekaasupäästöt ja energiatehokkuus

Yleistä

Yksi tärkeä motiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden ja erityisesti biopolttoaineiden käytön edistämiseksi on kasviuonekaasujen (GHG) vähentäminen. Kasviuonekaasu- ja energiatarkastelut tulisi tehdä koko polttoaineketjun yli, ts. laskelmissa tulisi niin polttoaineen tuottamisesta, jalostamisesta, jakelusta kuin loppukäytöstä aiheutuvat päästöt. Tällöin puhutaan yleisesti elinkaaren päästöistä (life cycle, life cycle analysis LCA tai well-to-wheel WTW). Tulokset ilmoitetaan esim. muodossa kg CO_{2ekv}/kg polttoainetta. Usein tulokset myös suhteutetaan tavanomaisiin fossiilisiin polttoaineisiin, bensiiniin ja dieseliin. Well-to-wheel –tulokset voidaan ilmoittaa myös ajosuoritteeseen suhteutettuna, jolloin tulokset ovat esim. muodossa g CO_{2ekv}/km tai MJ/km.

Bensiinin, dieselöljyn ja maakaasun elinkaaren päästöt tunnetaan varsin tarkkaan. Karkeasti voidaan sanoa, että noin 15 % raakaöljyn sisältämästä energiasta kuluu dieselpolttoaineen tuotantoon, jalostukseen ja jakeluun. Bensiinin osalta luku on noin 20 %. Yhdestä dieselpolttoainekilosta syntyy noin 3,8 kg CO₂-ekvivalenttia (dieselin tapauksessa pääosin CO₂:ta), 3,2 kg loppukäytöstä ja 0,6 kg tuotannosta, jakelusta ja kuljetuksista.

Kasviuonekaasutaseen kannalta määrääviä tekijöitä ovat raaka-aine (fossiilinen tai uusiutuva), mitä panoksia raaka-aineen tuottamiseen tarvitaan, miten tehokas jalostus- tai konversioprosessi on ja mikä on polttoaineen hiili/vety -suhde. Jokainen konversiovaihe kuluttaa energiaa. Näin varsinkin, jos kiinteästä raaka-aineesta kuten biomassasta tai hiilestä tuotetaan nestemäisiä polttoaineita.

Varsinkin biopolttoaineiden osalta kasviuonekaasu ja energiataseiden laskenta on haastavaa. Yleensä lasketaan, että biomassasta peräisin oleva energiaosuus on CO₂-neutraalia, ts. vapautunut hiilidioksidi palautuu kiertoon. Kysymys onkin siitä, miten paljon fossiilista energiaa sitoutuu polttoaineen tuotantoketjuun, ja miten paljon kasviuonekaasuja syntyy itse viljelyksestä. Biopolttoaineiden LCA-laskelmissa esiintyy hyvinkin paljon hajontaa. Tämä pätee erityisesti peltopohjaisiin biopolttoaineisiin kuten ohrasta tai maissista valmistettuun etanoliin ja perinteiseen biodieseliin.

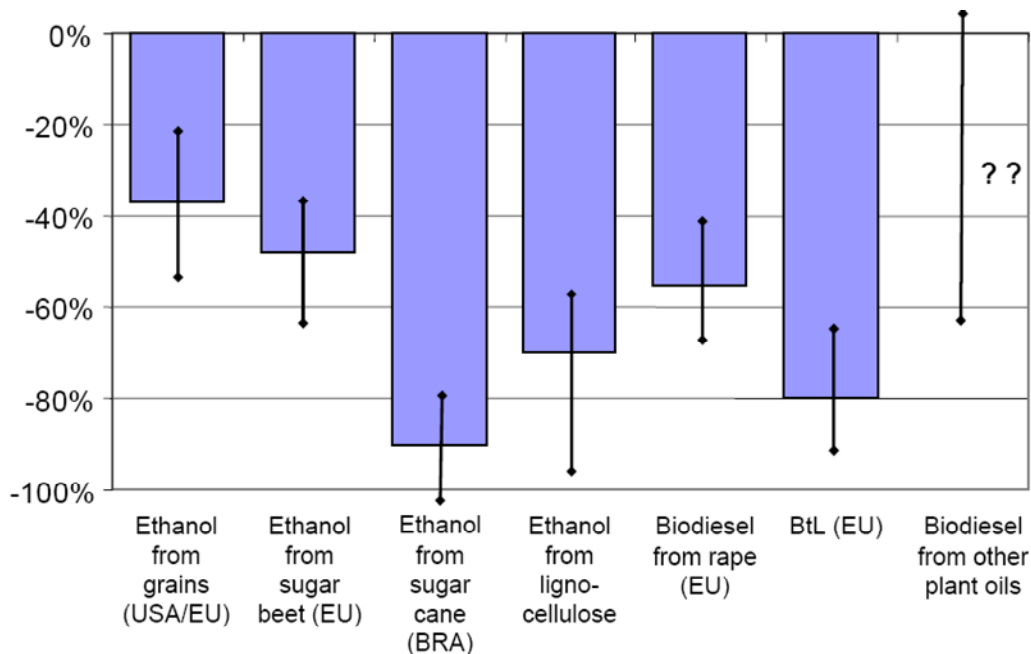
Kehittyvissä maissa tapahtuvaan biopolttoaineiden tuotantoon liittyy usein huoli sademetsien hakkaamisesta ja muunlaisesta luonnon tuhoamisesta. Eteläisellä pallonpuoliskolla biopolttoaineita voidaan periaatteessa tuottaa tehokkaasti, mutta ympäristöstä piittaamattomat tuotantotavat voivat pilata myös näiden vaihtoehtojen ekotaseen. Lisäksi suuren mittakaavan tuotanto voi myös aiheuttaa sosiaalisia ongelmia, kun paikallinen väestö ja pienviljelijät häädetään pois laajojen viljelmien tieltä. Niinpä brasilialainen etanoli ja indonesialainen palmuöljy ovat joutuneet erityisen huomion kohteeksi.

Esimerkkejä kasviuonekaasutaseista

Kuvassa 4.1 on esimerkki eri biopolttoainevaihtoehtojen elinkaaren kasviuonekaasupäästöistä suhteessa bensiiniin (etanoli) ja dieselpolttoaineeseen (biodieselvaihtoehto). Taulukon mukaan Euroopassa ja USA:ssa tuotetulla perinteisellä etanolilla kasviuonekaasupäästöjä voidaan keskimäärin 40 %. Tehokkain vaihtoehto on brasilialainen sokeriruokoetanoli, joka vähentää kasviuonekaasupäästöjä yli

80 %. Lignoselluloosapohjaisella etanolilla arvioidaan päästävän noin 70 %:n vähennykseen. Perinteisen rypsipohjainen biodieselvaihtoehto sijoittuu välimaastoon (-50 %), ja kaasutustekniikkaa hyödyntävän synteettisen BTL-biodieselin (biomass-to-liquids) CO₂-vähennyspotentiaaliksi on arvioitu 80 %.

VTT on arvioinut, että Suomessa tuotettu perinteinen viljaetanol ja perinteinen RME-biodiesel voisivat jopa lisätä kasviuonekaasupäästöjä tavanomaisiin polttoaineisiin verrattuna. (Mäkinen ym. 2006)



Kuva 4.1. Esimerkki eri biopolttoaineiden CO₂-vähennyspotentiaalista. (Schmitz 2007)

Neste Oil tulee käyttämään erilaisia kasviöljyjä ja eläinperäisiä rasvoja uuden NExBTL-biodieselin tuotannossa. Neste Oil on teettänyt arvioita eri polttoaineiden kasviuonekaasupäästöistä. NExBTL:n osalta arviot on tehnyt saksalainen IFEU-tutkimuslaitos. Neste Oilin mukaan NExBTL vähentää CO₂-päästöjä 40 – 60 % tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen verrattuna. (Mikkonen 2007)

Yhteenvedon eri polttoaineet voitaisiin karkeasti luokitella viiteen eri luokkaan kasviuonekaasupäästöiltään suhteessa tavanomaisiin nestemäisiin polttoaineisiin:

GHG-päästöt lisääntyvät merkittävästi (yli +50 %):

- kivihilestä tuotetut synteettiset nestemäiset polttoaineet ja hiililauhdesähköstä tuotettu vety

GHG-päästöt lisääntyvät lievästi (+10 %):

- maakaasusta tuotetut synteettiset nestemäiset polttoaineet, esim. GTL-diesel

GHG-päästöt eivät muutu tai vähenevät hieman (0...-30 %):

- vilja- ja sokerijuuriin perinteinen etanol
- maakaasu

GHG-päästöt vähenevät merkittävästi (luokkaa -50 %):

- kasviöljypohjaiset biopolttoaineet (ei välttämättä Suomessa tuotettuna, palmuöljyn osalta tiettyjä varauksia tuotantotapojen suhteen)

GHG-päästöt vähenevät erittäin merkittävästi (yli -70 %):

- selluloosapohjainen etanoli
- brasilialainen sokeriruokoetanoli (tiettyjä varauksia tuotantotapojen suhteen)
- synteetisikaasutietä biomassasta valmistettavat polttoaineet (BTL, DME, metanoli)
- biokaasu
- yleensäkin jätteisiin perustuvat polttoaineet

- Yksi tärkeimmistä argumenteista biopolttoaineiden käytölle on kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen.
- Biopolttoaineiden elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasupäästöjen määrittäminen on kohtuullisen vaikeaa.
- Asiantuntijat ovat kuitenkin varsin yksimielisiä siitä, etteivät Euroopassa tai Pohjois-Amerikassa tuotetut ns. ensimmäisen sukupolven peltopohjaiset ole kovinkaan tehokkaita kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä.
- Brasilialaisen sokeriruokoetanolin kasvihuonekaasutase on hyvä, ja likimain samaan päästään selluloosapohjaisella etanolilla ja kaasutustekniikkaan perustuvilla ns. toisen sukupolven biopolttoaineilla.
- Maakaasu tuo CO₂-vähennyksiä bensiiniä korvattaessa, muttei dieseliä korvattaessa.
- Puhdistettu biokaasu on kasvihuonekaasutaseen kannalta yksi parhaimmista biopolttoaineista.
- Nestemäiset kivihiilestä valmistetut synteettiset polttoaineet lisäävät kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi.
- Lähes kaikki vaihtoehtoiset polttoaineet lisäävät kokonaisenergian kulutusta verrattuna tavanomaisiin fossiilisiin polttoaineisiin, bensiiniin ja dieselpolttoaineeseen.
- Liikenteessä energian säästö on tehokkaampi keino laskea CO₂-päästöjä kuin biopolttoaineiden käyttöönotto.
- CO₂-päästöjen vähentämisen kustannukset biopolttoaineiden avulla ovat keskimäärin tasolla 200 – 400 €/t

5 Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöominaisuudet ja vaatimukset ajoneuvoille

Yleistä

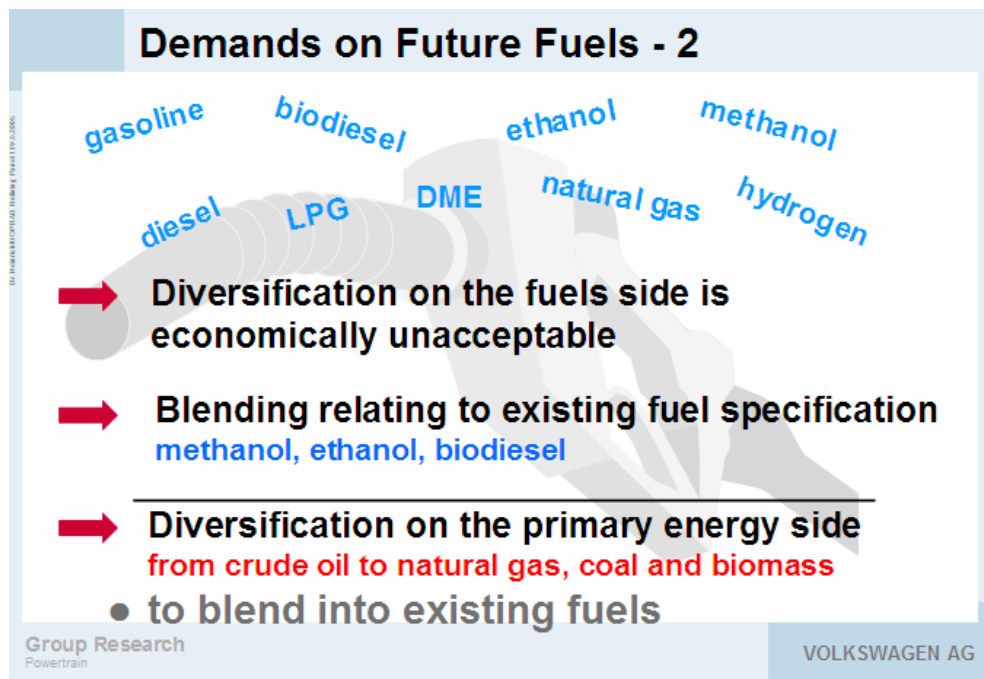
Polttomoottori voi ainakin teoriassa toimia mitä moninaisimmilla polttoaineilla ja polttoainekomponenteilla. Useimpia biopolttoaineita - alkoholeja, biodieseliä ja biokaasua - voidaan käyttää joko polttoainekomponenttina tai polttoaineena sellaisenaan. Alkoholi ja kaasumaiset polttoaineet soveltuvat kipinäsytytteisten moottorien (ottomoottorien) polttoaineeksi, kasvi- ja eläinperäiset öljyjohdannaiset puristusyttytteisten (dieselmoottorien) polttoaineeksi. Synteettisesti voidaan valmistaa niin bensiini- kuin dieselkomponentteja, joskin painotus on dieselpolttoaineissa.

Todellisuudessa vaihtoehdot ovat varsin rajalliset. Ei vähiten sen takia, että ajan myötä ajoneuvomoottorit, niin bensiini- kuin dieselmoottorit, pakokaasujen puhdistuslaitteet ja polttoaineet ovat hioutuneet hyvin toimiviksi kokonaisuuksiksi. Kun ajoneuvoissa otetaan käyttöön uusia polttoainekomponentteja, ei ole hyväksyttävissä että jouduttaisiin tekemään kompromisseja luotettavuuden, suorituskyvyn, energiatehokkuuden tai pakokaasupäästöjen osalta. Lisäksi polttoaineen kustannus saattaa olla merkittävä rajoittava tekijä. (Biopolttoainetyöryhmä 2006)

Ollaan lähestymässä tilannetta, jossa vaihtoehtoisen polttoaineen käyttöönotolla ei automaattisesti säävuteta merkittäviä päästövähennyksiä myrkyllisten päästöjen osalta. Ns. ensimmäisen sukupolven biopolttoaineet (esim. etanoli, FAME-tyyppinen biodiesel) saattavat jopa lisätä päästöjä tietyissä sovelluksissa. Toisaalta esim. metaanilla, synteettisillä dieselpolttoaineilla ja vedyllä voidaan vähentää myös myrkyllisiä päästöjä. Tästä voidaan vetää se johtopäätös, että tavanomaisten biopolttoaineiden ensisijainen ympäristöhyöty on mahdollinen kasvihuonekaasupäästöjen vähenemä. Kasvihuonekaasutarkastelut on ehdottomasti tehtävä ottaen huomioon koko polttoaineketju.

Todennäköisesti vähän polttoainetta kuluttavat ajoneuvot ovat kustannustehokkaampi vaihtoehto liikenteen CO₂-päästöjen alentamisessa kuin biopolttoaineiden laajamittainen käyttöönotto. Tästä syystä biokomponenttien käyttöönotto kannattaisi mahdollisesti linkittää energian säästötoimenpiteisiin ja vähän polttoainetta kuluttavien autojen suosimiseen.

Autoteollisuuden viesti vaihtoehtoisten polttoaineiden osalta on selvä. Ajoneuvojen sovittaminen ja hyväksyttäminen mitä erilaisimmille polttoaineille tulee äärettömän kalliiksi. Niinpä esim. Volkswagen ei halua lisää polttoainevaihtoehtoja, vaan toive on, että nykyisten kaltaisia hiilivetyypolttoaineita valmistettaisiin yhä laajenevasta raaka-ainevalikoimasta, mukaan lukien biomassasta. Volkswagenin mukaan myös ensimmäisen sukupolven biokomponentteja voidaan käyttää, kunhan tämä tehdään niin, että voimassa olevat polttoainenorimit tulee täytettyä (kuva 5.1).



Kuva 5.1. Volkswagenin näkemys suositeltavasta toimintamallista. (Seyfried 2005)

Ruotsalainen Vägverket määrittelee vaihtoehtoisille polttoaineille asetettavat vaatimukset seuraavasti (Hådel 2005):

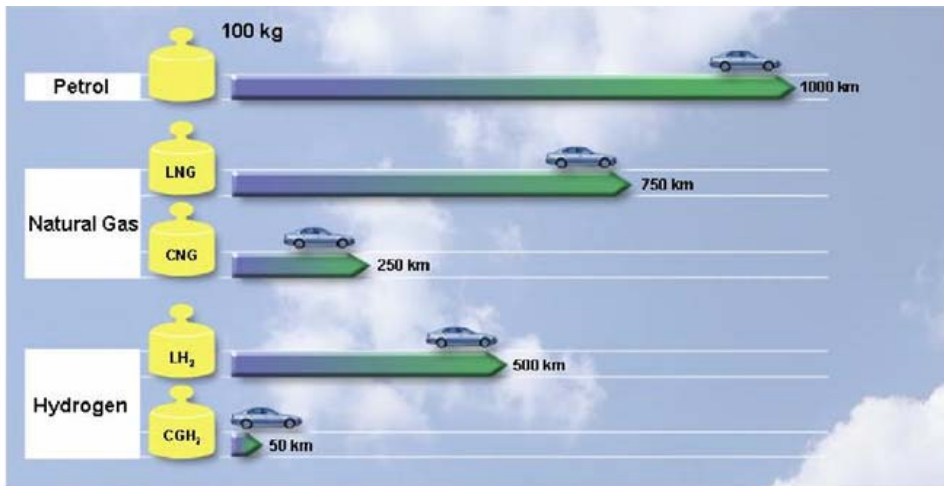
- Vaihtoehtoisen polttoaineen pitää olla ”yhteensopiva” ympäristövaatimusten ja tulevaisuuden kanssa
 - korkea hyötysuhde järjestelmän tasolla
 - globaali raaka-ainepohja
 - yhteensopivuus tulevien moottoriratkaisujen kanssa
 - merkittävä CO₂-päästöjen vähenemä
 - alhaiset myrkylliset päästöt
 - kohtuulliset kustannukset, hyötyjen tulee olla kustannuksia korkeammat ainakin pitkällä aikavälillä

Perinteisten hiilivetypolttoaineiden (benssiini, diesel) valta-asema perustuu osittain helppoon varastoitavuuteen ja suureen energiatiheyteen. Varsinkin kaasumaisilla polttoaineilla toimintamatka saattaa olla rajoittava tekijä (kuva 5.2). Myös etanoli vaatii normaalia suuremman polttoainesäiliön. Jos etanolilla korvataan dieselpolttoainetta, litramääräinen kulutus on etanolilla 1,7-kertainen dieseliin verrattuna.

Seoskomponentteina käytettävät nestemäiset vaihtoehtoiset polttoaineet eivät välttämättä edellytä muutoksia jakelujärjestelmissä tai ajoneuvoissa. Synteettiset polttoaineet voivat korvata nykypolttoaineet jopa 100 %:sesti ilman muutostarpeita. Toisaalta lähes puhtaan alkoholin käyttö edellyttää muutoksia sekä jakelujärjestelmään että ajoneuvoihin mm. korroosiovaaran takia.

Kaasumaiset polttoaineet edellyttävät aina infrastruktuurimuutoksia, sekä tankkausjärjestelmien että ajoneuvojen osalta. Usein riittävän suuren polttoainevaraston mahduttaminen ajoneuvoon tuottaa on-

gelmia. Suurin osa maa- ja nestekaasuautoista on toteutettu kaksoispolttoainejärjestelmillä siten, että autoja voidaan käyttää myös bensiinillä. Moottoriteknisesti bensiinimoottorin muuttaminen esim. maa- tai nestekaasulle on suhteellisen helppoa.



Kuva 5.2. Toimintamatka eri polttoainevaihtoehdoilla. (Cozzarini 2001)

Alkoholit ja alkoholijohdannaiset

Etanolia käytetään yleisesti bensiinin seoskomponenttina. EU:ssa pitoisuusraja on toistaiseksi 5 % (til.) sekä polttoainedirektiivin että EN228-standardin mukaan, USA:ssa raja on 10 %. Euroopassa keskustellaankin nyt rajan nostamisesta 10 %:iin. Meillä Suomessa E10-seos (10 % etanolia bensiinin joukossa) saattaisi aiheuttaa laihasta ilma-polttoaineseoksesta johtuvia ajettavuusongelmia vanhemmissa autoissa etenkin talviaikaan. Katalyysaattoriautoissa ongelmia ei todennäköisesti esiintyisi.

Käyttöteknisesti eetterit ovat alkoholeja parempi vaihtoehto. Eettereillä korroosion, höyrynpaineen ja kosteusongelmien hallinta on helpompaa, ja niinpä sekä öljynjalostajat että autoteollisuus suosivat eettereitä etanolin sijaan. Standardit mahdollistavat jopa 15 % (til.) raskaampia eettereitä. Eettereistä käytetyimpiä ovat metanoliin pohjautuva MTBE ja etanoliin pohjautuva ETBE. Suomessa on käytössä metanolipohjainen MTBE ja myös TAME. USA:ssa MTBE on kielletty koska sen on todettu vuotopaauksissa aiheuttaneen pohjaveden saastumista. Eetterien valmistuksessa lähtöaineina ovat alkoholi ja hiilivety. Alkoholin osuus eetterin lämpöarvosta on 15 - 33 %.

Myös butanolia on suunniteltu bensiinikomponentiksi. Butanoli on pitkäketjuinen alkoholi, joka ominaisuuksiltaan (lämpöarvo, vesitoleranssi, korroosio, polaarisuus) lähempänä bensiiniä kuin esim. etanoli.

Fuel flexible vehicle (FFV) –autoissa voidaan käyttää mitä tahansa bensiinin ja etanolin (periaatteessa myös metanolin) seosta aina 85 %:n etanolipitoisuuteen asti. Järjestelmä perustuu polttoaineen tunnistamiseen sekä polttoainemäärän ja sytytysennakon säätöön käytössä olevan polttoaineen mukaan. Polttoaineen tunnistamiseen käytetään joko erillistä anturia tai vaihtoehtoisesti seoksensäätöjärjestelmän

omia signaaleja. Lisäksi alkoholipolttoaine on huomioitava polttoainejärjestelmän materiaalivalinnoissa. FFV–autoja löytyy lähinnä USA:sta, Ruotsista ja Brasiliasta. Ruotsissa FFV–autojen lukumäärä on lisääntynyt voimakkaasti erilaisten kannustimien seurauksena.

Periaatteessa FFV-tekniikka on järkevä, koska auton valmistusvaiheessa FFV-tekniikasta aiheutuva lisäkustannus on marginaalinen. FFV-autot eivät kuitenkaan ole parhaimmillaan kylmässä ilmanalassa. Kylmäkäynnistys E85-polttoaineella on vaikeaa, ja palamattoman polttoaineen sekä aldehydien päästöt ovat korkeat. Ruotsissa suurin osa FFV-autoista on myyty Tukholman eteläpuolelle. Talvisaikaan käytetään polttoainetta jossa etanolipitoisuus luokkaa 70 %.

Alkoholi ei sovellu sellaisenaan tavanomaisen dieselmoottorin polttoaineeksi. Koska etanolin sekaaniluku on hyvin alhainen, joko moottoria tai polttoainetta on modifioitava toiminnan varmistamiseksi. Ruotsissa on käytössä etanolibusseja, joiden polttoaineena on syttyvyydenparantajalla ja voitelevuuslisäaineella lisäaineistettu etanoli. Näiden autojen käyttö alkoi Tukholman liikennelaitoksella jo vuonna 1990, ja autoja oli käytössä koko Ruotsissa yhteensä 490 kappaletta vuoden 2006 lopulla. (www.miljofordon.se)

Etanolibussit on toimittanut Scania. Moottoriin on tehty joukko muutoksia; puristussuhdetta ja polttoaineen ruiskutusjärjestelmän kapasiteettia on nostettu ja moottori on varustettu erikoiskatalysaattorilla aldehydipäästöjen kontrolloimiseksi. Polttoaineesta käytetään nimitystä Etamax D, ja tämän polttoaineen koostumus on 92,2 % etanolia (sis. 5 % vettä), 5 % syttyvyydenparantaja-lisäainetta, denaturoimisaineita (2.3 % MTBE ja 0.5 % iso-butanolia) sekä 90 ppm voitelevuus- ja korroosionestoainetta. (SEKAB)

Etanolin käyttöön bensiinin matalaseoskomponenttina ei liity mitään erityisiä lisäriskejä. Seospolttoaineen osalta toimitaan niin kuin toimitaan tavallisen bensiini osalta. Ainoa mahdollinen riski on, että etanoli saattaa lisätä korroosiota ja siten aiheuttaa vuotoja esim. vanhoissa jakelusäiliöissä. Ruotsissa kannetaan huolta E85–polttoaineen räjähdysvaarallisuudesta. E85–polttoaine muodostaa syttymiskelpoisen seoksen säiliössä lämpötilavälillä -32 - +12 °C, eli varsin usein esiintyvissä lämpötiloissa. (Räddningsverket 2007)

Mielenkiinto metanoliin moottoripolttoaineena on laantunut. Metanoli on korrosiivista ja myrkyllistä, mutta sen valmistus synteetikaasuteknologialla on tehokasta. Maakaasusta valmistettu metanoli on yksitärkeimmistä teollisuuskemikaaleista.

Perinteinen biodiesel

Samalla tavalla kuin etanoli sopii bensiinimoottorin polttoaineeksi, perinteinen biodiesel eli rasvahappojen metyyliesteri (FAME) sopii käytettäväksi dieselmoottoreissa. Tällä hetkellä biodiesel on Euroopan tärkein biopolttoaine. Perinteistä esteröityä biodieseliä voidaan käyttää joko dieselkomponenttina ja tietyin rajoituksin jopa dieselpolttoaineena sellaisenaan. Biodieselille on ominaista:

- tavanomaista dieselpolttoainetta korkeampi tiheys ja viskositeetti
- kapea, korkeaan lämpötilaan sijoittuva tislausalue
- sisältää happea, alentaa hiukkaspäästöjä mutta lisää NO_x-päästöjä korkeina pitoisuuksina
- huonot tai huonohkot kylmäominaisuudet

- huono varastoitavuus
- biodiesel on tehokas liuotin, saattaa aiheuttaa materiaaliongelmia

Taulukossa 5.1 on FAME:n ominaisuudet verrattuna tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen ja synteettisiin polttoaineisiin. Biodiesel tehdään kasviöljystä, pääasiassa rypsiöljystä, ja metanolista. Biodieselille on olemassa eurooppalainen normi EN 14214. Tämä normi säätelee biodieselin laatua sekä 100 %:n biodieselin että komponenttikäytön osalta. Normin vaatimukset mm. jodiluvun ja kylmäominaisuuksien ovat sellaiset, että vaatimukset täyttyvät vain suurella rypsiöljyosuudella. Eurooppalainen dieselpolttoainestandardi EN590 sallii tällä hetkellä 5 % FAME:a dieselpolttoaineeseen sekoitettuna, polttoainedi-
rektiivissä ei ole suoraa rajoitetta. Saksassa ja Itävallassa käytetään polttoaineena myös 100 %:sta biodieseliä. 100 %:n biodiesel asettaa erityisvaatimuksia polttoainejärjestelmän materiaaleille. USA:ssa pääasiallinen biodieselvaihtoehto on 20 %:n soijametyyliesteri.

Taulukko 5.1. Dieselpolttoaineiden ominaisuuksia. (Juva 2006)

	EN590/2005 Diesel (kesälaatu)	FAME	NExBTL	GTL Diesel
Tiheys; +15°C (kg/m ³)	≈ 835	≈ 885	775 ... 785	770 ... 785
Viskositeetti; +40°C (mm ² /s)	≈ 3.5	≈ 4.5	2.9 ... 3.5	3.2 ... 4.5
Setaaniluku	≈ 53	≈ 51	84 ... 99	73 ... 81
10 % tislauk (°C)	≈ 200	≈ 340	260 ... 270	≈ 260
90 % tislauk (°C)	≈ 350	≈ 355	295 ... 300	325 ... 330
Samepiste (°C)	≈ - 5	0 ... - 5	- 5 ... - 30	+5 ... -25
Lämpöarvo (alempi) (MJ/kg)	≈ 43	≈ 38	≈ 44	≈ 43
Lämpöarvo (alempi) (MJ/l)	≈ 36	≈ 34	≈ 34	≈ 34
Polyaromaattipit. (p-%)	≈ 4	0	0	0
Happipitoisuus (p-%)	0	≈ 11	0	0
Rikkipitoisuus (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10

Moottoritekniikan ja pakokaasujen jälkikäsitteilytekniikoiden kehittyessä ja polttoaineiden laatuvaatimusten samalla kiristyessä näköpiirissä on, että perinteisen biodieselin käyttömahdollisuudet kaventuvat tulevaisuudessa. Perinteinen biodiesel aiheuttaa ongelmia mm. hiukkassuodattimella varustetuissa autoissa.

Synteettiset polttoaineet

Synteettisillä polttoaineilla tarkoitetaan ensisijaisesti synteetikaasusta (joka on hiilimonoksidin ja vedyn seos) Fischer-Tropsch -prosessin avulla tuotettuja polttoaineita. Tekniikka kehitettiin alkuun Saksassa 1920-luvulla. Synteetikaasua taas valmistetaan kaasutuksella (kiinteät polttoaineet, öljy) tai reformoinnilla (metaani). Raaka-aineena voi siten olla öljy, biomassa (biomass-to-liquids= BTL), hiili (coal-to-liquids= CTL), maakaasu (gas-to-liquids= GTL) ja myös erilaiset kierrätyspolttoaineet. Kaikis-

ta näistä tuotteista käytetään myös merkintää XTL. Lopputuotteen ominaisuudet eivät ole sidoksissa prosessin raaka-aineeseen, koska kaikissa vaihtoehdoissa välivaiheena on synteetikaasu.

Fischer-Tropsch –synteesi tuottaa synteettistä raakaöljyä, josta öljynjalostuksen normaaleilla prosesseilla jalostetaan dieseljakeisiin painottuvia lopputuotteita. Esim. FT–raakaöljyn sisältämät vahat pilkottan vetykrakkauksella. Synteettiset hiilivetypolttoaineet sopivat olemassa oleviin jakelujärjestelmiin ja ajoneuvoihin ilman muutostarpeita.

Maakaasupohjaisten GTL:n tuotannon ennustetaan lisääntyvän merkittävästi lähivuosina. Biopohjaisista synteettisistä polttoaineista ei ole maailmalla vielä kaupallisia kokemuksia. CHOREN:in vuonna 2008 valmistuva BTL-laitos tulee olemaan ensimmäinen kaupallinen laitos, joskin varsin pienessä kokuokassa (15 000 t/a). (ASFE 2007)

Synteettinen (hiilivety-) polttoaine (XTL) on tyypillisesti korkealaatuista, aromaattivapaata hyvät syttymisominaisuudet omaavaa dieselpolttoainetta. Vetykäsittelyllä aikaansaadaan parafiinisia hiilivetyjä. Korkea setaaniluku ja rikittömyys antavat lisäarvoa pelkkään lämpöarvoon verrattuna. Tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen verrattuna synteettisellä dieselpolttoaineella on mahdollista alentaa sekä NO_x-että hiukkaspäästöjä ja lisäksi dieselpakokaasujen toksisuutta. Kuva 5.3 havainnollistaa synteettisen dieselpolttoaineen palamisominaisuuksia.



Kuva 5.3. Tavanomaisen (vasemmalla) ja synteettisen dieselpolttoaineen (oikealla) palaminen avonaisessa astiassa. (ASFE 2006)

Käytännössä mitkään tekijät eivät estä jopa 100 %:n synteettisten polttoaineiden käyttämistä sellaisenaan. Alhaisen tiheyden omaavat parafiiniset polttoaineet edellyttävät kuitenkin kulumisenestolisäaineen käyttöä ruiskutuslaitteiden suojelemiseksi. Vastaavaa lisäaineistusta käytetään myös esim. tavanomaisissa talvilaatuisissa dieselpolttoaineissa.

Shellillä on toimiva GTL–laitos Malesiassa. Shell käyttää GTL–komponenttia dieselpolttoaineessa mm. Hollannissa, Italiassa, Itävallassa, Kreikassa, Saksassa, Sveitsissä ja Thaimaassa. Tuotenimiä ovat mm. Shell V-Power Diesel ja Shell Pura Diesel. Euroopassa V-Power Dieselä on saatavilla yli 3 000 jakeluasemalta (Shell). Puhtaita GTL-komponentteja ei toistaiseksi ole käytetty kuin koemielessä.

CHOREN käyttää BTL-tuotteestaan SunFuel-nimitystä. Toistaiseksi SunFuel-polttoainetta on tuotettu vain pieniä määriä koetarkoituksiin. CHOREN'in mukaan SunFuel-dieselpolttoaineella on seuraavat edut:

- korkea setaaniluku ja tämän ansiosta tavanomaista dieselpolttoainetta paremmat syttymisominaisuudet
- ei sisällä aromaattisia yhdisteitä eikä rikkiä, näin pakokaasujen haitallisuus pienenee oleellisesti
- voidaan käyttää olemassa olevissa jakelujärjestelmissä ja ajoneuvoissa ilman minkäänlaisia muutostarpeita
- on CO₂-tehokas

Vetykäsittely kasviöljy

Neste Oil on kehittänyt uudentyyppisen biodieselprosessin (NExBTL), jossa biopohjaista dieseliä valmistetaan bioöljyistä vetykäsittelyprosessilla. Raaka-aine voi olla joko kasvis- tai eläinperäistä öljyä. Lopputuotteina syntyy parafiinihiilivetyjä joiden ominaisuudet vastaavat pitkälti synteettisiä dieselpolttoaineita (kts. taulukko 5.1).

Neste Oil kertoo, että NExBTL-tuotetta voidaan synteettisten dieselkomponenttien tapaan käyttää joustavammin ja ilman tiettyjä tavanomaiseen FAME -polttoaineeseen liittyviä rajoitteita. Prosessissa ei myöskään synny ei-toivottuja sivutuotteita. Jalostamopohjainen prosessi mahdollistaa myös laajemman raaka-ainepohjan ja paremman tuoteoptimoinnin verrattuna perinteiseen menetelmään, jossa valmiiseen dieselpolttoaineeseen lisätään FAME:a. NExBTL-prosessissa syntyy myös pieni määrä biobensiiniä, suuruusluokkana noin 5 % lopputuotteesta on bensiinijakeita.

Ensimmäinen tuotantolaitos (170 000 t/a) on jo käynnissä Porvoon jalostamolla, ja toinen yksikkö on rakenteilla. Neste Oil tuo siis ensimmäisenä maailmassa markkinoille merkittäviä määriä edistyksellistä biopolttoainetta, jossa yhdistyy perinteisen biodieselin raaka-ainepohja ja synteettisten polttoaineiden tuoteominaisuudet.

Maakaasu ja biokaasu (metaani)

Metaani (CH₄) on väritöntä, myrkytöntä ja ilmaa lähes puolet kevyempää kaasua. Mahdollisesti vuotava kaasu nousee näin ollen ylöspäin. Metaani on sekä maakaasun että liikennekäyttöön puhdistetun biokaasun pääkomponentti. Maakaasun koostumus vaihtelee jonkin verran riippuen sen alkuperästä. Suomeen tuleva Länsi-Siperian maakaasu on erittäin puhdasta ja tasalaatuista. Se sisältää 98 % metaania, loput 2 % ovat lähinnä etaania ja typpeä. Myös propaania, hiilidioksidia ja happea on hyvin pieniä pitoisuuksia. Rikkiä Länsi-Siperian maakaasussa ei ole käytännössä lainkaan. (Gasum 2007)

Maakaasu sopii hyvin kipinäsytytteisissä moottoreissa käytettäväksi. Se on erinomainen bensiinin korvike, ja bensiinimoottori saadaan varsin vähäisin muutoksin toimimaan maakaasulla. Kaasujärjestelmän pääkomponentit ovat kaasusäiliöt, paineensäätimet ja kaasun syöttölaitteisto. Säiliöistä korkeapaineinen kaasu annostellaan paineensäätimien ja syöttölaitteiston kautta ilman kanssa sopivassa seossuhteessa moottoriin.

Tehohäviö bensiinistä kaasuun siirryttäessä on enimmillään noin 10 %, jos ainoastaan vaihdetaan polttoaineeksi maakaasu. Tehohäviö voidaan kuitenkin kompensoida osittain korottamalla moottorin puristussuhdetta. Puristussuhteen korotuksen mahdollistaa metaanin oktaaniluku, joka on noin 120, kun bensiinillä luku on 95 - 99. Maakaasumoottori voidaan myös ahtaa, jolloin tehohäviötä ei esiinny.

Useimmissa henkilöautoissa on käytössä bi-fuel -järjestelmä, joka mahdollistaa ajon joko bensiinillä tai kaasulla, ja siten kasvattaa toimintasädetä. Vaihto bensiinin ja kaasun välillä tapahtuu joko automaattisesti tai painonapista valitsemalla. Edistyneimmät kaksoispolttoainejärjestelmällä varustetut moottorit on optimoitu siten, että auto antaa parhaimman suorituskyvyn ajettaessa kaasulla. Maakaasun ominais- CO_2 -päästö on 56 g/MJ, kun se bensiinin ja dieselin osalta on noin 70 g CO_2 /MJ. Bensiiniä korvattaessa CO_2 -päästö alenee noin 20 %.

Kemiallisesti yksinkertaisen polttoaineen ansiosta maakaasulla pakokaasujen koostumus on vähemmän haitallinen kuin bensiinillä. Kehittyntä moottoritekniikkaa käytettäessä bensiini- ja maakaasuauton säännellyissä päästöissä ei välttämättä ole merkittäviä eroja. Mainittakoon kuitenkin, että US EPA on nimennyt pelkällä maakaasulla toimivan Honda Civic GX NGV maakaasuauton maailman puhtaimmaksi polttomoottorikäyttöiseksi autoksi. (Honda 2007a)

Lähes kaikki nykyiset raskaan kaluston kaasumoottorit perustuvat muunnettuihin dieselmoottoreihin. Maakaasu ei syty itsestään puristussytytteisessä moottorissa (dieselmoottorissa), joten kaasumoottori on muutettava ottomoottoriksi. Kaasumoottorissa ruiskutuslaitteita on korvattu sytytystulpalla, ja männässä olevaa palotilaa on suurennettu puristussuhteen alentamiseksi. Kaasumoottori on luonnollisestikin varustettava kaasun syöttölaitteilla. Nykymoottoreissa käytetään sähköisesti ohjattua takaisinkytkettyä polttoaineen suihkutusta, joko imukanavakohtaista syöttöä tai keskitettyä ns. yksipistesuihkutusta.

Raskaiden ajoneuvojen osalta maakaasu tarjoaa merkittäviä päästövähennyksiä perinteisiin dieselmoottoreihin verrattuna niin säänneltyjen kuin ei-säänneltyjen päästöjen osalta. Tyypillistä kaikenikäisille kaasumoottoreille on erittäin alhaiset hiukkaspäästöt. NO_x -päästöjen hallintaan on olemassa kaksi vaihtoehtoista tekniikkaa, laihaseostekniikka (lean-burn) tai stoikiometrinen palaminen yhdistettynä kolmitoimikatalysaattoriin. Aikaisemmin laihaseostekniikka oli vallitseva, nyt valmistajat ovat siirtymässä kolmitoimikatalysaattoritekniikkaan.

Koska kipinäsytytteisen ottomoottorin hyötysuhde on noin 25 % (suht.) dieselmoottorin hyötysuhdetta huonompi, polttoaineen kemiallisesta koostumuksesta johtuva CO_2 -etu kumoutuu huonompaan hyötysuhteeseen. Niinpä dieselmoottorin ja raskaan maakaasumoottorin CO_2 -päästöt ovat likimain yhtä suuret. Kipinäsytytyksestä taas on etua alhaisen melutason muodossa.

Moottorin lisäksi maakaasuautot eroavat dieselautoista polttoainesäiliöiden osalta. Dieselisiin verrattuna maakaasu vaatii noin kuusinkertaisen säiliötilavuuden samaa ajomatkaa varten. Matalalattiaisissa busseissa kaasusäiliöt voidaan käytännössä sijoittaa vain auton katto-osaan. Maakaasubussin säiliötilavuus on tyypillisesti 1 000 – 1 700 l, ja toimintamatka on enimmillään 400 – 450 km. Kuorma-autoissa säiliötilavuus on yleensä selvästi pienempi, luokkaa 600 l, mikä vastaa noin 120 l dieselpolttoainetta. Niinpä vakiomalliset CNG kuorma-autot eivät sovellu pitkille matkoille. Ratkaisu voi löytyä lisäsäiliöistä tai nesteytetystä maakaasusta (LNG).

Nestekaasu LPG

Nestekaasun (LPG) pääkomponentit ovat propaani ja butaani. Lämpimissä maissa käytetään suhteessa enemmän butaania, kylmissä propaania tai jopa pelkkää propaania. Nimensä mukaisesti nestekaasu nesteytyy suhteellisen helposti, alle 10 barin paineessa. Tästä seuraa että nestekaasu on helpommin varastoitavissa ajoneuvoon kuin maakaasu. Bensiiniin verrattuna nestekaasu vaatii noin kaksinkertaisen säiliötilavuuden. Nestekaasu on ilmaa raskaampaa, ja tästä aiheutuu tiettyjä turvallisuusongelmia.

Moottoriteknisesti nestekaasu vastaa varsin pitkälle maakaasua tai metaania. Tosin joitain erojakin löytyy. Nestekaasulla on maakaasua alhaisempi oktaaniluku. Nestekaasu saattaa sisältää moottoria likaavia ja oktaanilukua alentavia olefiinejä.

Nestekaasua käytetään pääasiassa henkilöautoissa, jotka jälkikäteen on muutettu kaksoispolttoainekäytölle. Cummins ja MAN tekevät myös nestekaasukäyttöisiä raskaita ajoneuvoja tai moottoreita.

Dimetyylieetteri DME

DME muistuttaa ominaisuuksiltaan nestekaasua ja vaatii paineistetun varastoinnin. DME:tä on ajateltu käytettävän niin nestekaasun korvikkeena kotitalouskäytössä, voimantuotannon polttoaineena (kaasuturbiinit) kuin liikennepolttoaineena. Yksi DME:n eduista on selektiivinen ja energiatehokas synteesi. Tässä suhteessa metanoli on likimain samanarvoinen vaihtoehto.

DME:llä on, toisin kuin maa- ja nestekaasulla, hyvät syttymisominaisuudet, eli kyse on dieselpolttoaineen korvikkeesta. DME ei kuitenkaan ole kovinkaan käytännöllinen moottoripolttoaine, koska sillä on erittäin alhainen viskositeetti, alhainen voitelevuus ja korkea haihtuvuus. Näistä syistä tarvitaan mm. kokonaan uusi korkeapaineinen polttoaineen ruiskutusjärjestelmä, ja esim. polttoaineen siirtopumput on sijoitettava polttoainesäiliöihin kavitaation estämiseksi. DME:n käyttö tieliikenteen polttoaineena edellyttäisi investointeja tuotantolaitoksiin, uuteen jakeluinfrastruktuuriin sekä uusiin ajoneuvoihin.

Haasteista huolimatta Volvo Group pitää DME:tä lupaavimpana vaihtoehtopolttoaineena. Volvon mukaan kaikista biopolttoaineista mustalipeästä kaasuttamalla tehdyllä DME:llä saavutetaan korkein energiahyötysuhde ja alhaisimmat CO₂-päästöt. Volvo on tähän mennessä rakentanut yksittäisiä DME-koeautoja. Ruotsin energiaviranomainen STEM on myöntänyt Volvolle rahoitusta laajempaan vuosina 2009 – 2010 toteutettavaan kenttäkokeeseen. (Volvo 2006, Volvo 2007)

Myös mm. AVL, Denso, Nissan Diesel ja TNO ovat kiinnostuneita DME:stä moottoripolttoaineena. Nissan Diesel on osoittanut että DME:llä voidaan saavuttaa erittäin alhainen päästötaso (Oikawa ym. 2005).

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 %:sti maakaasuun. Vedyn suurin käyttäjä on öljynjalostusteollisuus, jossa vedyllä on suuri merkitys polttoaineiden laadun parantamisessa (mm. erilaiset krakkausprosessit ja rikinpoisto)

Vety kuitenkin mahdollistaa joko osittain tai kokonaan CO₂-vapaan energiajärjestelmän toteuttamisen, joko ydinenergialla tai uusiutuvasta energiasta tuotettuna tai käytettäessä hiilidioksidin talteenottoa fossiilisilla polttoaineilla. Mahdollinen vetytalouteen siirtyminen tulee kuitenkin viemään aikaa ja vaatimaan merkittäviä investointeja, ehkä suurimpana ongelmana on vedyn laajamittainen hankinta ja sen infrastruktuuri.

Vety voi toimia niin polttomoottorien kuin polttokennojen polttoaineena. Kaikkien vetyautojen osalta yhteisiä ongelmia ovat:

- vedyn varastoinnin vaikeus (kaasumaisena tai nesteytettynä)
- tankkausinfrastruktuurin puute
- se, ettei vetyä toistaiseksi tuoteta energiatarkoituksiin

BMW on ilmoittanut harkitsevansa polttomoottorilla varustetun vetyauton sarjatuotantoa (Green Car Congress 2006a). Auto voi käyttää joko bensiiniä tai vetyä. Kummallakin polttoaineella teho on 191 kW. Vety varastoidaan nesteytettynä. Toimintamatka vedyllä on 200 km, ja lisäksi autossa on 500 km:n toimintamatkan antava bensiinisäiliö (BMW 2007). Aiemmin BMW kokeili vetyautossa myös PEM-tyyppistä polttokennoyksikköä, ns. APU:a (Auxiliary Power Unit), ilmaston ja muiden apulaitteiden tarvitseman sähkön tuottamiseen polttomoottorin ollessa pysäytettynä.

MAN puolestaan on rakentanut vetykäyttöisiä busseja. Vuodesta 2005 lähtien Münchenin lentokentällä on ollut koekäytössä kaksi autoa, toinen polttokennolla ja toinen polttomoottorilla varustettuna. Vety-moottorin pohjana on MAN:in maakaasumoottori. Kokeilu on saanut jatkoa Berliinissä. Berliinissä ensimmäiset polttomoottorilla varustetut bussit saatiin liikenteeseen kesällä 2006, ja kahden vuoden sisään autoja on liikenteessä yhteensä 14. MAN on kehittämässä uutta ahdettua laihaseosperiaatteella toimivaa moottoria. Moottorissa vety syötetään suoraan palotilaan. Moottorin teho on 200 kW, ja sen maksimi hyötysuhde on 40 % (MAN 2007).

Myös Ford on valmistanut pienen sarjan ahdetulla vetymoottorilla varustettuja pienikokoisia busseja. Näitä on käytössä mm. Las Vegasissa. (News.com 2007)

Tulevaisuuden hybridiautossa sähkö saatetaan tuottaa polttomoottori-generaattori –yhdistelmän sijasta polttokennolla. Siinä vety yhtyy happeen synnyttäen sähkövirtaa. Polttokenno on sähkökemiallinen muunnin, joka mahdollistaa sähköenergian tuottamisen vetykaasusta ja ilmasta (hapestä). Koska vety-polttoaineessa ei ole hiiltä, reaktiotuotteena syntyy vain puhdasta vettä eikä lainkaan hiilidioksidia. Autokäyttöön tarkoitetut polymeerielektrodityypiset eli PEM -polttokennot toimivat myös niin matalassa lämpötilassa, että typen oksideja ei muodostu Polttokennovoimalaitteen hyötysuhde on hyvä etenkin pienillä kuormitusasteilla, jotka ovat tyypillisiä kaupunki- ja taajamaliikenteessä. Energian käytön kokonaishyötysuhde riippuu kuitenkin ratkaisevasti siitä tuotantotavasta, jolla vety valmistetaan. (Laurikko 2005)

Toimintaperiaatteeltaan itse polttokennossa (stack) on varsin yksinkertainen, eikä siinä ole liikkuvia osia. Voimalaittekokonaisuuteen kuuluu kuitenkin joukko apulaitteita, mm. polttoaineen ja ilman syöttölaitteet, jäädytysjärjestelmä, kostutusjärjestelmä, erilaiset lämmönvaihtimet, käynnistysjärjestelmä ja niin edelleen. PEM-tyyppisen polttokennovoimalaitteen kokonaishyötysuhde on parhaimmillaan noin

40 - 50 % (Smithsonian 2001). Suurimmat ongelmat liittyvät tällä hetkellä hintaan ja kestävyys (DOE 2006).

Lähes kaikki nykyiset ajoneuvojen polttokennojärjestelmät perustuvat vedyn suoraan käyttöön. Aikaisemmin tutkittiin myös autossa tapahtuvaa vedyn valmistamista nestemäisestä polttoaineesta (on-board reforming). Ensimmäinen polttoaine oli tällöin metanoli.

Useat autonvalmistajat ovat mukana kehittämässä polttokennoautoja. Henkilöautopuolelta mainittakoon Daimler, Ford, GM, Honda ja Toyota. GM uskoo aloittavansa polttokennoautojen myynnin 4 – 9 vuoden kuluessa (Green Car Congress 2006b,c). Honda puolestaan ilmoittaa aloittavansa polttokennoautojen myynnin pienessä mittakaavassa vuonna 2008 (Honda 2007b).

Polttokennot ovat herättäneet mielenkiintoa myös raskaiden ajoneuvojen valmistajissa. Polttokennoautoja ovat kehittäneet mm. EvoBus, Hino, Irisbus, MAN, Neoplan, New Flyer, Nova Bus, ja Van Hool. Polttokennobussin polttoaineen kulutus riippuu oleellisesti siitä, onko autossa energiavarasto ja jarrutusenergian talteenotto vai ei. Hybridiratkaisu parantaa myös polttokennoauton suorituskykyä. Mm. MAN ja Toyota-Hino ovat käyttäneet hybridiratkaisua. Gillig ja Evobus (Mercedes-Benz) ovat toteuttaneet polttokennobussinsa ilman energiavarastoa. Hybridisointi tasaa polttokennon kuormitushuippuja ja lisää sen kestoikää huomattavasti.

Hybridi- ja sähköautot

Raportissa on käsitelty lyhyesti myös hybridi- ja sähköautoja, vaikka kyse ei ole varsinaisista polttoainevaihtoehdoista. Hybridi- ja sähköautoille on yhteistä että autoa eteenpäin saava voima kehitetään osittain tai kokonaan sähkömoottorilla. Edellisessä kohdassa käsitelty polttokennoauto kuuluu myös samaan kategoriaan. Tähänastiset hybridautot ovat olleet autonomisia, ts. niihin ei ole syötetty ulkopuolista sähköenergiaa. Tähän on ilmeisesti tulossa muutos. Jos enenevässä määrin siirryttäisiin verkko-sähköllä ladattaviin hybridautoihin tai akkusähköautoihin, tämä merkitsisi huomattavaa lisäystä sähkön kulutukseen, ja tällä olisi heijastumia niin sähkön tuotantoon kuin sähkön jakeluverkkoon.

Sähkö on hyvä energiavektori siinä mielessä, ettei sen käytöstä aiheudu paikallisia päästöjä. Sähkön tuotannossa sitä vastoin voi syntyä päästöjä, sekä kasvihuonekaasu- että muita päästöjä. Suurimmat päästöt syntyvät hiililauhdelaitoksissa, kun taas esim. aurinko- ja tuulisähkö ovat lähes päästöttömiä vaihtoehtoja.

Hybridautolla tarkoitetaan kaksineuvoista autoa, jossa käytetään kahta voimanlähdettä tuottamaan ajoneuvon käyttövoima. Polttomoottori ja sähkömoottori ovat yleisimmin käytetyt voimanlähteet, joista polttomoottori on henkilöautoissa useimmiten bensiinimoottori ja raskaan kaluston ajoneuvoissa dieselmoottori. Peugeot on kuitenkin jo esitellyt dieselmoottorilla varustetun hybridihenkilöauton (Peugeot 2006). Hybriditekniikka sinällään ei tietenkään aseta mitään erityisiä vaatimuksia polttoaineen osalta. Polttomoottorin tilalla voi myös olla polttokenno.

Sähkömoottori toimii tilanteesta riippuen energiavarastoon varastoidun sähköenergian avulla tai suoraan polttomoottorilla tai polttokennolla tuotetulla sähköenergialla tai jollakin yhdistelmällä. Yleisin käytetty energianvarasto on akkupaketti mutta kondensaattorien jatkuvasti kehittyessä niiden käyttö oletettavasti lisääntyy. Sähköenergia kulkee kahteen suuntaan. Regeneratiivisessa jarrutuksessa ajoneu-

voa jarrutetaan sähkömoottorilla sen toimiessa generaattorina, ja jarrutusenergia syötetään energiavaraan.

Hybridijärjestelmien osalta päävaihtoehdot ovat sarjahybridi, rinnakkaishybridi tai näiden molempien yhdistelmä. Sarjahybridijärjestelmässä polttomoottori ja sähkömoottori tekevät likimain yhtä paljon työtä. Rinnakkaishybridijärjestelmässä polttomoottori dominoi, ja sähkömoottori avustaa polttomoottoria. Sekajärjestelmässä suhde on muuttuva.

Hybridiauton suurimpana etuna on sen parempi kokonaishyötysuhde, johon vaikuttaa kaksi oleellisesta parannusta perinteisiin polttomoottorilla toimiviin ajoneuvoihin verrattuna. Ensinnäkin, polttomoottoria voidaan käyttää enemmän parhaan hyötysuhteen alueella, mikä korostuu mitä nykivämpää ajo on. Toiseksi, normaalisti lämpöenergiakasi menetetyistä jarrutusenergiasta saadaan talteen merkittävä määrä energiaa suhteessa ajoneuvon kuluttamaan energiaan. Myös polttokennoauto hyötyy hybridisoinnista.

Tällä hetkellä parhaimmillaan henkilöautoilla voidaan saavuttaa noin 25 %:n ja kaupunkilinja-autoilla jopa yli 30 %:n polttoaineen säästö. Hybriditeknikan ollessa vielä kehitysvaiheessa, voidaan hyötysuhteiden vielä paranevan tehokkaampien ja kehittyneempien komponenttien myötä. Hybriditeknikasta saadaan luonnollisestikin paras hyöty kaupunkiolosuhteissa.

Varsinkin Yhdysvalloissa kiinnostuksen kohteena ovat nyt ns. plug-in hybridiautot, ts. autot joiden akustoja voidaan ladata verkkovirralla. Plug-in hybridi tarkoittaa käytännössä sitä, että osa auton käyttöenergiasta otetaan sähkön muodossa verkosta, eli nestemäisiä polttoaineita korvataan sähköllä. Plug-in hybridiautolla voidaan ajaa lyhyempiä matkoja pelkällä sähköllä. Plug-in hybrideihin kehitetään erityisesti Li-ion –akkutekniikkaa, ja kaupallistuminen voisi tapahtua 2009/2010. (Wikipedia)

Akkusähköisten autojen tarjonta on romahtanut. Aikaisemmin Euroopassa mm. Peugeot ja Renault tarjosivat sähköautoja. Ford hankki omistukseensa alun perin norjalaisen Th!nk-sähköautovalmistajan. Lisäksi oli tarjolla pienempien riippumattomien valmistajien sähköautoja, esimerkkinä kotimainen Elcat. Kaliforniaan tuli 90-luvulla noin 5 000 sähköautoa, joista enää noin 1 000 on käytössä. GM valmisti mm. näyttäviä EV-1 sähköautoja. (EV World)

Syitä tähän kehitykseen ovat varmaankin toisaalta akkusähköautojen riittämätön suorituskyky ja toisaalta hybridiautojen voimakas esiinmarssi. EV World'in mukaan pientä kehitystä on tapahtumassa. Vuonna 2005 Mitsubishi ja Subaru ilmoittivat vievänsä Li-ion –akuilla varustetut pikkuautot tuotantoon ennen vuotta 2010. Myös Toyotalta saattaa tulla akkusähköauto.

- Toimittaessa voimassa olevien polttoainenormien puitteissa esim. biokomponenttien käyttö ei aiheuta ongelmia tai muutostarpeita autokalustossa.
- Modifikaatioiden tarve lisääntyy seuraavassa järjestyksessä pienimmistä suurimpiin: synteettiset polttoaineet – matalaseosteiset biopolttoaineet (etanoli, FAME) – korkeaseosteiset biopolttoaineet (etanoli, FAME) – nestekaasu – maakaasu – DME – vety.
- Toimintamatkaa ajatellen nestemäinen polttoaine on aina kaasumaista polttoainetta parempi.
- Autoteollisuudelle suuri polttoainekirjo aiheuttaa ongelmia ja kustannuksia ajoneuvojen sopeuttamisen ja hyväksyttämisen muodossa.
- Autoteollisuudessa eniten kannatusta saavat synteettiset polttoaineet, jotka ovat täysin yhteensopivia olemassa olevien järjestelmien kanssa ja jotka käyttö- ja päästöominaisuuksiltaan ovat jopa tavanomaisia polttoaineita parempia.
- Etanoliautot sekä maa- ja nestekaasukäyttöiset autot ovat kohtuullisen yleisiä (useita miljoonia yksikköjä käytössä), DME- ja polttokennoautot vasta kokeiluasteella.
- Vaihtoehtoiset polttoaineet saattavat aiheuttaa turvallisuusongelmia. Tämä pätee niin etanoliin kuin kaasumaisiin polttoaineisiin. Korkeapaineiden vety on erityisen haasteellista.
- Hybriditeknikan käyttö tulee lisääntymään. Hybriditeknikka voidaan yhdistää mihin tahansa voimanlähteeseen (erilaiset polttomoottori, polttokennot) Tehokkaimmillaan hybriditeknikka on bussikalustossa.
- Kiinnostus verkosta ladattavia ns. plug-in hybridejä kohtaan on kova.
- Akkusähköautot ovat poistuneet markkinoilta lähes kokonaan. Akkusähköautojen tarjonta saattaa lisääntyä parantuvan akkuteknikan myötä.
- Akkujen suorituskyky on kriittinen tekijä sekä sähköautojen että plug-in hybridien kohdalla. Suurin mielenkiinto kohdistuu Li-ion -akkuihin

6 Viitteet

ASFE. (2006). Strategic EU Energy Review. Note for consideration – Synthetic Fuels. Alliance for Synthetic Fuels in Europe.

ASFE. (2007). Availability of synthetic fuels. Alliance for Synthetic Fuels in Europe.
http://www.synthetic-fuels.org/about_synthetic_fuels/availability_en.php

Biopolttoainetyöryhmä. (2006). Liikenteen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön edistäminen Suomessa. Työryhmän mietintö. KTM Julkaisuja 11/2006.
[http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/92AA9268109E88ECC2257180002A497E/\\$file/jul11eos_2006_netti.pdf](http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/92AA9268109E88ECC2257180002A497E/$file/jul11eos_2006_netti.pdf)

BMW. (2007). BMW CleanEnergy.
http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/cleanenergy/phase_2/cleanenergy.html

COM(2007) 1. Communication from the Commission to the European Council and the European Parliament. An Energy Policy for Europe. January 2007.

Cozzarini, C. et al. (2001). The Launch of Hydrogen as an Automotive Fuel. Proceedings of the 7th Annual European NGV Conference & Exhibit. May 2001, Malmö, Sweden. ENGVA.

DOE. (2006). Hydrogen, Fuel Cells & Infrastructure Technologies Program. U.S. Department of Energy. Energy Efficiency and Renewable Energy.
<http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/education/h2iq.html>

EBB. (2007). The EU biodiesel industry. Statistics. European Biodiesel Board. <http://www.ebb-eu.org/stats.php>

ebio. (2007). Bioethanol fuel in numbers. Production data. European Bioethanol Fuel Association.
http://www.ebio.org/production_data_pd.php

EN228. Automotive fuels – Unleaded petrol - Requirements and test methods. European Committee for Standardization. January 2004

EN590. Automotive fuels – Diesel - Requirements and test methods. European Committee for Standardization. January 2004.

EN14214. Automotive fuels. Fatty acid methylesters (FAME) for diesel engines. Requirements and test methods. European Committee for Standardization. January 2004.

EurActiv. (2007). EU makes bold climate and renewables commitment.
<http://www.euractiv.com/en/energy/eu-bold-climate-renewables-commitment/article-162373>

EV World. Production electric vehicles. <http://www.evworld.com/evguide.cfm?evtype=production>

Gasum. (2007). Ajamalla ympäristön parhaaksi. <http://www.gasum.fi/yksityisille/liikenne/Sivut/etusivu.aspx>

Green Car Congress. (2006a). BMW announces market introduction of the BMW Hydrogen 7. http://www.greencarcongress.com/2006/09/bmw_announces_m.html

Green Car Congress. (2006b). GM Chevrolet announces Equinox fuel cell vehicle; commits to launch 100-vehicle fleet in 2007. http://www.greencarcongress.com/2006/09/gm_chevrolet_an.html

Green Car Congress. (2006c). GM Expects to Have Fuel-Cell Vehicles in Showrooms in Next Four to Nine years. http://www.greencarcongress.com/2006/03/gm_expects_to_h.html

Honda. (2007a). The 2008 Civic GX NGV. <http://automobiles.honda.com/civic-gx/>

Honda. (2007b). Fuel cell powered, emission-free mobility. FCX concept. <http://world.honda.com/fcx/>

Hådell, O. (2005). Views on automotive fuels. Synbios. Stockholm, May 19th 2005. http://www.ecotraffic.se/synbios/konferans/presentationer/19_maj/automotive/synbios_hadell_olle.pdf

Ikonen, M. (2002). Eri polttoainevaihtoehtojen päästö- ja käytettävyyssominaisuuksien yhteenvetotaulukko. MOBILE² raportti M2K0135-1. VTT Prosessit, helmikuu 2002.

Juva, A. (2006). Dieselpolttoaineen ja biokomponenttien kehitys. RASTU 2006 – 2008: Turvallisuus, ympäristöominaisuudet ja uusi tekniikka. Tutkimusseminaari 9.5.2006. Espoo. http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/27a5a0eeb5a5e5d051846b3d2dc4d948/Polttoaineet_Juva.pdf

Laurikko, J. (2005). Ajoneuvokalusto ja tieliikenteen energianhuolto vuonna 2020: Käytännön toteutusvaihtoehdot Suomessa. Tutkimuslauseke PRO3/P3004/05. VTT, Espoo, 1.4.2005.

MAN. (2007). Transport worldwide. Powered by MAN. Erste Wasserstoffbusse von MAN für Berlin: der zeitnahe Einstieg in die Zukunft der Mobilität. http://www.man-mn.de/de/media/Pressemeldungen/show_press.jsp?key=86037&lang=de

Mikkonen, S. (2007a). Toisen sukupolven biopolttoaine. Pääkaupunkiseudun biopolttoainehanke -seminaari 16.1.2007. Informaatiotilaisuus liikennöitsijöille.

Mäkinen, T. ym. (2006). Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasviuonekaasutaset ja uudet liiketoimintakonseptit. VTT Tiedotteita 2357. Espoo 2006. <http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2357.pdf>

News.com. (2007). Vegas adds Ford hydrogen buses to fleet. http://www.news.com/8301-10784_3-9758914-7.html

OECD 2003. Driving force. OECD Observer, June 2003.

http://www.oecdobserver.org/news/fullstory.php/aid/859/Driving_force.html

Oikawa, H., Sato, Y. & Tsuchiya, T. (2005). Development of a DME (Dimethyl Ether) Fueled Heavy-Duty Truck. The XV International Symposia on Alcohol Fuels and Other Renewables (ISAF). San Diego, California. 26-28 September 2005.

Panorama. (2007). Biofuels Worldwide. IFP. http://www.ifp.fr/IFP/en/events/panorama/IFP-Panorama07_05-Biocarburants_monde_VA.pdf

Peugeot. (2006). Peugeot 307 hybrid HDi diesel. Press release 21 June 2006. http://www.newspress.co.uk/DAILY_LINKS/arc_jun_2006/50588-1-peu.htm

Räddningsverket. (2007). Fakta om brännbarheten för E85. <http://www.srv.se/upload/Förebyggande/bex/Faktablad%20BrännbarhetE85.pdf>

Røj, A. (2006). Pathways to biofuels in the transport sector. Renewable energy for Europe – Research in action. http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/21_roj_en.pdf

Schmitz, N. (2007). Germany's experience with deployment policies for transport technologies – The case of the biofuels market. Deploying Demand Side Energy Technologies Workshop. IEA Headquarters, Paris, 8-9 October 2007.

SEKAB. Etamax D bioethanol fuel for converted diesel engines. <http://www.sekab.com/Sve2/Informationssidor/Produktblad/Produktdatablad%20EtamaxD.pdf>

Seyfried, Frank. (2005). Environment – Friendly Synthetic Fuels from Renewables. Volkswagen's View on future Fuels. The XV International Symposia on Alcohol Fuels and Other Renewables (ISAF). San Diego, California. 26-28 September.2005.

Shell. Shell Gas & Power. Gas to Liquids (GTL). http://www.shell.com/home/content/shellgasandpower-en/products_and_services/what_is_gtl/dir_what_is_gtl_1205.html

Smithsonian. (2001). Fuel cell basics. Smithsonian Institution. <http://fuelcells.si.edu/basics.htm>

Statistical Pocketbook. (2006). EU energy and transport in figures. http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/pocketbook/2006_en.htm

System Solaires. (2006). n°173, Biofuels barometer 57 – May 2006.

Tabata, Y. (2005). Choice of Automotive Fuel Type in a Long Term in a Long Term. New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), JARI China Round Table 2005 Automobile and Energy Issues in China, Beijing, Oct. 22, 2005.

Tilastokeskus. (2006). Energian kokonaiskulutus laski selvästi vuonna 2005. Katsaus 16.3.2006.
http://www.stat.fi/til/ekul/2005/ekul_2005_2006-12-08_tie_001.html

Volvo. (2006). AB Volvo utvecklar tredje generationens DME-motorer för tunga fordon. 2006-06-19.
<http://www.volvo.com/group/sweden/sv-se/newsmedia/pressreleases/2006/dme.htm>

Volvo. (2007). Future fuels. Future fuels for commercial vehicles.
http://www.volvo.com/group/global/en-gb/Volvo+Group/ourvalues/environment/info_material/future_fuels/

White House. (2007). State of the Union Policy Initiatives. Twenty in Ten: Strengthening America's Energy Security. <http://www.whitehouse.gov/stateoftheunion/2007/initiatives/energy.html>

Wikipedia. Plug-in hybrid. http://en.wikipedia.org/wiki/Plug-in_hybrid

ÖKKL. (2007). Öljytuotteisiin ja maakaasuun kohdistuvat verot. http://www.oil-gas.fi/files/260_HinnatjaverotSuomessa.pdf

98/70/EC. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 98/70/EY, annettu 13 päivänä lokakuuta 1998, bensiinin ja dieselpolttoaineiden laadusta ja neuvoston direktiivin 93/12/ETY muuttamisesta. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31998L0070:FI:HTML>

2003/17/EC. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/17/EY, annettu 3 päivänä maaliskuuta 2003, bensiinin ja dieselpolttoaineiden laadusta annetun direktiivin 98/70/EY muuttamisesta. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003L0017:FI:HTML>

2003/30/EC. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/30/EY, annettu 8 päivänä toukokuuta 2003, liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32003L0030:FI:HTML>

446/2007. Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070446>

7 Ominaisuustaulukot

Liitteissä on esitetty taulukkomuotoiset yhteenvedot eri tekniikkavaihtoehtojen ominaisuuksista ja erityispiirteistä. Ensimmäisessä taulukossa on lueteltu yleisiä piirteitä ottamatta kantaa sovellukseen. Kahdessa seuraavassa taulukossa eri vaihtoehtoja on tarkasteltu sovelluslähtöisesti, ts. erikseen henkilöautojen ja raskaan kaluston osalta.

Liitetaulukot ovat:

- Liite 1: Polttoaine- ja tekniikkavaihtoehdot yleisesti, eurooppalainen näkökulma
- Liite 2: Polttoaine- ja tekniikkavaihtoehdot, henkilöautosovellusten erikoispiirteet
- Liite 3: Polttoaine- ja tekniikkavaihtoehdot, raskaan kaluston sovellusten erityispiirteet

LIITE 1. POLTTOAINE- JA TEKNIKKAVAIHTOEHDOT YLEISESTI, EUROOPPALAINEN NÄKÖKULMA			
	Edut	Haitat	Kehitysnäkymät
Bensiini ja diesel	<ul style="list-style-type: none"> perinteinen, koeteltu tekniikka toimintavarmuus korkea energiatiheys valmis jakeluverkko ja helppo tankkaus tehokas polttoaineen tuotantovaihe dieselmoottori on energiatehokas 	<ul style="list-style-type: none"> perinteisten bensiinimoottorien korkeahko polttoaineen kulutus perinteisen dieselmoottorin korkeat PM- ja NO_x -päästöt fossiilinen polttoaine 	<ul style="list-style-type: none"> bensiinin kysyntä laskussa dieselpolttoaineen kysyntä kasvussa
Etanoli	<ul style="list-style-type: none"> uusiutuva polttoaine nestemäinen tuote korkea oktaaniluku käytetyin vaihtoehtopolttoaine eri käyttömahdollisuuksia bensiinin korvauksessa (matala/korkea seos) brasilialainen etanoli CO₂- ja kustannustehokas 	<ul style="list-style-type: none"> korroosiota aiheuttava hygroskooppinen tuote bensiiniin verrattuna alempi lämpöarvo ei sovellu sellaisenaan dieselmoottoreihin eurooppalaisen peltopohjaisen etanolin kasvihuonekaasutase huono, kallis tuotannon eettisyys, kilpailu ruuan tuotannon kanssa sivutuotteiden hyödyntäminen 	<ul style="list-style-type: none"> jäte- ja selluloosapohjainen etanoli
Perinteinen bio-diesel (FAME)	<ul style="list-style-type: none"> uusiutuva polttoaine yksinkertainen tuotantoprosessi eri käyttömahdollisuuksia ei vaadi infrastruktuurimuutoksia hyvä voitelevuus keskimäärin n. 50 %:n CO₂-vähenemä 	<ul style="list-style-type: none"> huono varastoitavuus maksimipitoisuus tavallisessa dieselissä 5 %, korkeammat pitoisuudet ongelmallisia autoteollisuuden suhtautuminen pääosin kriittistä (korkeammat pitoisuudet) polttoaineen epäpuhtaudet saattavat tukkia hiukkassuodattimia vaati korkealaatuisen raaka-aineen Euroopassa tuotettuna kallis polttoaine tuotannon eettisyys, kilpailu ruuan tuotannon kanssa sivutuotteiden hyödyntäminen 	<ul style="list-style-type: none"> ei vastaa kehittyvän moottoritekniikan asettamia laatuvaatimuksia

<p>Synteettiset polttoaineet (XTL), diesel</p>	<ul style="list-style-type: none"> • korkea polttoaineen laatu • sopii olemassa olevaan kalustoon • vähentää NO_x- ja PM-päästöjä • joustava käyttö • autoteollisuuden tuki • laaja raaka-ainepohja • kypsä tuotantoteknologia 	<ul style="list-style-type: none"> • FT-tekniikka painottuu dieselkomponentteihin, FT-bensiinistä ei laatuhyötyjä • maakaasupohjainen GTL ei vähennä CO₂-päästöjä • hiilipohjainen CTL lisää CO₂-päästöjä 	<ul style="list-style-type: none"> • GTL-tuotanto lisääntyy Lähi-idässä, CTL-tuotanto Kiinassa • polttoaineiden räätälöinti uusien moottorityyppien varten mahdollista • jatkossa tarvitaan myös synteettisiä bensiinijakeita
<p>Synteettinen biopolttoaine (BTL), diesel</p>	<ul style="list-style-type: none"> • korkea polttoaineen laatu • sopii olemassa olevaan kalustoon • vähentää NO_x- ja PM-päästöjä • joustava käyttö • autoteollisuuden tuki • laaja raaka-ainepohja • voi vähentää CO₂-päästöjä merkittävästi (80 %) 	<ul style="list-style-type: none"> • FT-tekniikka painottuu dieselkomponentteihin • teknologia vasta kehitteillä, kaupallistuminen n. 2015? 	<ul style="list-style-type: none"> • kehitystoiminnan painopiste • lupaavat tulevaisuuden näkymät • jatkossa tarvitaan myös synteettisiä bensiinijakeita
<p>Vetykäsitelty kasviöljy (HVO, kauppanimi NExBTL)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • korkea polttoaineen laatu • sopii olemassa olevaan kalustoon • vähentää NO_x- ja PM-päästöjä • joustava käyttö • autoteollisuuden tuki • perinteistä biodieselia laajempi raaka-ainepohja, myös jäterasvat • keskimäärin n. 50 %:n CO₂-vähennelmä • kaupallinen tuotanto käynnistynyt 	<ul style="list-style-type: none"> • tuottaa enimmäkseen dieselpolttoainetta ja pienen määrän (5 %) biobensiiniä • osittain sama raaka-ainepohja kuin perinteisessä biodieselissa (eettisyys) • huoli trooppisten kasviöljyjen ympäristövaikutuksista 	<ul style="list-style-type: none"> • HVO tuotanto kasvaa, koska tuotelaatu parempi FAME:en verrattuna • non-food öljyjen hyödyntäminen (esim. Jatropha)

Maakaasu (paineistettu)	<ul style="list-style-type: none"> • maakaasua runsaasti saatavilla • maakaasuautojen tekniikka kohtuullisen vakiintunutta (autoja n. 7 miljoonaa) • nestemäisiä hiilivetypolttoaineita puhtaampi palaminen • nestemäisiä hiilivetypolttoaineita alempi ominais-CO₂-päästö (g CO₂/MJ) • alentaa haitallisia pakokaasupäästöjä • korkea puristuskestävyys • maakaasuauto toimii myös biokaasulla • suopea verotuskohtelu mm. Suomessa • myös nesteytys mahdollista (LNG, GTL) • maakaasuauto toimii myös biokaasulla 	<ul style="list-style-type: none"> • vaatii käytännössä putkiverkon • kalliit tankkausjärjestelmät • toistaiseksi vain harvoja tankkauspaikkoja Suomessa • vaatii erikoisvarustellut ajoneuvot ja korkeapaineiset kaasusäiliöt • maakaasu ei sovi tavanomaisen dieselmoottorin polttoaineeksi • rajoitettu toimintamatka kaasulla (LNG:llä tilanne parempi mutta kalliimpi tekniikka) • fossiilinen polttoaine 	<ul style="list-style-type: none"> • laajentuva maakaasun tankkausverkosto Suomessa (julkiset asemat ja ns. kotitankkaus) • kytkeä biokaasuun
Biokaasu	<ul style="list-style-type: none"> • uusiutuva polttoaine • erittäin edullinen kasvihuonekaasutase • puhdistetulla biokaasulla samat käyttö- ja päästöominaisuudet kuin hyvälaatuisella maakaasulla • puhdistettua biokaasua voidaan myös syöttää maakaasuverkkoon 	<ul style="list-style-type: none"> • raakakaasun puhdistus melko kallista • tankkauslaite- ja ajoneuvovaatimukset kuten maakaasulla • erilliset biokaasujärjestelmät vaativat tukipolttoaineen (maakaasu joko putkikaasuna tai LNG:nä) 	<ul style="list-style-type: none"> • kiinnostus biokaasun liikennekäyttöä kohtaan kasvussa
Nestekaasu	<ul style="list-style-type: none"> • vakiintunut tekniikka • toiseksi käytetyin vaihtoehtopolttoaine • maailmalla polttoaineen hinta kohtuullinen • maakaasuun verrattuna helpompi tankkaus ja suurempi energiatiheys 	<ul style="list-style-type: none"> • vaatii erikoisvarustellut ajoneuvot • nestekaasu ei sovi tavanomaisen dieselmoottorin polttoaineeksi • soveltuu maakaasua huonommin raskaan moottorin polttoaineeksi (alempi puristuskestävyys) • ei erityisen ympäristöystävällinen vaihtoehto • ilmaa raskaampi kaasu (turvallisuusriski) • fossiilinen polttoaine, ei helppoa biomahdollisuutta 	<ul style="list-style-type: none"> • käyttö jatkunee tasaisena

DME	<ul style="list-style-type: none"> • voidaan valmistaa joko fossiilisista tai uusiutuvista raaka-aineista • tehokas konversioprosessi • mahdollistaa dieselmoottorin päästöjen alentamisen (painopiste raskaassa kalustossa) • nesteytyy kohtuullisessa paineessa 	<ul style="list-style-type: none"> • vaati erikoisvarustellut ajoneuvot (ruiskutusjärjestelmä, kaasusäiliöt) • DME-autot kokeiluvaiheessa • vaatii kokonaan uuden jakelujärjestelmän • toistaiseksi ei tuotantoa liikennekäyttöön • ilmaa raskaampi kaasu (turvallisuusriski) 	<ul style="list-style-type: none"> • voi korvata nestekaasun esim. kotitalouskäytössä • Volvo tekee ensimmäiset laajemmat kenttäkokeet 2009 – 2010
Vety	<ul style="list-style-type: none"> • alhainen CO₂ jos perustuu uusiutuvaan energiaan tai ydinenergiaan • eri tuotantomahdollisuuksia (sähkö, terminen tie) • mahdollistaa teoriassa hiilivapaan energia- ketjun • voidaan käyttää sekä polttomootoreissa että polttokennoissa • haitalliset pakokaasupäästöt nollassa polttokennoilla (polttomootoreilla pienet määrät hiilivetyä ja typen oksidea) • polttokennotekniikka lupaa korkeaa hyötysuhdetta 	<ul style="list-style-type: none"> • toistaiseksi vetyä ei pystytä tuottamaan ja jakelemaan järkevällä tavalla laajamittaisesti • hankalaa ja kallista kuljettaa ja varastoida sekä kaasumaisena että nestemäisenä • tankkausinfrastruktuuri puuttuu • kaasumaisen vedyn energiatiheys alhainen • kaasumaisella vedyllä korkea 700 barin painetaso • turvallisuusriskit • polttokennoautot eivät kaupallistu vielä pitkään aikaan • vedyn valmistustapa vaikuttaa merkittävästi elinkaaren kasvihuonekaasupäästöihin ja energiatehokkuuteen • nykytekniikan tasolla polttokennoauto ei välttämättä ole dieselautoa energiatehokkaampi 	<ul style="list-style-type: none"> • mm. EU:n tasolla panostus vetyyn ja polttokennotekniikkaan on massiivista • polttokennoautot kaupallistunevat aikaharvassa 2020 – 2050 • kiinnostus vetykäyttöisiin polttomootoriautoihin on viriämässä, mahdollisuus nopeuttaa vedyn käyttöönottoa
Hybriditekniikka	<ul style="list-style-type: none"> • parantaa kaikkien ajoneuvotyyppien (bensini, diesel, kaasu, polttokenno..) energiatehokkuutta • voimalaitteen toiminnan tasaaminen ja jarrutusenergian talteenotto • polttoaineen säästöpotentiaali 20 – 30 % • mahdollistaa myös rajoitetun ajon pelkällä sähköllä 	<ul style="list-style-type: none"> • monimutkainen ja toistaiseksi kallis tekniikka • polttoainesäästö riippuu ajoprofiilista • akkuihin saattaa liittyä turvallisuusriskejä 	<ul style="list-style-type: none"> • panostusta sekä superkondensaattorien että Li-ion –akkujen kehitykseen • akkutekniikan parantumisen myötä mahdollistuva plug-in hybriditekniikka avaa uusia näkymiä • akkujen suorituskyky kriittinen tekijä niin plug-in hybridien kuin akkusähköautojen kohdalla
Akkusähköautot	<ul style="list-style-type: none"> • nollapäästöt ajoneuvoa käytettäessä • alhainen melutaso • alhainen CO₂-päästö uusiutuvaa sähköä ja ydinsähköä käytettäessä 	<ul style="list-style-type: none"> • rajallinen toimintamatka • usein myös rajallinen suorituskyky • akkusähköauto ei sovellu yleisajoneuvoksi • akustojen kestoikä rajallinen • akkuihin saattaa liittyä turvallisuusriskejä 	<ul style="list-style-type: none"> • kts. hybridit

LIITE 2. POLTTOAINE- JA TEKNIKKAVAIHTOEHDOT: HENKILÖAUTOSOVELLUSTEN ERITYISPIIRTEET			
	Edut	Haitat	Kehitysnäkymät
Bensiini	<ul style="list-style-type: none"> • alhaiset säännellyt päästöt • kohtuullinen kokonaistalous pienillä ajosuoritteilla 	<ul style="list-style-type: none"> • polttoaineen kulutus ja CO₂-päästö korkeat 	<ul style="list-style-type: none"> • suoraruiskutustekniikka ja down-sizing polttoaineen kulutuksen alentamiseksi • bensiinimoottorien tekniikka lähestyy dieselmoottoreita
Diesel	<ul style="list-style-type: none"> • alhainen polttoaineen kulutus ja alempi CO₂-päästö bensiiniin verrattuna • hyvä kokonaistalous suurilla ajosuoritteilla 	<ul style="list-style-type: none"> • bensiiniautoihin verrattuna korkeat PM- ja NO_x -päästöt • kiristyvien päästömääräysten takia monimutkaistuva rakenne 	<ul style="list-style-type: none"> • dieselbuumi menossa • hiukkassuodattimet vakiovarusteeksi • kiristyvät päästömääräykset saattavat vähentää henkilöautodieselin kilpailukykyä 2010 jälkeen • uudet palamisjärjestelmät (esim. CCS, HCCI) • muutoksia polttoaineen laatuvaatimuksiin
Matalaseosteiset alkoholiseokset (bensiinissä)	<ul style="list-style-type: none"> • ei muutoksia autokalustoon tai jakelujärjestelmään • kustannustehokas tapa käyttää biokomponenttia 	<ul style="list-style-type: none"> • korvasaste alhainen, nykynormein 5 % (til.) joka on energiana 3 % • faasierottumisen vaara • lisää haihtumapäästöjä 	<ul style="list-style-type: none"> • eetteri (ETBE) käyttökäytännössä parempi vaihtoehto • polttoainestandardien sallivuus lisääntyy: <ul style="list-style-type: none"> ○ etanolipitoisuuden nosto 5 -> 10 % ○ happipitoisuuden nosto 2,7 -> 3,7 %
FFV-autot/E85	<ul style="list-style-type: none"> • joustavuus • pieni kustannuslisä auton valmistusvaiheessa • paremmat suoritusarvot kuin bensiinillä 	<ul style="list-style-type: none"> • suurempi litramääräinen kulutus • huono toiminta ja korkeat pakokaasupäästöt kylmässä • E85 vaatii oman jakelujärjestelmän • E85-polttoaineen räjähdysvaara 	<ul style="list-style-type: none"> • käynnistyvyyden parantaminen erityisesti kylmässä • päästömääräysten täysmääräinen soveltaminen myös E85-polttoaineeseen
Maakaasu	<ul style="list-style-type: none"> • autojen tarjonta kohtuullista • veropäätösten ansiosta edullinen vaihtoehto • bensiiniä alempi CO₂-päästö • kaksoispolttoainekäyttö tuo joustoa 	<ul style="list-style-type: none"> • tietyissä automerkeissä kustannuslisä merkittävä • rajoitettu toimintamatka kaasulla 	<ul style="list-style-type: none"> • kaksoispolttoaineautojen optimointi maakaasulle • auton runkoon integroidut säiliöt
Nestekaasu	<ul style="list-style-type: none"> • varsinkin jälkiasennuksien tarjonta runsasta • kaksoispolttoainekäyttö tuo joustoa 	<ul style="list-style-type: none"> • maakaasun verrattuna pienemmät säiliöt 	
Hybriditekniikka	<ul style="list-style-type: none"> • autoja tarjolla, joskin varsin rajoitetusti • Toyota Prius ja Honda Civic hybrid esimerkkejä "varsinaisista ekoautoista" 	<ul style="list-style-type: none"> • hybriditekniikka ei toistaiseksi kovin kustannustehokas vaihtoehto henkilöautoissa • hintalisän vuoksi hybriditekniikkaa on sovellettu ensisijaisesti suurikokoisiin premium-autoihin, jolloin painotus enemmänkin suorituskyvyssä kuin polttoainetaloudessa 	<ul style="list-style-type: none"> • hybriditekniikan soveltaminen diesel- ja kaasuautoihin • plug-in hybriditekniikka

LIITE 3. POLTTOAINE- JA TEKNIKKAVAIHTOEHDOT: RASKAAN KALUSTON SOVELLUSTEN ERITYISPIIRTEET			
	Edut	Haitat	Kehitysnäkymät
Diesel	<ul style="list-style-type: none"> alhainen polttoaineen kulutus tehokas polttoaineen tuotantovaihe 	<ul style="list-style-type: none"> perinteisten dieselmoottorien korkeat PM- ja NO_x -päästöt kiristyvien päästömääräysten takia monimutkaistuva rakenne kaikkien uusien dieselautojen osalta (Euro 4/5/EEV) vähäpäästöisyys ei toteudu käytännön ajossa (pätee erityisesti busseihin) 	<ul style="list-style-type: none"> pakokaasujen jälkikäsitely lisääntyy US 2010/Euro 6 päästörajat haasteellisia uudet palamisjärjestelmät (esim. CCS, HCCI) muutoksia polttoaineen laatuvaatimuksiin
Pelkkä etanoli dieselmoottorissa	<ul style="list-style-type: none"> alemmat NO_x- ja PM -päästöt tavanomaisiin dieselmoottoreihin verrattuna 	<ul style="list-style-type: none"> etanoli ei toimi normaalissa dieselmoottorissa vaan edellyttää sekä polttoaineen lisäaineistamista että muutoksia moottoriin päästöedut uusien dieselmoottoreihin verrattuna kaventumassa korkeat aldehydipäästöt maakaasu on päästöjen kannalta parempi vaihtoehto 	
Synteettiset dieselpolttoaineet (XTL, HVO)	<ul style="list-style-type: none"> raskaaseen kalustoon kohdentaminen voisi alentaa esim. bussien ja jäteautojen päästöjä merkittävästi 	<ul style="list-style-type: none"> korkea polttoaineen hinta 	<ul style="list-style-type: none"> laajamittaiset kokeilut korkean pitoisuuden HVO biopolttoaineella (30 – 100 %) alkamassa
Maa- ja biokaasu	<ul style="list-style-type: none"> pienemmät PM- ja NO_x -päästöt dieseliin verrattuna hiukkaspäästöt lähes nollatasoa auton tekniikasta ja iästä riippumatta selvästi alempi melutaso dieseliin verrattuna bussien tarjonta melko runsasta maakaasuauto toimii myös biokaasulla 	<ul style="list-style-type: none"> ajoneuvojen lisähinta merkittävä pienien sarjojen takia suurempi polttoaineen kulutus kuin dieselillä koska kaasumoottori toimii ottoperiaateella luotettavuus ei vielä dieselin tasoa kuorma-autojen tarjonta vähäistä toimintamatka ongelmallinen erityisesti kuorma-autojen osalta kalliimmat investoinnit ja korkeampi polttoaineen kulutus syövät halvan polttoaineen antaman edun päästöetu edistyksellisiin dieselmoottoreihin nähden on kaventumassa 	<ul style="list-style-type: none"> laihaseostekniikasta kolmitoimikatalysaattorin ja EGR:n yhdistelmään maakaasun suoraruiskutus hyötysuhteen parantamiseksi maakaasumoottoreiden kilpailukyky saattaa parantua pakokaasuvaatimusten kiristymisen myötä
Hybriditekniikka	<ul style="list-style-type: none"> kaupunkibussi erinomainen sovelluskohde hybriditekniikalle mahdollisuus kohtuullisen takaisinmaksuajan 	<ul style="list-style-type: none"> tällä hetkellä vielä järjestelmien kalleus 	<ul style="list-style-type: none"> useimmat bussinvalmistajat kehittävät hybridiautoja busseissa superkondensaattorit saattaisivat olla akkuja parempi vaihtoehto energian varastoinnissa