



Nils-Olof Nylund, Kai Sipilä, Tuula Mäkinen &
Päivi Aakko-Saksa

Polttoaineiden laatuporrastuksen kehittäminen

Polttoaineiden laatuporrastuksen kehittäminen

Nils-Olof Nylund, Kai Sipilä, Tuula Mäkinen & Päivi Aakko-Saksa



ISBN 978-951-38-7568-8 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-7569-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2010

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT

puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT

tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

Toimitus Mirjami Pullinen

Edita Prima Oy, Helsinki 2010

Tiivistelmä

Valtiovarainministeriö tilasi syyskuussa 2008 VTT:ltä selvityksen polttoainevevrotuksen laatuporttustuksen kehittämismahdollisuuksista selvittääkseen, voitaisiinko ympäristöystävällisten polttoaineiden käyttöä edistää esimerkiksi porttamalla polttoaineiden energiaverot hiilidioksidi- ja muihin päästöihin perustavaksi. Selvityksessä kartoitettiin erityisesti liikenteen energiatuotteita ja niiden ympäristöhyötyjä, esitettiin yhteisösäännösten asettamia reunaehtoja laatuporttustukselle sekä laskettiin vaihtoehtoisia veromalleja polttoaineiden energiaverojen porttustukselle.

Selvityksen mukaan nykyisiä polttoainelaatuja parempia polttoaineita tai vaihtoehtoisia energialähteitä on olemassa sekä hiilidioksidi- että haitallisten päästöjen osalta. Näitä polttoaineita on jo markkinoilla. Parhaimmat vaihtoehdot vaikuttavat sekä hiilidioksidipäästöjen vähentymiseen että kaupunki-ilman laadun parantumiseen.

Nykyisten parempilaatuisten polttoaineiden käyttöä ja uusien markkinoille tuloa voidaan edistää polttoainevevrotuksen laatuporttustuksella. Nykyinen polttoainevevrotusjärjestelmä on tehty bensiinille ja dieselille, ja se kohtelee eri polttoainevaihtoehtoja varsin epätasaisesti. Maakaasun ja biokaasun verotus on erittäin lievä. Nykyjärjestelmä ei tunnista eikä huojenna lähipäästöjä vähentäviä nestemäisiä polttoainelaatuja, ja sen ympäristöohjaus on hyvin maltillista. Uusia polttoaineita ja ajoneuvoteknologioita ei ole otettu riittävästi huomioon.

Selvityksessä laadittiin laskentamalli nykyisen verotusjärjestelmän analysoimiseksi ja vaihtoehtoisten verotusmallien tarkastelemiseksi henkilöautojen osalta. Analysointiprosessin tuloksena kehitettiin ympäristömalli ja sovitettu ympäristömalli.

Ympäristömalli kohtelisi eri polttoaine- ja energiavaihtoehtoja objektiivisesti niiden ympäristövaikutusten (energiankäyttö, hiilidioksidi- ja lähipäästöt) mukaan. Mallin ongelmana on, että se vaatisi muutoksia maakaasun ja sähkön vero-

tusjärjestelmiin ja että dieselpolttoaineen vero nousisi merkittävästi. Lisäksi malli heikentäisi metaanin (maakaasu ja biokaasu) kilpailukykyä raskaassa kalustossa. Biokaasu on sekä CO₂- että lähipäästöjen osalta yksi parhaista biopolttoainevaihtoehtoista. Sovitetussa ympäristömallissa kaasuihin ja sähköön liittyvät verotusongelmat sekä raskaan kaluston dieselpolttoaineen hintaongelma ratkaistaan porrastetun käyttövoimaveron avulla. Tässä työssä ei ole mietitty verotuksen toteutettavuutta eikä valvontaa, ja eri verotusmallien toteutustavat edellyttävät jatkoselvitystä.

Nils-Olof Nylund, Kai Sipilä, Tuula Mäkinen & Päivi Aakko-Saksa. Developing the quality-based graduation of fuels [Polttoaineiden laatuporrastuksen kehittäminen]. Espoo 2010. VTT Tiedotteita – Research Notes 2528. 203 p. + app. 4 p.

Avainsanat Transportation fuels, advanced fuels, fuel tax

Abstract

In autumn 2008 the Finnish Ministry of Finance commissioned a study from VTT Technical Research Centre of Finland on the possibilities of developing a graduated system of fuel taxation based on the quality of the fuel. The purpose was to investigate whether the use of environmentally friendly fuels could be promoted by, for example, graduating the energy taxes levied on fuels on the basis of carbon dioxide and other emissions. The study focused particularly on the energy products used in traffic and their environmental benefits. The boundary conditions for quality-based graduation set in entity regulations were presented and alternative tax models for the graduation of the energy taxes levied on fuels were studied.

According to the report, fuels or alternative energy sources that are better in terms of carbon dioxide and harmful emissions already exist and are on the market. The best alternatives promote both a reduction in carbon dioxide emissions and an improvement in the quality of city air.

The use of better quality fuels and the introduction of new fuels of this kind to the market can be promoted by the quality-based graduation of fuel taxation. The present fuel taxation system was made for petrol and diesel, and it treats different fuel alternatives unevenly. The taxation of natural gas and biogas is extremely light. The present system does not recognise or relieve the taxation on liquid fuels that reduce emissions into the local environment, and its environmental steering effect is very moderate. New fuels and vehicle technologies have not been taken sufficiently into consideration.

The report presents a computational model for analysing the present taxation system and assessing alternative taxation models with respect to cars. As a result

of this analysis, an environmental model and an applied environmental model were developed.

The environmental model would treat the different fuel and energy alternatives objectively, according to their environmental impacts (energy usage, carbon dioxide emissions and emissions into the local environment). The model's problem is that it would require changes in the taxation systems for natural gas and electricity and that the taxation of diesel fuel would rise significantly. In addition, the model would weaken the competitiveness of methane (natural gas and biogas) in heavy equipment. Biogas is one of the best biofuel alternatives with respect to CO₂ and local emissions. In the applied environmental model, the taxation problems related to gases and electricity and the price problem of diesel fuel in heavy equipment are solved by means of a graduated tax on drives. The study has not considered how taxation could be implemented or controlled, and the ways of implementing the taxation models need further investigation.

Alkusanat

Liikenne ja muu energian käyttö aiheuttavat monenlaista kuormitusta ympäristölle. Näistä keskeisimpiä ovat ajoneuvojen aiheuttamat, terveydelle haitalliset päästöt sekä kasvihuonekaasupäästöt. Näitä päästöjä voidaan vähentää useilla eri keinoilla, kuten asettamalla normeja ajoneuvojen haitallisille päästöille tai parantamalla ajoneuvojen energiatehokkuutta. Myös polttoaineita pyritään kehittämään ympäristöystävällisemmiksi.

Valtiovarainministeriö tilasi syyskuussa 2008 VTT:ltä selvityksen polttoaineverotuksen laatuporrastuksen kehittämismahdollisuuksista selvittääkseen, voitaisiinko ympäristöystävällisten polttoaineiden käyttöä edistää esimerkiksi porrastamalla polttoaineiden energiaverot hiilidioksidi- ja muihin päästöihin perustavaksi. Valtiovarainministeriö kutsui työn tueksi ohjausryhmän. Ohjausryhmän puheenjohtajana toimi valtiosihteri Velipekka Nummikoski ja jäsenenä neuvotteleva virkamies Leo Parkkonen VM:stä, osastopäällikkö Taisto Turunen ja ylitarkastaja Jukka Saarinen TEM:stä, ylitarkastaja Tarja Lahtinen YM:stä sekä tutkimusjohtaja Kai Sipilä, tutkimusprofessori Nils-Olof Nylund ja teknologiapäällikkö Tuula Mäkinen VTT:stä.

Selvityksessä kartoitettiin erityisesti liikenteen energiatuotteita ja niiden ympäristöhyötyjä, esitettiin yhteisösäännösten asettamia reunaehdoja laatuporrastukselle sekä laskettiin vaihtoehtoisia veromalleja polttoaineiden energiaverojen porrastukselle. Selvitystyöhön osallistuivat VTT:stä Kai Sipilän, Nils-Olof Nylundin ja Tuula Mäkisen lisäksi erikoistutkija Päivi Aakko-Saksa, tutkija Lauri Kujanpää ja erikoistutkija Juhani Laurikko. Työn aikana järjestettiin alan toimijoille kolme keskustelutilaisuutta: 11.9.2008, 2.2.2009 ja 3.6.2009.

Kiitämme ohjausryhmän jäseniä työpanoksesta sekä keskustelutilaisuuksiin osallistuneita arvokkaista kommentteista.

Espoo 19.10.2009

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Alkusanat	7
Lyhenteet ja määritelmät.....	11
OSA I.....	15
1. Johdanto	17
2. Polttoaineiden nykykäyttö ja yleiset kehitysnäkymät	18
3. Ajoneuvokannan kehitys Suomessa.....	24
3.1 Yleistä	24
3.2 FFV-autot	24
3.3 Sähköautot.....	25
3.4 Raskas autokalusto.....	27
4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia.....	28
4.1 Energiaverodirektiivi.....	28
4.2 Polttoaineiden laatudirektiivi	29
4.3 Direktiivi liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämiseksi	31
4.4 Direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi	32
4.5 Biopolttoaineiden kestävyyskriteerit RES- ja polttoaineiden laatudirektiivissä	33
4.6 Ajoneuvojen päästödirektiivit	34
4.6.1 Henkilö- ja pakettiautojen säänneltyt päästöt	34
4.6.2 Henkilöautojen CO ₂ -päästöt	35
4.6.3 Raskaiden ajoneuvojen säänneltyt päästöt.....	37
4.6.4 Puhtaat ja energiatehokkaat ajoneuvot.....	39
4.7 Suomen nykyinen ajoneuvo- ja polttoaineverojärjestelmä.....	40
4.7.1 Autovero	40
4.7.2 Ajoneuvovero	41
4.7.3 Energiaverot	42
4.8 Esimerkkejä polttoaineen laadun ja lähipäästöjen huomioimisesta polttoaineverotuksessa eri maissa.....	45
4.8.1 Suomi	45
4.8.2 Ruotsi	46

4.8.3	Muut maat	46
4.9	Polttoöljy	51
5.	Veromallien tarkastelutyökalu	52
5.1	Yleistä	52
5.2	Laskentamallin rakenne	53
5.3	Laskennassa käytetyt oletusarvot ja laskentaperiaatteet	55
5.3.1	Autojen hinnat	55
5.3.2	Pääomakustannusten laskenta	57
5.3.3	Polttoaineen tai energian kulutus ja polttoainevaihtoehdot	57
5.3.4	Polttoaineen tai energian hinta	59
5.3.5	Vuotuinen ajosuorite	59
5.3.6	Ajoneuvovero	60
5.3.7	CO ₂ -päästöjen huomiointi	60
5.3.8	Päästöjen arvottaminen ja lähipäästöjen huomiointi	61
5.3.9	Sähköautojen huomiointi	64
5.4	Henkilöautojen yksinkertaistettu päästötarkastelu	64
6.	Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu	68
6.1	Yleistä	68
6.2	Nykytilanne A	71
6.3	Tasamalli B	76
6.4	Ympäristömalli C	80
6.5	Sovitettu ympäristömalli D	83
6.6	Yhteenveto tarkastelluista malleista	87
6.7	Herkkyystarkasteluja C- ja D-malleille	91
6.7.1	Ajokilometrit (D)	91
6.7.2	CO ₂ :n hinta (C)	93
6.7.3	CO ₂ :n ja polttoaineiden hinnat (D)	94
6.7.4	Sähköautojen kustannustarkastelu	98
6.8	Arvioita verokertymistä	99
6.8.1	Sovitetun ympäristömallin vaikutukset eri bioskenaarioissa	99
6.8.2	Sähkö- ja kaasuautot	103
6.8.3	Arvio polttoainemäärien ja polttoaineverotuoton kehittymisestä	104
6.8.4	Arvio auto- ja ajoneuvoveron tuoton kehittymisestä	104
6.9	Tarkasteltujen bioskenaarioiden vaikutukset CO ₂ -päästöihin	105
7.	Näkökohtia kotimaisten biopolttoaineiden liiketoimintamahdollisuuksista ..	106
8.	Yhteenveto ja johtopäätökset	111
OSA II		117
9.	Polttoainevaihtoehdot	119
9.1	Yleistä	119
9.2	Bensiini ja dieselpolttoaine	121
9.2.1	Perinteinen bensiini ja dieselpolttoaine	121
9.2.2	Pienmoottoribensiini	124
9.2.3	Synteettinen (bio)bensiini	126
9.3	Alkoholit ja alkoholi johdannaiset bensiinin korvaajina	126
9.3.1	Yleistä	126
9.3.2	Matalaseosteiset alkoholiseokset	127

9.3.3	Eetterit ja korkeammat alkoholit	129
9.3.4	Korkeaseosteinen alkoholi ottomootorissa, E85	131
9.4	Alkoholi dieselmootorissa	134
9.4.1	Etanoli dieselpolttoaineen seoskomponenttina	134
9.4.2	Korkeaseosteinen alkoholi dieselmootorissa, E95	134
9.5	Perinteinen biodiesel (FAME, RME)	136
9.6	Parafiiniset synteettiset polttoaineet dieselin korvaajina	139
9.6.1	Fischer-Tropsch-polttoaineet	139
9.6.2	Vetykäsitelty kasviöljy	141
9.6.3	Parafiinisten dieselpolttoaineiden lähipäästöt	143
9.7	Kaasumaiset polttoaineet	145
9.7.1	Yleistä	145
9.7.2	Maa- ja biokaasu (metaani)	145
9.7.3	Nestekaasu	152
9.7.4	Dimetyylieetteri DME	153
9.7.5	Vety	154
9.8	Polttoainestandardit	155
9.8.1	Yleistä	155
9.8.2	Matalaseosteiset alkoholiseokset	156
9.8.3	Korkeaseosteinen alkoholi ottomootorissa, E85	157
9.8.4	Alkoholi dieselmootorissa	157
9.8.5	Biodiesel – kasviöljyjen metyyliesterit	158
9.8.6	Synteettiset polttoaineet	159
9.8.7	Maakaasu ja "metaani"-polttoaineet	160
9.9	Yhteenveto polttoainevaihtoehdoista	161
10. Kasvihuonekaasupäästöt		168
11. Sähköön tukeutuvat voimalinjaratkaisut		172
11.1	Yleistä	172
11.2	Akkujen kehitystilanne	176
11.3	Perushybridit (autonomiset)	180
11.4	Akkusähköautot	181
11.5	<i>Plug-in</i> -hybridit	182
11.6	Sähköautojen päästöt	184
11.7	Polttockennoautot	187
Säädösluettelo		190
Lähdeviitteet		196
Liitteet		
Liite A: Eri käyttövoimatyypisten henkilö-autojen (luokka M1) kohtelu Suomessa auto-, ajoneuvo- ja valmisteverotuksessa sekä polttoainemaksua koskevassa laissa		
Liite B: RES- ja polttoainedirektiiveissä annetut kasvihuonekaasupäästöt eri biopolttoaineiden tuotantoketjuille		

Lyhenteet ja määritelmät

Biobensiini. Yleisnimitys uusiutuvista raaka-aineista valmistetulle bensiinille (esim. etanoli, Fischer-Tropsch-prosessin tai NExBTL-prosessin sivutuote).

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

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

EEV-ajoneuvo. Vähäpäästöinen raskas ajoneuvo, ”erityisen ympäristöystävällinen ajoneuvo” (*Enhanced Environmentally Friendly Vehicle*).

FFV-ajoneuvo. Ajoneuvo, jossa voidaan käyttää polttoaineena bensiiniä tai mitä tahansa bensiinin ja etanolin seosta aina 85 tilavuusprosentin etanolipitoisuuteen asti (*Fuel Flexible Vehicle*).

BEV. Akkusähköauto (*Battery Electric Vehicle*). Akkuun varatulla sähköllä toimiva ajoneuvo.

HEV. Autonominen perushybridi (*Hybrid Electric Vehicle*). Tavanomainen hybridiauto, jossa sähkö- ja polttomoottorit mutta ei sähkön latausmahdollisuutta.

PHEV. Verkosta ladattava hybridi (*Plug-in Hybrid Vehicle*). Hybridiauto, jossa mahdollisuus ladata sähköä verkosta.

Fleet. Keskitettyä polttoainehuoltoa käyttävät ajoneuvot.

Haitalliset päästöt. Ihmiselle ja lähiympäristölle haitalliset päästöt, ns. säännelty pakokaasulainsäädännön rajoittamat komponentit hiilimonoksidi, hiilivedyt, typen oksidit ja hiukkaset sekä eräät ei-säännellyt päästökomponentit kuten aldehydit.

Liikenteen biopolttoaine. Nestemäinen tai kaasumainen liikenteessä käytettävä polttoaine, joka tuotetaan biomassasta. Biomassa voi olla pelto- tai metsäbiomassaa tai teollisuuden ja yhdyskuntien jätteiden biohajoavaa osaa. Liikenteen biopolttoaineita ovat esimerkiksi bioetanoli, biodiesel, biokaasu ja synteettiset biopolttoaineet.

Parafiininen dieselpolttoaine. Pääasiassa parafiinisia hiilivetyjä eli alkaaneja sisältävä dieselpolttoaine. Parafiininen dieselpolttoaine ei sisällä merkittävästi aromaatteja, olefiineja, rikkiä tms.

Primäärienergia. Energian tuotannossa käytettyjen energialähteiden energiasältöjen summa.

Synteettinen bensiini. Muista raaka-aineista kuin raakaöljystä valmistettu bensiini, esimerkiksi Fischer-Tropsch-prosessin tuote. Voi olla myös biopohjainen.

Vaihtoehtoinen polttoaine. Vaihtoehtoisilla polttoaineilla tarkoitetaan mineraaliöljypohjaisia polttoaineita (moottoribensiini, dieselöljy, kevyt ja raskas polttoöljy) korvaavia polttoaineita. Vaihtoehtoisia polttoaineita ovat esimerkiksi maa-kaasu, biopolttoaineet ja vety.

Polttoaineiden lyhenteet

FAEE	rasvahappojen etyyliesterit (<i>Fatty Acid Ethyl Esters</i>)
FAME	rasvahappojen metyyliesterit (<i>Fatty Acid Methyl Esters</i>), esimerkiksi RME
RME	rypsimetyyliesteri
HVO	vetykäsitelty kasviöljy tai eläinrasva (<i>Hydrotreated Vegetable Oils and Animal Fats</i>)
ETBE	etyyli-tert-butyylieetteri; etanolipohjainen bensiinikomponentti, ns. oksygenaatti
MTBE	metyyli-tert-butyylieetteri; metanolipohjainen bensiinikomponentti, ns. oksygenaatti
TAAE	etyyli-tert-amyylietteri; etanolipohjainen bensiinikomponentti, ns. oksygenaatti

TAME	metyyli-tert-amyylieetteri; metanolipohjainen bensiinikomponentti, ns. oksygenaatti
C5-eetteri	eetteri, jonka kemiallisessa rakenteessa viisi hiiliatomia
CTL	kivihiilestä valmistettu polttoaine; parafiininen diesel (<i>Coal To Liquids</i>)
BTL	biomassasta valmistettu polttoaine; parafiininen diesel (<i>Biomass To Liquids</i>)
GTL	maakaasusta valmistettu polttoaine; parafiininen diesel (<i>Gas To Liquids</i>)
XTL	parafiininen diesel; kaasutuksen ja Fischer-Tropsch-synteesin kautta esimerkiksi biomassasta (BTL), hiilestä (CTL) tai maakaasusta (GTL) valmistettu diesel
DME	dimetyylieetteri; normaalilämpötilassa ja -paineessa kaasumainen dieselmoottoreihin soveltuva polttoaine
F-T	Fischer-Tropsch, synteesiprosessi, jolla voi valmistaa erityyppisiä polttonesteitä synteesikaasusta; päätuote dieselpolttoaine
NG	maakaasu (<i>Natural Gas</i>)
CNG	paineistettu maakaasu
LNG	nesteytetty maakaasu
SNG	synteettinen maakaasu; voidaan valmistaa muun muassa biomassasta kaasutuksen kautta
B5, B20	biodieselin ja dieselin seoksia; numero ilmoittaa biodieselin osuuden (esimerkiksi B5 sisältää biodieseliä viisi tilavuusprosenttia ja dieseliä 95 tilavuusprosenttia)
E10, E85	etanolin ja bensiinin seoksia; numero ilmoittaa etanolin osuuden (esimerkiksi E85 sisältää etanolia 85 tilavuusprosenttia ja bensiiniä 15 tilavuusprosenttia); E10- ja B5-tyyppisiä merkintöjä käytetään myös ilmaisemaan komponentin maksimipitoisuutta; E85-nimitystä käytetään myös yleisnimityksenä 50–85 tilavuusprosenttia etanolia sisältäville polttoaineille (prEN15293)
MK1	ruotsalainen Miljöklass 1 -dieselpolttoaine (paras ympäristöluokka)

Yksiköt

loe	ekvivalenttinen öljylitra
toe	ekvivalenttinen öljytonni
Wh	wattitunti
J	Joule
k	kilo, $10^3 = 1\ 000$
M	mega, $10^6 = 1\ 000\ 000$
G	giga, $10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$
T	tera, $10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$
P	peta, $10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$

$$1\ \text{MWh} = 3,6\ \text{GJ}$$

$$1\ \text{Mtoe} = 11,6\ \text{TWh}$$

$$1\ \text{t biodieseliä} = 0,9\ \text{toe}$$

$$1\ \text{t etanolia} = 0,64\ \text{toe}$$

OSA I

1. Johdanto

Liikenne ja muu energian käyttö aiheuttavat monenlaista kuormitusta ympäristölle. Näistä keskeisimpiä ovat ajoneuvojen aiheuttamat terveydelle haitalliset päästöt sekä kasviuonekaasupäästöt. Näitä päästöjä voidaan vähentää useilla eri keinoilla kuten asettamalla normeja ajoneuvojen haitallisille päästöille tai parantamalla ajoneuvojen energiatehokkuutta. Myös polttoaineita pyritään kehittämään ympäristöystävällisemmiksi.

Työn taustalla on hallituksen budjettiriihessä syksyllä 2007 tehty kirjaus: ”Hallitus käynnistää ympäristöystävällisten polttoaineiden käytön edistämiseksi selvityksen porrastaa polttoaineiden energiaverot hiilidioksidi- ja muihin päästöihin perustuvaksi. Selvitys kattaa myös liikenteen biopolttoaineet.”

Selvitystyöryhmälle asetettiin ratkaistavaksi seuraavat kysymykset:

- Onko olemassa hiilidioksidi- tai haitallisten päästöjen osalta nykyisiä polttoainelaatuja parempia *perinteisiä polttoaineita tai vaihtoehtoisia energialähteitä*?
- Millä aikataululla ja missä laajuudessa tuotteita on saatavilla markkinoille?
- Jos parempilaatuisia polttoaineita on, saavutetaanko niiden käytön edistämällä merkittäviä, konkreettisia ympäristöhyötyjä? Miten käyttöä voisi edistää kustannustehokkaimmin?

Selvitys keskittyi tieliikenteen polttoaineisiin. Selvitystyön lähtökohtana oli, että biopolttoaineiden määrälle asetetut tavoitteet täytettäisiin edelleen jakeluvelvoitteella. Polttoaineverotuksen porrastuksella pyritään edistämään hiilidioksidi- ja lähipäästöiltään edullisempien polttoaineiden käyttöä.

2. Polttoaineiden nykykäyttö ja yleiset kehitysnäkymät

Bensiini ja diesel ovat muodostuneet autojen pääpolttoaineiksi muun muassa hyvän saatavuuden, suuren energiatihyden ja helpon käsiteltävyyden ansiosta. Tällä hetkellä vaihtoehtoiset polttoaineet edustavat vain 4–5 %:n osuutta koko maailman liikennepolttoaineista. Taulukossa 2.1 on esitetty arviot eri vaihtoehtoisten polttoaineiden osuuksista vuosina 2005 ja 2020.

Vuonna 2005 etanoli, maakaasu ja nestekaasu olivat likimain yhtä merkittäviä polttoaineita, suuruusluokaltaan 20 Mtoe/a. Seuraavana olivat synteettiset hiilestä ja maakaasusta valmistetut polttoaineet. Vetykäsitellyn kasviöljyn (HVO, NExBTL) tuotanto on jo alkanut. Eri skenaarioista kootun projektion mukaan vuonna 2020 etanoli on yhä volyymitaan suurin vaihtoehtoinen polttoaine. Ensisijainen syy tähän on etanolin yksinkertainen ja melko halpa tuotantotekniikka. Suhteellisesti nopeimmin kasvaa maakaasusta valmistetun synteettisen GTL-polttoaineen käyttö. Biomassasta kaasuttamalla valmistetun BTL-polttoaineen volyymit ovat maailmanlaajuisesti pieniä vielä vuonna 2020, mutta Suomessa tämä polttoaine voi olla merkittävä vaihtoehto.

Taulukkoon 2.1 on merkitty vuoden 2020 vedyn käytölle vuoden 2000 energiaa koskevasta *Green Paperista* johdettu EU:n tavoiteluku 7 Mtoe. Tämän toteutuminen on kuitenkin epävarmaa. Lisäksi taulukosta puuttuu dimetyylieetteri (DME), joka vielä on kokeiluasteella. On epätodennäköistä, että DME tai vety olisivat merkittäviä polttoainevaihtoehtoja vuonna 2020.

Useimpia biopolttoaineita – alkoholeja, biodieseliä ja biokaasua – voidaan käyttää joko polttoainekomponenttina tai polttoaineena sellaisenaan. Alkoholi ja kaasumaiset polttoaineet soveltuvat kipinäsytytteisten moottorien (ottomoottorien) polttoaineksi; kasvi- ja eläinperäiset öljyjohdannaiset puristus- ja sytytteisten (dieselmoottorien) polttoaineksi. Synteettisesti voidaan valmistaa niin bensiini- kuin dieselkomponentteja, joskin painotus on dieselpolttoaineissa.

2. Polttoaineiden nykykäyttö ja yleiset kehitysnäkymät

Taulukko 2.1. Vaihtoehtoisten polttoaineiden osuudet vuosina 2005 ja 2020 (Nylund ym. 2008).

Fuel	2005		2020 ^{a)}		Potential in long-term
	Consumption (Mtoe/a)	Share of transport fuels 2005 (%)	Estimated volume (Mtoe/a)	Estimated share of transport fuels (%)	
World road transport fuels	1,600		1,900		
Alcohols					
- Ethanol	18	1.1	80	4	High, if feasible processes for cellulosic feedstocks
- Methanol	3	0.2	3	0.2	End-use problems
Biodiesel					
- FAME & HVO	4	0.3	30	1.5	End-use problems with FAME
- BTL	0	0	1	0.1	High, if feasible processes using cellulosic feedstocks
Other liquid fuels					
- GTL	1	0.1	20	1.0	
- CTL	7	0.4	20	1.0	
Gaseous fuels					
- Natural gas	18	1.1	40	2.0	
- Biogas	0	0	10	0.5	Reasonable for biogas
- LPG	17	1.1	20	1.0	
- Hydrogen	0	0	EU target 7 Mtoe/a		
Sum alternative fuels	69	4.4	~220	~11	
Sum biofuels	22	1.4	~120	~6	

Käytännössä polttoainevaihtoehdot ovat varsin rajallisia. Tähän on kaksi pääsyttä. Ensinnäkin ajoneuvomoottorit, niin bensiini- kuin dieselmoottorit, pakokaasujen puhdistuslaitteet ja polttoaineet ovat ajan myötä hioutuneet hyvin toimiviksi kokonaisuuksiksi. Kun ajoneuvoissa otetaan käyttöön uusia polttoaine-

2. Polttoaineiden nykykäyttö ja yleiset kehitysnäkymät

komponentteja, kompromisseja luotettavuuden, suorituskyvyn, energiatehokkuuden tai pakokaasupäästöjen osalta ei haluta tehdä. Lisäksi polttoaineen hinta saattaa olla merkittävä rajoittava tekijä. (Biopolttoainetyöryhmä 2006.)

Toinen rajoittava tekijä on mahdolliset infrastruktuurimuutokset niin polttoaineen tuotannossa, jakelussa kuin loppukäytössä. Nopeimmin voidaan vaikuttaa sellaisilla polttoainevaihtoehdoilla, jotka sopivat olemassa olevaan jakelujärjestelmään ja olemassa oleviin ajoneuvoihin. Esimerkiksi kaasumaiset polttoaineet vaativat aina infrastruktuurimuutoksia. Suomessa maakaasu otettiin käyttöön bussien polttoaineena pääkaupunkiseudulla vuonna 1996. Nykyisin busseja on noin sata ja muita ajoneuvoja noin kolmesataa. Tankkausasemia on noin kymmenen. Kehitys on ollut sangen verkaista – varsinkin, kun otetaan huomioon maakaasun alhainen verotus liikennekäytössä.

Polttoaineen koostumus vaikuttaa haitallisiin pakokaasupäästöihin. Niinpä ajoneuvojen päästömääräyksiä ja polttoaineiden laatuvaatimuksia on kehitetty Euroopassa ja Yhdysvalloissa rinta rinnan. Hyvälaatuiset polttoaineet ovat edellytys alhaisen päästötason saavuttamiselle ja pakokaasupuhdistuslaitteiden tehokkaalle toiminnalle.

Suora kytkentä polttoaineen koostumuksen ja pakokaasupäästöjen välillä on kuitenkin heikentymässä. Bensiiniautojen pakokaasun jälkikäsitteilyä on Euroopassakin käytetty jo lähes 20 vuotta, ja nyt pakokaasujen jälkikäsitteilytekniikka on saatu myös raskaaseen dieselkalustoon. Tietyillä polttoainelaaduilla voidaan vähentää lähipäästöjä, esimerkkinä parafiinisen dieselpolttoaineen käyttö raskaassa dieselkalustossa. Parafiininen polttoaine vähentää NO_x-päästöjä tyypillisesti 10 % ja hiukkaspäästöjä 30 %. Suhteellisten päästövähennemien merkitys kuitenkin pienenee absoluuttisen päästötason laskiessa, kun moottorit ja pakokaasun puhdistusjärjestelmät kehittyvät. Päästöjen arvottamista on käsitelty luvussa 5.3.8.

Autotekniikan kehityksessä ollaan jo siinä tilanteessa, että vaihtoehtoisen polttoaineen käyttöönotolla ei automaattisesti saavuteta merkittävää haitallisten päästöjen vähenemistä. Esimerkiksi etanoli ja FAME-tyyppinen biodiesel saatavat jopa lisätä päästöjä tietyissä sovelluksissa. Toisaalta muun muassa metaanilla, synteettisillä polttoaineilla ja vedyllä voidaan vähentää myös myrkyllisiä päästöjä. Joka tapauksessa hyvilläänkin polttoaineilla saatava päästöetu pienee ajoneuvotekniikan kehittyessä.

Ensisijainen vaihtoehtoisilla polttoaineilla saavutettava ympäristöhyöty on, ainakin pitkällä aikavälillä, mahdollinen kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen.

2. Polttoaineiden nykykäyttö ja yleiset kehitysnäkymät

Kasvihuonekaasutarkastelut on tehtävä ottaen huomioon koko polttoaineketju tuotannosta käyttöön.

Autoteollisuuden asenne vaihtoehtoisiin polttoaineisiin on selvä: ajoneuvojen sovittaminen ja hyväksyttäminen erilaisille polttoaineille on kallista. Kokonaan uusien polttoainevaihtoehtojen sijasta toiveena on, että nykyisten kaltaisia hiilivetyypolttoaineita valmistettaisiin yhä laajenevasta raaka-ainevalikoimasta, myös biomassasta. Voimalinjan kehitys puolestaan kulkee hybridisoinnin kautta kohti täyssähköisiä voimansiirtoratkaisuja. Tulevaisuuden energian kantajiksi esitetään usein uusiutuvista lähteistä peräisin olevaa vetyä ja sähköä.

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

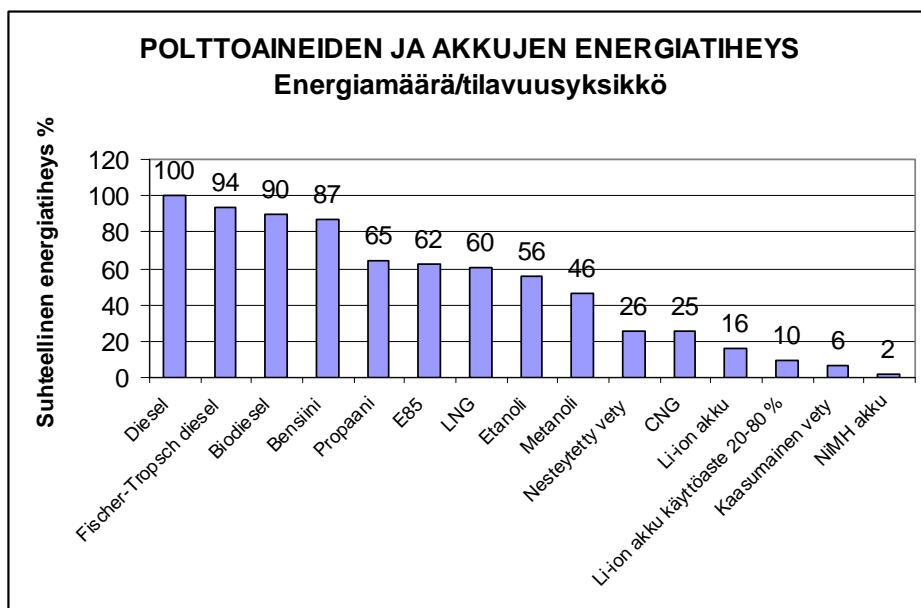
Vaihtoehtoisen polttoaineen pitää olla yhdenmukainen ympäristövaatimusten ja tulevaisuuden kanssa. Siltä edellytetään

- suurta hyötysuhdetta järjestelmän tasolla
- globaalia raaka-ainepohjaa
- yhteensopivuutta tulevien moottoriratkaisujen kanssa
- merkittävää CO₂-päästöjen vähentämistä
- alhaisia myrkyllisiä päästöjä
- kohtuullisia kustannuksia; hyötyjen tulee olla kustannuksia suuremmat ainakin pitkällä aikavälillä.

Kustannustehokkain tapa tuoda uusia polttoaineita markkinoille on käyttää seoksia. Seoskäyttö ei edellytä uutta jakeluverkkoa tai uusia ajoneuvoja, eikä kuluttaja joudu tekemään polttoainevalintoja.

Perinteisten hiilivetyypolttoaineiden (benssiini, diesel) valta-asema perustuu osittain niiden helppoon varastoitavuuteen ja suureen energiatilheyteen. Varsinkin kaasumaisilla polttoaineilla toimintamatka saattaa olla rajoittava tekijä (kuva 2.2). Myös etanoli vaatii normaalia suuremman polttoainesäiliön. Etanolin litramääräinen kulutus on noin 1,5-kertainen benssiiniin verrattuna. Energiatiheys on huonoin kaasumaisessa vedyssä ja sähkössä (akut).

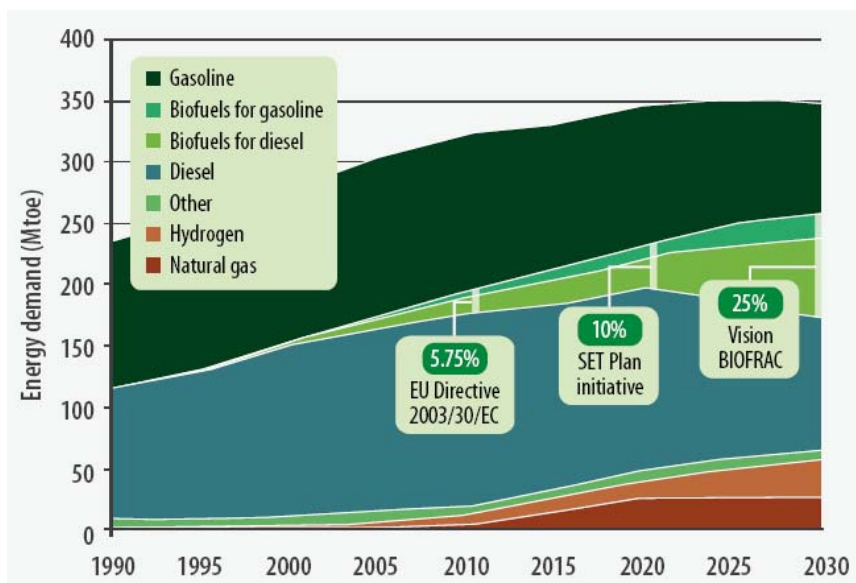
2. Polttoaineiden nykykäyttö ja yleiset kehitysnäkymät



Kuva 2.2. Eri energiakantajien suhteellinen energiatiheys (energiamäärä tilavuusyksikköä kohti) (luvut Goguen 2006).

Kuvassa 2.3 on *Biofuels Research Advisory Councilin* näkemys tieliikenteen energiantarpeen kehittymisestä ja eri polttoaineiden osuuksista Euroopassa. Vedyn osuus edustaa ilmeisesti jalostamoilla käytettävää vetyä, koska esimerkiksi vuonna 2010 vety näkyy maakaasua suurempana. Euroopassa biopolttoaineiden kehitys painottuu dieselkomponentteihin.

Sähköautot ovat nousseet viime aikoina otsikoihin. Sähköautot ovat yksi mahdollisuus uusiutuvan tai CO₂-neutraalin energian saamiseksi liikenteeseen. Useat autonvalmistajat ovat ilmoittaneet tuovansa joko pieniä akkusähköautoja (BEV) tai verkosta ladattavia ns. *plug-in*-hybridejä (PHEV) markkinoille vuosina 2010–2011. Puhtaiden akkusähköautojen ongelmana on, ja tulee olemaan, rajattu toimintamatka. Lisäksi kehittyneet akkutyypit ovat toistaiseksi varsin kalliita.



Kuva 2.3. Liikennepolttoainemäärien kehittyminen Euroopassa (BIOFRAC 2006).

Perheautokokoluokan *plug-in*-hybridit sen sijaan voisivat saavuttaa laajemman suosion. *Plug-in*-hybridien toimintamatka pelkällä sähköllä on pienimmillään joitakin kymmeniä kilometrejä, mutta useimmilla autoilijoilla se kattaa merkittävän osan päivittäisestä ajomatkasta. Sähköautojen etuja ovat muun muassa lopputuotteen päästöttömyys ja suuri hyötysuhde. Kokonaishyötysuhde ja CO₂-päästöt riippuvat sähkön tuotantotavasta. Suurimmat ongelmat liittyvät akkujen korkeaan hintaan ja rajalliseen kestoikään

Kansainvälinen energiajärjestö IEA tekee pitkän aikavälin energiaskenaarioita. Vuoden 2008 *Energy Technology Perspectives* -julkaisussa esitetään projektioita vuoteen 2050 asti. Akkusähköautojen ja polttokennoautojen markkinaosuudet ovat välillä 0–90 % skenaariosta riippuen (ETP 2008). Tämä kuvaa osuvasti sitä, miten vaikeaa pitkän aikavälin kehitystä on ennustaa.

Eri polttoainevaihtoehdot, lähinnä käytettävyyden ja vaadittavien ajoneuvomuutosten kannalta, sekä polttoaineiden vaikutukset lähipäästöihin on esitetty luvussa 9. Polttoainevaihtoehdojen kasvihuonekaasupäästöistä on kerrottu luvussa 10. Mahdollinen polttoaineiden veroporrastus laatu- tai ympäristömielessä voisi perustua joko polttoaineiden vaikutuksiin lähipäästöihin tai kasvihuonekaasupäästöihin. Sähköön perustuvia ajoneuvoratkaisuja on tarkasteltu luvussa 11.

3. Ajoneuvokannan kehitys Suomessa

3.1 Yleistä

Ajoneuvokannan uudistuminen on Suomessa ollut varsin verikkaista. Henkilöautojen keskimääräinen käyttöikä on ollut EU-maiden pisimpiä. Hitaasta uudistumisesta johtuen sellaiset polttoaine- ja energiavaihtoehdot, jotka edellyttävät teknisesti uusia autoja, voivat yleistyä verrattain hitaasti.

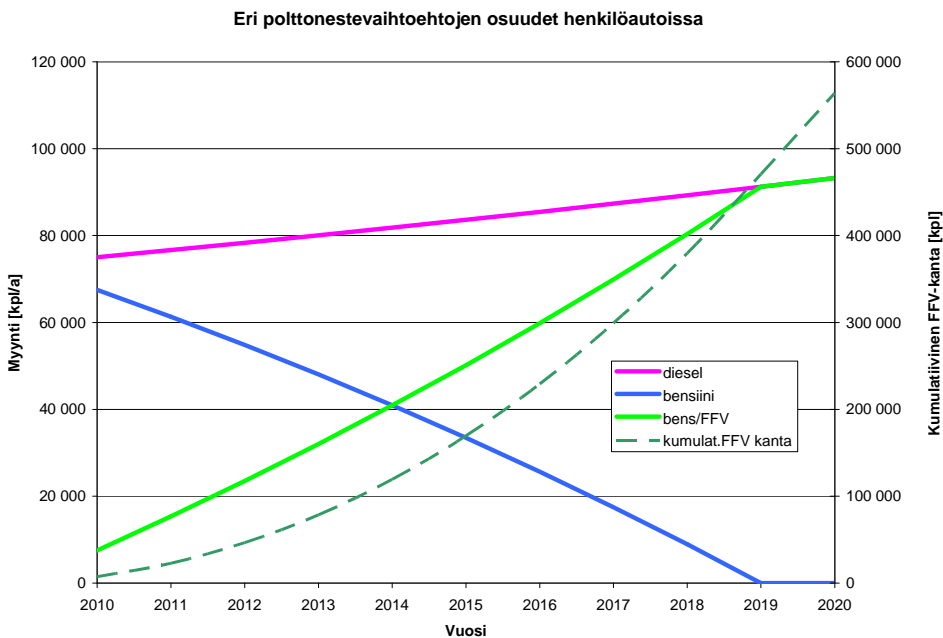
Sellainen teknologia, joka nyt on valmista kaupallistettavaksi (mutta ei vielä markkinoilla), voisi olla yleistä koko autokannassa 20–25 vuoden päästä, jos sen yleistyminen uusiin autoihin veisi 7–10 vuotta. Jos tarvitaan vielä kehitystyötä ennen markkinoille tuloa, aika pitenee 30 vuoden tietämille. Siksi voidaan sanoa, että vuoden 2020 ajoneuvokannasta valtaosa on vielä sellaisia ajoneuvoja, joita nykyään valmistetaan, sillä uudet vaihtoehdot saavuttavat kymmenessä vuodessa vasta varsin vaatimattoman jalansijan.

Tässä selvityksessä on tarkasteltu kahden uuden henkilöautojen auto- tai polttoaineteknologian yleistymistä yksinkertaistetulla mallilla. Tarkastelun kohteeksi valittiin etanolipolttoainetta (E85) käyttävät FFV-autot ja sähköautot, joko pelkällä akkusähköllä toimivat (BEV) tai *plug-in*-hybridit (PHEV tai EREV). Tässä kuvatut skenaariot ovat maksimiskenaarioita, joilla halutaan osoittaa, mikä näiden teknologioiden vaikutus voisi enimmillään olla vuonna 2020.

3.2 FFV-autot

Koska FFV-tekniikka on markkinoilla jo varsin laajasti (Ruotsi, Englanti, Ranska) ja auton valmistuksen lisäkustannukset ovat kohtuullisen pienet (muutama sata euroa), se saattaa yleistyä hyvinkin nopeasti. Tästä syystä oletettiin, että FFV-autojen tarjonta ja myynti voisi enimmillään kasvaa 10 prosenttiyksikön verran vuosittain. Tämä tarkoittaa, että vuonna 2010 myytäisiin 10 % kaikista

uusista bensiinimoottoriautoista FFV-kelpoisina, seuraavana vuonna 20 % jne. Tässä maksimiskenaariossa kaikki uudet bensiinimoottoriautot olisivat FFV-kelpoisia vuodesta 2020 lähtien. Kannassa olisi silloin kumulatiivisesti noin 550 000–600 000 FFV-autoa, mikä on runsaat 30 % 2010–2020 välisenä aikana myydyistä uusista bensiiniautoista. Kuva 3.1 havainnollistaa myynnin ja kannan kehitystä. Näiden autojen käyttämä etanolimäärä voisi olla noin 200 miljoonaa litraa vuodessa.



Kuva 3.1. Eri polttonestevaihtoehtoja vastaavat uusien henkilöautojen vuosimyyntit ja FFV-autojen kanta maksimiskenaariossa.

3.3 Sähköautot

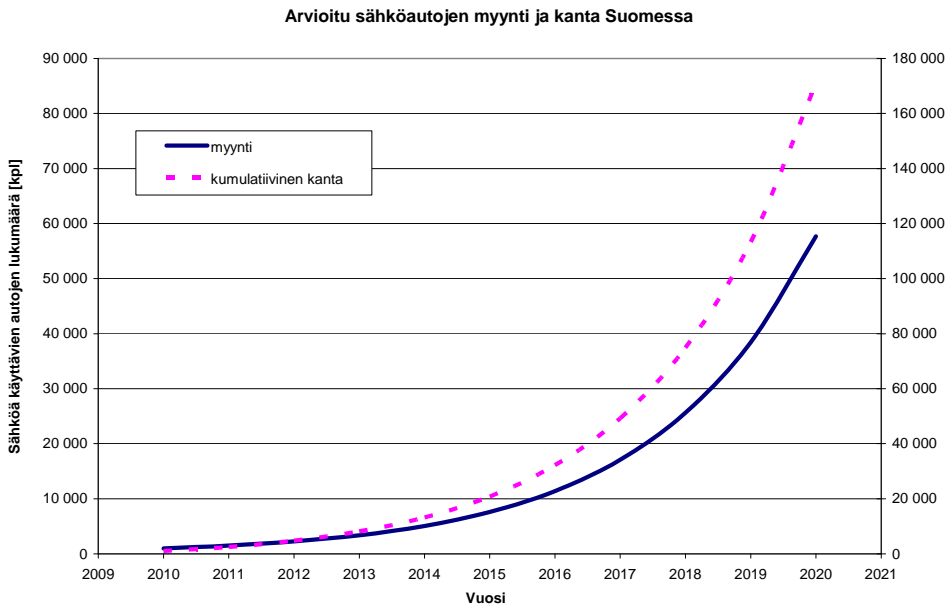
Sähköautojen tekniikka on ainakin toistaiseksi vielä kehitysvaiheessa ja kustannuksiltaan kalliimpaa kuin perinteinen autotekniikka. Tästä syystä markkinoille tulo on varsin varovaista, vaikka useat valmistajat ovatkin jo esitelleet sähköautokonseptejaan. Lisäksi taantumasta seurannut autoteollisuuden maailmanlaajuisen murros voi hidastaa merkittävästikin uusien vaihtoehtoisten tekniikoiden kehitystä ja markkinoille tuloa. Toisaalta uutiset muun muassa siitä, millä ehdoin

3. Ajoneuvokannan kehitys Suomessa

Yhdysvallat jatkaa tuen antamista, viittaavat siihen, että kehitystyötä saatetaan keskittää entistä voimakkaammin juuri sähköautoihin¹ ja muihin vaihtoehtokonsepteihin. Kehitystuki luonnollisesti edesauttaa uusien mallien markkinoille tuloa, mutta ostotuki (7 500 USD) toisaalta ohjaa autot ensisijaisesti Yhdysvaltain omille markkinoille. Jos kuluttajahintaa nimittäin kompensoidaan tuilla, autoista voi saada paremman katteen.

Epävarmoista lähtöasetelmistä johtuen sähköautojen markkinoille tuloa on arvioitu varovaisesti siten, että 2010 voitaisiin Suomessa myydä 1 000 sähköautoa, seuraavana vuonna 1 500, ja siitä eteenpäin myynti kasvaisi noin 1,5-kertaiseksi vuosittain. Tällöin sähköautojen myyntiosuus olisi vuonna 2017 noin 10 %, 2018 noin 14 %, 2019 noin 20 % ja 2020 noin 30 %. Näillä oletuksilla sähköä käyttäviä autoja voisi olla Suomessa vuonna 2020 noin 170 000 eli runsaat 6 % vuosina 2010–2020 myydyistä uusista autoista (kuva 3.2). Arvioidaan kuitenkin, että valtaosa näistä autoista olisi PHEV- tai EREV-autoja, ei ”puhtaita” sähköautoja. Ylipäätään voidaan sanoa, että kaikilla näillä autoilla voisi ajaa noin 10 000 km vuodessa sähköenergialla, jolloin ”sähkökilometrejä” voisi olla likimain 4–5 % henkilöautojen vuosittaisista kokonaisajokilometreistä.

¹ Obama julkistaa 2,4 miljardin dollarin avustusohjelman sähköautojen tukemiseksi. [Obama unveils \$2.4-billion grant program to aid electric cars] <http://www.latimes.com/news/nationworld/nation/la-na-obama-pomona20-2009mar20,0,4688845.story>.



Kuva 3.2. Sähköautojen maksimiskenaarion mukainen myynti ja kanta Suomessa.

3.4 Raskas autokalusto

Raskaassa autokalustossa ei ole nähtävissä sellaisia uusia teknologia-avauksia, jotka seuraavan vuosikymmenen kuluessa voisivat nousta merkittävään markkinaosuuteen. Vastaavaa hybridikäyttöä (polttomoottori + sähkömoottori/generaattori & akusto) kuin henkilöautoissa on tulossa muutamilta valmistajilta piensarjavalmistukseen sekä jakeluautoihin että kaupunkibusseihin.

Pelkkä akkusähkökäyttö tai edes PHEV-tyyppinen tekniikka ei ole ainakaan raskaassa maantiekalustossa mahdollista. Näin ollen sähkökäyttö rajautuu käytännössä kaupunkibusseihin, etenkin johdinautoihin, joiden käyttöönottoa muun muassa Helsingissä on aloitettu selvittää.

Raskaan kaluston painopiste on siis edelleen dieselmootorissa. Avainasemassa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä ovat erilaiset energian käyttöä tehostavat toimet ja uusiutuvista raaka-aineista valmistettavat polttoaineet.

4. Polttoaineiden laatuun ja energieverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

4.1 Energiaverodirektiivi

Polttoaineverotuksen tulee täyttää energiaverodirektiivin määräykset. Energiaverodirektiivi (2003/96/EY) yhdenmukaistaa energiatuotteiden verotusta ja luositen edellytykset EU:n sisämarkkinoiden moitteettomalle toiminnalle. Direktiivissä on muun muassa asetettu EU:n alueella myytävillä energiatuotteille vähimmäisverokannat. Direktiivissä on annettu myös edellytyksiä veronalennuksille polttoaineen laadun tai bioperäisyyden perusteella. On odotettavissa, että tulossa olevassa energiaverodirektiivin muutosesityksessä veron peruste määräytyisi energia- ja hiilisisällön perusteella.

Perinteisimpiä energiaverodirektiivin (2003/96/EY) soveltamisalaan kuuluvia tuotteita ovat sähkö, kivihiili, ruskohiili ja koksi. Muita energiaverodirektiivissä tarkoitettuja energiatuotteita ovat moottoribensiini, diesel, kevyt ja raskas polttoöljy, nestekaasu, metaani, maakaasu sekä muut nestemäiset ja kaasumaiset hiilivedyt. Uusimpia energiaverodirektiivin soveltamisalaan kuuluvia energiatuotteita ovat erilaiset eläinrasvat, kasviöljyt ja alkoholit, sikäli kun ne on tarkoitettu käytettäväksi lämmitys- tai moottoripolttoaineina. Esimerkkeinä voi mainita rypsi-, rapsi- ja palmuöljyn. Myös edellä mainittujen rasvojen ja alkoholien tuotteet eli esterit ja eetterit kuuluvat direktiivin soveltamisalaan, jos ne on tarkoitettu käytettäväksi lämmitys- tai moottoripolttoaineina. Tähän ryhmään kuuluvat esimerkiksi tyypilliset biodieselpolttoaineet kuten RME.

Energiaverodirektiivin mukaan jäsenvaltion on kannettava direktiivissä tarkoitetuista energiatuotteista vero, jonka on täytettävä kyseiselle tuotteelle säädetty vähimmäismäärä. Kullakin polttoaineella voi olla lähtökohtaisesti vain yksi käyttötarkoituksen mukainen verokanta. Direktiivissä vähimmäisverotaso on

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

vahvistettu muun muassa moottoribensiinille, dieselöljylle sekä kevyelle ja ras-kaalle polttoöljylle. Direktiivin mukaan valmisteveroa on kannettava myös edel-lä tarkoitettuja nestemäisiä polttoaineita korvaavista tuotteista, joita käytetään moottori- tai lämmityspolttoaineina. Veroa on tällöin kannettava korvaavasta tuotteesta samalla tavalla kuin sellaisesta mineraaliöljystä, jolle on säädetty di-rektiivissä vähimmäisverotaso.

Energiaverodirektiivi mahdollistaa veron porrastamisen tuotteen laadun, esi-merkiksi terveydelle haitallisten päästöjen, perusteella. Tällöin on noudatettava direktiivissä säädettyjä vähimmäisverotasoja. Lisäksi energiaverodirektiivin mukaan bioperäisille polttoaineille voidaan tietyin rajoituksin myöntää verotto-muus tai veronalennus silloin, kun niitä käytetään moottoripolttoaineena tai lämmöntuottamisessa. Normaalisti verokannasta poikkeamisen on kuitenkin tapahduttava verovalvonnassa ja yhteisön oikeuden mukaisesti, mikä tarkoittaa muun muassa sitä, että jäsenvaltion on noudatettava syrjivien verojen kieltoa ja yhteisön valtioneuvoston päätöksiä. Veronalennusten soveltamiseen liittyy myös erilaisia tuen määriä (ylikompensaatiokiello) ja kestoon liittyviä rajoituksia.

Nestemäisten polttoaineiden verotus tapahtuu käytännössä siinä vaiheessa, kun tuotteet luovutetaan tukkuvarastosta (verottomasta varastosta) kulutukseen. Sähkön verotus taas tapahtuu siinä vaiheessa, kun sähkö luovutetaan sähköver-kosta kulutuspaikalle. Energiatuotteiden lopullisia kulutuskohteita ei siis tiedetä.

4.2 Polttoaineiden laatudirektiivi

Euroopan parlamentti ja neuvosto hyväksyivät huhtikuussa 2009 direktiivin 2009/30/EY direktiivin 98/70/EY muuttamisesta bensiinin, dieselin ja kaasuöljyn laatuvaatimusten osalta sekä kasviuonekaasupäästöjen seurantaan ja vähentä-miseen tarkoitettua mekanismin käyttöönoton osalta². Polttoaineiden laatu-direktiivi 98/70/EY ja sen täydennysdirektiivi 2003/17/EY ovat määritelleet tieliikennepolttoaineiden laadun. Direktiivi 98/70/EY on Suomessa siirretty lain-säädäntöön valtioneuvoston asetuksella 1271/2000 (VNA moottoribensiinin ja dieselöljyn laatuvaatimuksista).

² Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/30/EY direktiivin 98/70/EY muuttamisesta bensiinin, dieselin ja kaasuöljyn laatuvaatimusten osalta sekä kasviuonekaasupäästöjen seurantaan ja vähentämiseen tarkoitettua mekanismin käyttöönoton osalta, neuvoston direk-tiivin 1999/32/EY muuttamisesta sisävesialusten käyttämien polttoaineiden laatuvaatimusten osalta ja direktiivin 93/12/ETY kumoamisesta.

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

Polttoaineiden laatudirektiivillä pyritään takaamaan tavaroiden vapaa liikkuvuus sekä vähentämään terveys- ja ympäristöhaittoja. Uudessa direktiivissä vahvistetaan muun muassa polttoaineiden elinkaarenaikaisten kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä koskevat tavoitteet.

Polttoaineiden laatuvaatimuksissa asetetaan muun muassa enimmäisrajat FAME-yhdisteiden pitoisuuksille dieselpolttoaineessa sekä oksygenaattien, kuten etanolin, pitoisuuksille bensiinissä. FAMEn enimmäispitoisuudeksi dieselpolttoaineessa asetetaan 7,0 tilavuusprosenttia. Jäsenvaltiot voivat kuitenkin sallia sellaisen dieselin markkinoille saattamisen, jonka FAME-pitoisuus on yli 7 tilavuusprosenttia. FAME-biodieselin on oltava EN 14214 -standardin mukaista. Kuluttajille pitää kertoa asianmukaisesti biopolttoaineiden, erityisesti FAMEn, pitoisuudesta dieselpolttoaineessa.

Bensiinin happipitoisuuden enimmäisarvo on 3,7 massaprocenttia. Oksygenaattien pitoisuuksien enimmäisrajat ovat

- metanoli 3,0 tilavuus-%³
- etanoli (stabilointiaineet voivat olla tarpeen) 10,0 tilavuus-%
- isopropyylialkoholi 12,0 tilavuus-%
- tert-butyylialkoholi 15,0 tilavuus-%
- isobutyylialkoholi 15,0 tilavuus-%
- eetterit, joissa on vähintään 5 hiiliatomia molekyyliä kohti, 22,0 tilavuus-%
- muut oksygenaatit 15,0 tilavuus-%.

Markkinoilla pitää olla vähintään vuoteen 2013 asti, tarvittaessa pidempäänkin, sellaista bensiiniä, jonka happipitoisuus on enintään 2,7 massaprocenttia ja etanolipitoisuus enintään 5 tilavuusprosenttia. Kuluttajille on annettava asianmukaisia tietoja biopolttoaineen pitoisuudesta bensiinissä.

Työkonepolttoaineen rikkirajaksi tulee 10 mg/kg 1.1.2011 lähtien. Loppukäyttäjällä sallitaan kuitenkin 20 mg/kg, koska kontaminaatiota ei kyetä täysin välttämään.

Direktiivi asettaa tavoitteet polttoaineiden elinkaarenaikaisten kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiselle. Polttoainetoimittajien tulisi vähentää toimitettujen polttoaineiden ja energian käytöstä aiheutuvia elinkaarenaikaisia kasvihuonekaasupäästöjä energiayksikköä kohti vaiheittain vähintään 6 prosentilla

³ Metanolin yhteydessä ei jostakin syystä mainita stabilointiaineita.

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

31.12.2020 mennessä⁴. Vertailukohtana on EU:n keskimääräinen fossiilisten polttoaineiden aiheuttama elinkaarenaikainen kasvihuonekaasupäästö vuonna 2010 energiayksikköä kohti laskettuna. Jäsenvaltiot voivat asettaa seuraavat välitavoitteet: 2 prosenttia 31.12.2014 ja 4 prosenttia 31.12.2017 mennessä. Tavoitteeseen on mahdollista päästä käyttämällä biopolttoaineita ja vaihtoehtoisia polttoaineita sekä vähentämällä soihdutusta öljynjalostamoissa. Biopolttoaineissa on käytössä samat kestävyyskriteerit kuin samaan aikaan hyväksytyssä direktiivissä uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä (luku 4.4).

Direktiivissä on lisäksi esitetty kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi ohjeellinen 2 prosentin lisävähennys, joka saadaan käyttämällä ympäristöystävällisiä hiilidioksidin talteenotto- ja varastointiteknologioita ja sähköisiä ajoneuvoja, sekä edelleen ohjeellinen 2 prosentin lisävähennys, joka saadaan ostamalla hyviksi Kioton pöytäkirjaan perustuvan puhtaan kehityksen mekanismin mukaisesti. Näiden tavoitteiden sitovuutta arvioidaan myöhemmin uudelleen. Jäsenvaltioiden on saatettava direktiivi kansalliseen lainsäädäntöön viimeistään 31.12.2010.

4.3 Direktiivi liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä

EU:ssa säädettiin vuonna 2003 direktiivi 2003/30/EY⁵ edistämään biomassasta tuotettujen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käyttöä dieselöljyn tai bensiinin korvaamiseksi jäsenvaltioiden tieliikenteessä. Jäsenvaltioiden ohjeellisten kansallisten tavoitteiden viitearvoksi direktiivissä asetettiin 2 prosenttia laskettuna energiasisällön perusteella kaikesta vuonna 2005 niiden markkinoille saatetusta tieliikennekäyttöön tarkoitettusta bensiinistä ja dieselöljystä ja vuonna 2010 ja sen jälkeen vastaavasti 5,75 prosenttia. Direktiivi ei aseta rajoituksia sen suhteen, saavutetaanko asetettu markkinaosuustavoite myymällä puhtaita biopolttoaineita vai sekoittamalla niitä tavanomaisiin polttoaineisiin.

⁴ Polttoaineiden laatudirektiivin ja RES-direktiivin kasvihuonekaasupäästöjä koskevat tavoitteet eivät ole suoraan vertailukelpoisia. Tässä selvityksessä ei ole tarkasteltu erikseen, mitä käytännön seuraamuksia polttoaineiden laatudirektiivin säännöksillä on ja miten tavoitteisiin voitaisiin päästä. Polttoaineiden laatudirektiivissä ei esimerkiksi mainita mitään edistyneimpien biopolttoaineiden kaksinkertaisesta laskennasta.

⁵ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/30/EY liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä. Bryssel 8.5.2003.

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

Suomessa tämä ns. biopolttoainedirektiivi siirrettiin lainsäädäntöön jakeluvelvoitelaililla⁶, joka tuli voimaan vuoden 2008 alussa. Biopolttoaineiden osuudeksi asetettiin 2 prosenttia vuoden 2008, 4 prosenttia vuoden 2009 loppuun mennessä ja vuonna 2010 ja sen jälkeen vuosittain vähintään 5,75 prosenttia. Lakia muutettiin⁷ vuonna 2009 niin, että biopolttoaineita on toimitettava kulutukseen vuonna 2009 ja sen jälkeen vuosittain vähintään neljä prosenttia.

4.4 Direktiivi uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä

Huhtikuussa 2009 hyväksytty EU:n direktiivi 2009/28/EY uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä (ns. RES-direktiivi⁸), esittää periaatteet, joiden mukaisesti kansalliset tavoitteet uusiutuvan energian kokonaiskäytölle asetetaan. EU:n keskimääräinen sitova tavoite on, että vuoteen 2020 mennessä 20 % kokonaisenergiankulutuksesta katettaisiin uusiutuvalla energialla. Direktiivissä on annettu jokaiselle jäsenmaalle omat uusiutuvan energian käyttötavoitteet. Jäsenvaltioille on jätetty vapaus päättää, missä määrin uusiutuvaa energiaa käytettäisiin eri sektoreilla. Liikenteessä käytettävän uusiutuvan energian osuuden tulee kuitenkin olla vähintään 10 % vuoteen 2020 mennessä. Tavoite on samansuuruinen joka jäsenmaalle.

Liikenteen käyttämäksi kokonaisenergiaksi lasketaan tie- ja raideliikenteessä käytetyt sähkö, bensiini, dieselöljy ja biopolttoaineet. Liikenteen käyttämäksi uusiutuvaksi energiaksi lasketaan biopolttoaineiden lisäksi uusiutuvista lähteistä tuotettu sähkö. Liikenteessä kulutetun fossiilisen ja uusiutuvan sähkön suhteen määrittämiseksi jäsenmaat voivat käyttää sähkön keskimääräistä kansallista sähköntuotantorakennetta, joka vallitsi kaksi vuotta ennen tarkastelua. Liikenteessä käytetyn uusiutuvan energian käyttötavoitteeseen sähköautojen kuluttama uusiutuva energia lasketaan 2,5-kertaisena ja jätteistä ja tähteistä⁹ valmistettujen polt-

⁶ Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä 446/2007 (13.4.2007).

⁷ Laki biopolttoaineiden edistämisestä liikenteessä annetun lain 5§:n muuttamisesta 1056/2009 (11.12.2009).

⁸ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä.

⁹ RES-direktiivi, 21. artikla, 2. kohta: Arvioitaessa toimijoille asetettujen kansallisten uusiutuvan energian velvoitteiden täyttymistä ja tavoitetta, joka koskee uusiutuvista energialähteistä saadun energian käyttämistä kaikissa 3 artiklan 3 kohdassa tarkoitetuissa liikennemuodoissa, jätteistä, tähteistä, muusta kuin ruokakasvien selluloosasta ja lignoselluloosasta tuotetuilla biopolttoaineilla katsotaan olevan kaksinkertainen painoarvo muihin biopolttoaineisiin nähden.

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

toaineiden sisältämä energia kaksinkertaisena. Suomessa tällaisia raaka-aineita olisivat ilmeisesti esimerkiksi Fischer-Tropsch-dieselin raaka-aineiksi esitetyt metsätähteet ja etanolin tuotannon raaka-aineiksi esitetyt sokeri-, tärkkelys- ja jättekuitupitoiset jätteet.

Biopolttoaineiden käytön lisäämisen ekologinen kestävyys pyritään takaamaan direktiivissä annetuin biopolttoaineiden ekologisesti kestävä tuotannon kriteerein. Direktiivissä asetetut biopolttoaineiden kansalliset tavoitteet sekä yhteisölainsäädännön edellyttämät myynnin vähimmäisosuudet voidaan täyttää vain direktiivissä esitettyjen kriteerien mukaista biopolttoainetta käyttämällä. Vain kriteerit täyttävän biopolttoaineen myyntiä on luvallista edistää taloudellisilla tukitoimilla. Kriteeristö pätee polttoaineen raaka-aineen alkuperämaasta riippumatta.

RES-direktiivi edellyttää, että kasvihuonekaasupäästöt pienenevät vähintään 35 % biopolttoaineen käytön seurauksena. Vuodesta 2017 alkaen vähenemän täytyy olla 50 % ja vuoden 2017 jälkeen 60 % biopolttoaineilla, jotka on tuotettu aikaisintaan vuonna 2017 tuotantonsa aloittaneissa laitoksissa. Jos biopolttoaineen tuotanto on ollut käynnissä 23.1.2008, edellytetään kasvihuonekaasupäästöissä 35 %:n vähenemää vasta 1.4.2013 lähtien.

Biopolttoaineiden toimittajille asetetaan raportointivelvollisuus koskien toimittamansa biopolttoaineen ekologista kestävyyttä. Jäsenvaltioiden tehtäväksi jää varmistaa luotettavan tiedon saanti toimittajilta. Valtioiden onkin edellytettävä polttoainetoimittajilta riippumattoman osapuolen varmistamaa tietoa. Jäsenvaltiot lähettävät tiedot komissiolle, joka julkaisee ne niiltä osin kuin se ei vaaranna toimittajien yrityssalaisuuksia. Direktiivi on saatettava osaksi kansallista lainsäädäntöä 5.12.2010 mennessä.

4.5 Biopolttoaineiden kestävyyskriteerit RES- ja polttoaineiden laatudirektiivissä

RES- ja polttoaineiden laatudirektiiveissä asetetaan yhteiset kestävyyskriteerit biopolttoaineille. Direktiiveissä on määritelty kriteerit biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöketjujen kasvihuonekaasupäästöille sekä rajoituksia raaka-aineiden hyödyntämiselle maasta, joka on biologiselta monimuotoisuudeltaan rikas tai johon on sitoutunut paljon hiiltä.

Direktiiveissä annetaan eri biopolttoaineiden tuotantoketjuille oletusarvoina kasvihuonepäästötaseet sekä metodologisia vaatimuksia tuotantoketjujen todellisten päästötaseiden laskemiselle. Direktiiveissä määritetään tilanteet, jolloin

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

polttoaineen toimittaja voi käyttää oletusarvoja todellisten arvojen sijaan. Oletusarvoja voidaan käyttää lähinnä silloin, kun raaka-aine viljellään EU:n ulkopuolella tai EU:ssa alueella, jolla maatalouden raaka-aineiden viljelystä peräisin olevien kasvihuonekaasupäästöjen oletetaan olevan samansuuruisia tai pienempiä kuin direktiivissä esitetyt viljelyn päästöt. Jäsenmaiden on toimitettava vuoden 2010 alussa komissiolle luettelo kyseisen kaltaisista alueista omien rajojensa sisäpuolella. Oletusarvoja voidaan käyttää myös, kun raaka-aineena käytetään jätteitä tai tähteitä, ei kuitenkaan maa- ja kalatalouden jätteitä. Direktiiveissä annetut biopolttoaineiden tuotantoketjujen tyypilliset kasvihuonekaasupäästöt eri tuotantoketjujen vaiheissa sekä näistä johdetut oletusarvot on koottu liitteeseen B.

Biopolttoaineen raaka-aineen tuotantoa varten ei saa ottaa käyttöön maata, jonka biologinen monimuotoisuus on arvokasta. Raaka-aineentuotantoon ei myöskään saa ottaa käyttöön maa-alaa, joka toimii merkittävänä hiilen luonnollisena varastona. Biopolttoaineiden raaka-ainetta ei lisäksi saa kerätä alueelta, joka on ollut turvemaata tammikuussa 2008, jos raaka-aineen viljely ja kerääminen aiheuttavat maan kuivaamista.

Raaka-aineentuotannossa tulee noudattaa yhteisölainsäädännössä (EY 73/2009¹⁰) annettuja vaatimuksia. Vaatimukset koskevat hyvää maanviljelystapaa eli muun muassa tapoja, joilla varmistetaan viljelysmaan kestävä käyttö sekä ravinteiden mahdollisimman pieni kulkeutuminen pohjavesiin ja vesistöihin.

EU:n komissio voi kelpuuttaa tiettyjä vapaaehtoisia ympäristösertifikaatteja riittäväksi näytöksi biopolttoaineen raaka-ainetuotannon ja valmistuksen ekologisesta kestävydestä.

4.6 Ajoneuvojen päästädirektiivit

4.6.1 Henkilö- ja pakettiautojen säännellyt päästöt

Moottoriajoneuvojen päästöjä rajoitetaan EU:ssa usealla eri direktiivillä. Henkilö- ja pakettiautojen määräykset perustuivat alun perin direktiiviin 70/220/ETY, jonka raja-arvoja kiristettiin lukuisia kertoja noin 4–5 vuoden välein. Vuodesta 2007 alkaen uudeksi perusdirektiiviksi, jolla säädetään Euro 5 ja 6 -tasoista, tuli 715/2007/EY (20.6.2007) sekä sitä täydentävä Komission asetus N:o 692/2008 (18.7.2008). Ne määrittävät, että Euro 5 -taso tulee voimaan uusille henkilöauto-

¹⁰ EC 73/2009, ”Ympäristö”-otsikon alla annettuja vaatimuksia (osa A, kohta 9, liite II).

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

tyypeille 1.9.2009 ja kaikille uusille rekisteröitäville henkilöautoille 1.1.2011. Sama koskee myös kevyimpiä pakettiautoja (ajoneuvoluokka N_{1,I}). Raskaampien pakettiautojen (ajoneuvoluokat N_{1,II} ja N_{1,III}) aikataulua on lykätty vuodella. Vastaavasti Euro 6 tulee voimaan uusille autotyypeille 1.1.2011 (henkilöautot ja pienet pakettiautot) tai 1.1.2012 (raskaammat pakettiautot). Kaikissa ensirekisteröinneissä Euro 6 on välttämätön kolmen vuoden siirtymäajan jälkeen (2014/2015).

Henkilöautojen päästörajat on esitetty taulukossa 4.1. Dieselautojen hiukkasraja kiristyy merkittävästi (80 %) Euro 4:stä Euro 5:een siirryttäessä, kun taas muutos Euro 5:sta Euro 6:een kohdistuu NO_x-päästöjen rajoittamiseen eikä muuta hiukkasrajoja. Euro 5 -päästötaso vaatii käytännössä dieselautoon hiukkas-suodattimen.

4.6.2 Henkilöautojen CO₂-päästöt

Perusdirektiivillä 80/1268/ETY säädetään polttomoottorilla varustettujen henkilö- ja pakettiautojen polttoaineen kulutuksen ja CO₂-päästöjen mittaamisesta. Direktiiviä on viimeksi muutettu direktiivillä 2004/3/EY. Säädös määrittää siis ainoastaan, miten kulutus mitataan. Eri säädöksillä puolestaan säädetään lukemien ilmoittamisesta markkinoinnissa ja niiden esillä pitämisestä. Ko. säädöksen mukaan polttoaineen kulutus ja CO₂-päästö määritetään YK:n Euroopan talouskomission (UNECE) julkaiseman E-säännön 101 mukaisesti. Sen viimeisimpään muutokseen (E/ECE/324/, E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.100./Rev2, April 2005) sisältyvät myös menettelyt, joilla määritetään sekä polttoaineen että sähköenergian kulutus hybridautoilla, joihin sähköä voi ladata verkosta. Yksinkertaistettuna *plug-in*-hybridien mittaamiseen käytetään normaalia, polttomoottoritolle tarkoitettua mittausta (kaupunkiajo + maantieajo) aloittaen ajo sekä A) akusto täysin varattuna että B) akusto täysin purettuna. Näin saaduista polttoaineen kulutuksista lasketaan keskiarvo. Lisäksi mitataan kummassakin tapauksessa ajon jälkeen akun täyteen varaustilaan saattamiseen kuluva sähköenergia sekä aivan tyhjäksi puretun akun vastaanottama energia, kun se ladataan uudelleen. Tuloksina ilmoitetaan polttoaineen kulutus (l/100 km), hiilidioksidipäästö (g CO₂/km) ja sähköenergian kulutus (Wh/km).

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

Taulukko 4.1. Henkilöautojen Euro 1–Euro 6 -päästörajat (DieselNet 2009).

EU Emission Standards for Passenger Cars (Category M ₁ *), g/km						
Tier	Date	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
Diesel						
Euro 1**	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08
Euro 2, DI	1996.01 ^a	1.0	-	0.9	-	0.10
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	5.0	0.05
Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025
Euro 5	2009.09 ^b	0.50	-	0.23	0.18	0.005 ^e
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005 ^e
Petrol (Gasoline)						
Euro 1**	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	-
Euro 2	1996.01	2.2	-	0.5	-	-
Euro 3	2000.01	2.30	0.20	-	0.15	-
Euro 4	2005.01	1.0	0.10	-	0.08	-
Euro 5	2009.09 ^b	1.0	0.10 ^c	-	0.06	0.005 ^{d,e}
Euro 6	2014.09	1.0	0.10 ^c	-	0.06	0.005 ^{d,e}
<p>* At the Euro 1..4 stages, passenger vehicles >2 500 kg were type approved as Category N₁ vehicles</p> <p>** Values in brackets are conformity of production (COP) limits</p> <p>^a – until 1999.09.30 (after that date DI engines must meet the IDI limits)</p> <p>^b – 2011.01 for all models</p> <p>^c – and NMHC = 0.068 g/km</p> <p>^d – applicable only to vehicles using DI engines</p> <p>^e – proposed to be changed to 0.003 g/km using the PMP measurement procedure</p>						

Joulukuussa 2008 säädettiin tavoiteohjelma, jonka mukaan kunkin autovalmistajan myymien uusien henkilöautojen keskimääräisen CO₂-lukeman tulisi olla 130 gCO₂/km. Vaatimus astuu voimaan portaittain vuosina 2012–2015. Tavoite on sitova, sillä eurooppalaisten, japanilaisten sekä korealaisten autonvalmistajien kanssa aiemmin solmitut vapaaehtoiset sopimukset eivät alentaneet EU:ssa ensirekisteröityjen henkilöautojen keskimääräistä CO₂-päästöä tasolle 140 gCO₂/km vuosiin 2008–2009 mennessä. Nykyisen tavoiteohjelman todellinen tavoite on 120 gCO₂/km ja lisätoimenpiteiden osuus (mm. biopolttoaineiden käyttö, energiatehokkaat renkaat jne.) on 10 gCO₂/km. Sopimukseen sisältyy alustava 95 g/km:n tavoite vuodelle 2020 (COD/2007/0297). Jos autonvalmistaja ei pääse

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

asetettuihin tavoitteisiin, se joutuu maksamaan sakkoa (ylitys grammoissa *95 €_{gCO₂}* uusien autojen määrä). 130 gCO₂/km:n tavoite astuu voimaan vaiheittain vuodesta 2012 (myydyistä autoista 65 %:n täytettävä vaatimus) ja kiristyy vuosittain kohti vuoden 2015 vaatimusta (kaikkien myytyjen autojen täytettävä vaatimus).

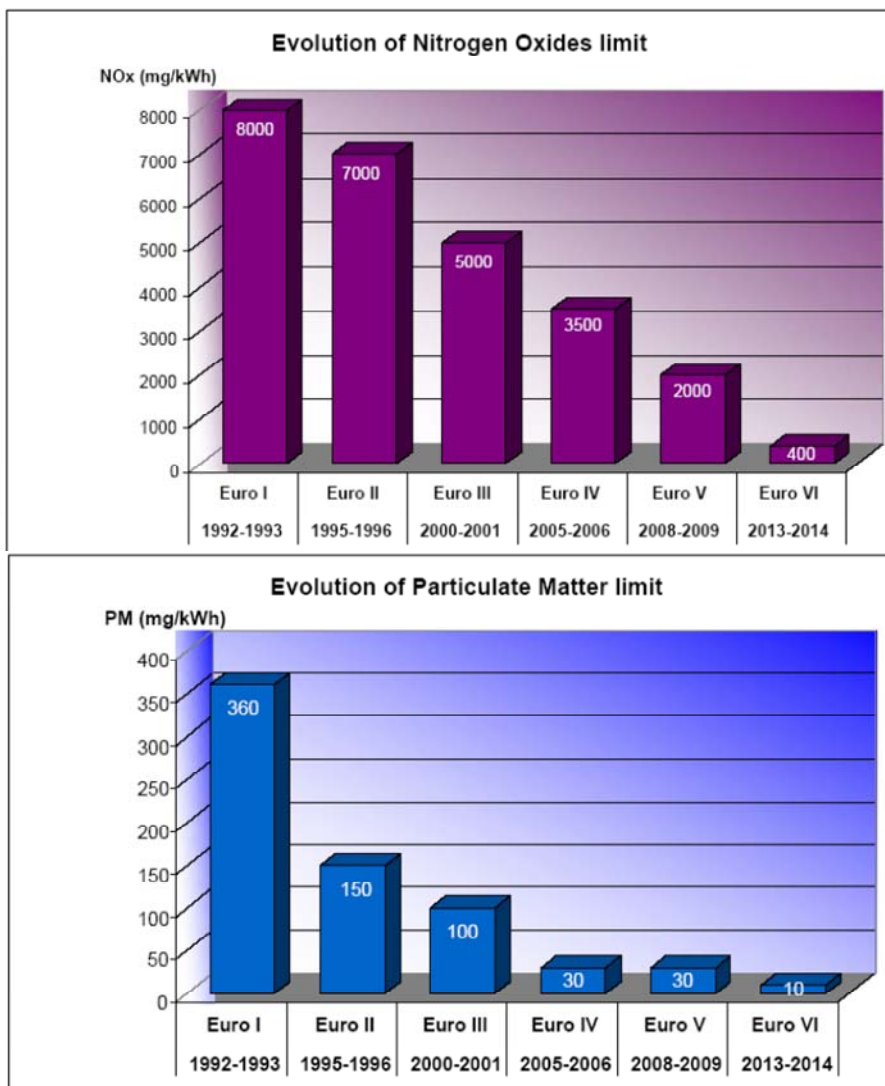
Tavoiteohjelmaan on myös sisällytetty kannustimia. Auto, jonka CO₂-päästö on alle 50 g/km, huomioidaan siten, että jokaisen toimitetun auton lasketaan vastaavan useampaa autoa säännöksessä määritetyin kertoimin (2012–2013 kertoimella 3,5; 2014 kertoimella 2,5; 2015 kertoimella 1,5). Myös FFV-autot, jotka pystyvät käyttämään E85-etanolipolttoainetta, saavat pienen edun: vuoden 2015 loppuun asti niiden CO₂-arvoa (bensinillä määritettyä) pienennetään 5 %. Tämä koskee kuitenkin vain niitä jäsenmaita, joissa E85-polttoainetta on tarjolla vähintään 30 %:lla jakeluasemista. Etanolin pitää lisäksi täyttää RES- ja polttoaineiden laatudirektiiveissä määritellyt kestävyyskriteerit. ”Innovatiiviset” CO₂-päästöjä vähentävät tekniset toteutukset voivat helpottaa autonvalmistajan CO₂-tavoitetta 7 g.

4.6.3 Raskaiden ajoneuvojen säännellyt päästöt

Raskaiden ajoneuvojen (kuoma-autot ja bussit) päästöjä rajoittava perusdirektiivi on 88/77/ETY. Sen viimeisin (1.10.2008 lähtien) voimassa oleva muutos, jolla säädettiin Euro V -raja-arvot, on 1999/96/EY. Sitä on täydennetty myöhemmillä lisäyksillä, jotka koskevat lähinnä päästöjen ajonaikaisen valvonnan OBD-järjestelmiä. Päätös seuraavista Euro VI -määräyksistä tehtiin joulukuussa 2008. Uusille autotyypeille Euro VI -rajat tulevat voimaan joulukuussa 2012. Alun perin oli suunniteltu, että Euro VI tulisi voimaan 2013, mutta aikataulua aikaistettiin.

Kuvassa 4.1 on esitetty raskaan kaluston typenoksidien ja hiukkasten raja-arvojen kehittyminen. Siirryttäessä Euro V -rajoista Euro VI -rajoihin NO_x-päästö vähenee peräti 80 % ja hiukkasetkin 67 %. Viimeistään Euro 6 (henkilöautot) ja Euro VI (raskas kalusto) -määräysten voimaan tultua voidaan sanoa, että lähipäästöjen ongelma on pitkälti hoidettu uusien autojen osalta. VTT:n mittaukset kuitenkin osoittavat, että jotkin uudet tekniikat lisäävät suoraa NO₂-päästöä, mikä on haitaksi kaupunki-ilman laadulle.

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia



Kuva 4.1. Raskaan kaluston NOx- ja PM-raja-arvojen kehittyminen (Euro VI:n lopullinen voimaantulo 2012–2013) (Laguna-Gomez 2008).

Vielä toistaiseksi monet eurooppalaiset kaupungit kärsivät huonosta ilman laadusta. Ongelmallisimmat komponentit ovat hiukkaset ja typen oksidit, erityisesti typpidioksidi. Pääsääntöisesti kaupunki-ilman epäpuhtaudet johtuvat ajoneuvo-liikenteestä. Euroopan unionissa ilmanlaadun raja-arvot on määritelty direktiiveissä 96/62/EY, 1999/30/EY, 2000/69/EY, 2002/3/EY ja 97/101/EY. Tähän asti on rajoitettu hengitettävien hiukkasten (PM₁₀) määrää. Valmisteilla on uusi

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

ilmalaatua koskeva direktiivi, joka korvaa em. viisi erillistä direktiiviä ja johon sisältyy muun muassa pakolliset rajat hiukkaskokoluokalle PM_{2,5} (pienhiukkaset). (COM(2005) 447.)

Autokalusto uudistuu kohtuullisen hitaasti. Niinpä Euroopassa on otettu käyttöön ns. ympäristövyöhykkeitä akuuttien ilmanlaatuongelmien lieventämiseksi. Ideana on, että kaikkein saastuttavimpien ajoneuvojen liikennöintiä rajoitetaan kaupunkien keskustoissa. Vuonna 2008 Euroopassa otettiin käyttöön suuri määrä ympäristövyöhykkeitä. Ajoneuvojen tekniset vaatimukset perustuvat joko ikään, pakokaasuluokkaan (Euro-luokkaan) tai tietyn pakokaasujen puhdistustekniikan (hiukkassuodatin) käyttöön. (Nylund & Mäkelä 2007.)

Parafiinisen dieselpolttoaineen ja kaasun käyttöönotto kaupunkiliikenteessä voisi niin ikään tuoda helpotusta ilmanlaatuongelmiin. Kasvihuonekaasujen osalta raskaille ajoneuvoille ei ole vastaavaa polttoaineen kulutuksen ja/tai hiilidioksidipäästön määrittämenetelmää kuin kevyelle autokalustolle.

4.6.4 Puhtaat ja energiatehokkaat ajoneuvot

Joulukuussa 2007 annettiin täysin uudistettu direktiiviehdotus puhtaiden ja energiatehokkaiden maantieajoneuvojen edistämisestä. Direktiivi hyväksyttiin lopullisesti maaliskuussa 2009. Hankinnassa voidaan asettaa energia- ja ympäristöhokkuutta koskevia teknisiä vaatimuksia tai käyttää valintaperusteena energia- ja ympäristöominaisuuksia. Käytännössä hankkija voi siis rajata valinnan esimerkiksi kaasu- tai sähköautoihin tai pisteyttää ajoneuvohankinnat energiankulutuksen tai päästöjen perusteella. Direktiivi myös kannustaa käyttämään elinkaaren laskennallisia energia- ja päästökustannuksia (ulkoisten kustannusten) yhtenä valintaperusteena julkisen sektorin ajoneuvohankinnoissa. Perusteluissa todetaan, että direktiivin odotetaan tuovan taloudellista hyötyä, koska alhaisempi polttoaineen kulutus ja alhaisemmat päästöt auton elinkaaren aikana kompensoivat mahdollisen korkeamman investointikustannuksen. Direktiiviä sovelletaan myös kaikissa maantieajoneuvojen ostoissa, jotka tehdään julkisten henkilöliikennepalvelujen tarjoamiseksi viranomaisen myöntämän lisenssin, luvan tai hyväksynnän nojalla (2004/17/EY, 2004/18/EY, COM(2007) 817, 2009/33/EY).

Päästöjen osalta laskennassa huomioidaan CO₂, NO_x, ei-metaanihiilivedyt (NMHC) ja hiukkaset taulukon 4.2 mukaan.

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

Taulukko 4.2. Clean Vehicles -direktiivin päästöjen haitta-arvot (2009/33/EY).

CO ₂	NO _x	NMHC	Particulate matter
0,03–0,04 EUR/kg	0,0044 EUR/g	0,001 EUR/g	0,087 EUR/g

Laskennassa käytetään kiinteää energian hintaa. Tämä toimii hyvin vertailtaessa tavanomaisia bensiini- ja dieselautoja keskenään. Vaihtoehtoisten polttoaineiden ja -ajoneuvotekniikoiden tilanne on kuitenkin ongelmallisempi. Kipinäsytytysmoottorilla varustetun maakaasubussin energiankulutus on noin 30 % suurempi kuin dieselbussilla. Direktiivissä esitetty laskentamalli huonontaa täten kaasuautojen kilpailukykyä merkittävästi. Kuitenkin maakaasun energiahinta on diesel-polttoaineen energiahintaa edullisempi, mitä ei laskentamallissa oteta huomioon. Silti direktiivissä sanotaan, etteivät säännökset saisi estää viranomaisia suostumaan vaihtoehtoisia polttoaineita käyttäviä autoja. Ympäristöministeriöstä 6.4.2009 saadun tulkinnan mukaan (Nikula 2009) autojen ja palveluiden hankinnassa voitaisiin suosia kaasuautoja tai -busseja, jos näin halutaan. Käytännössä hankkija voi rajata valinnan tiettyihin ajoneuvoihin tai pisteyttää ajoneuvohankinnat energiankulutuksen tai päästöjen perusteella, jolloin valinnassa voidaan suosia vaihtoehtoisia polttoaineita tai tekniikoita.

4.7 Suomen nykyinen ajoneuvo- ja polttoainevero-järjestelmä

Henkilöautojen omistuksesta ja käytöstä kerätään seuraavanlaisia veroja:

- autovero
- vuotuinen perusverosta ja käyttövoimaverosta muodostuva ajoneuvovero
- perusveroon, lisäveroon ja huoltovarmuusmaksuun jakautuva polttoainevero
- auton (ja polttoaineiden) myyntihintaan sisältyvä arvonlisävero.

4.7.1 Autovero

Yleiseen vähittäismyyntiarvoon eli kuluttajahintaan perustuvaan autoveroon siirryttiin vuonna 2003, kun aikaisemmin verotus perustui ajoneuvon tuontiarvoon. Verotusarvo on Suomen markkinoilta saatavien hintatietojen mukaan määriteltävä ajoneuvon kaikki verot sisältävä yleinen kuluttajahinta verotushetkellä. Autoverosta ei kanneta arvonlisäveroa.

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

Henkilöautojen veroprosentti muutettiin vuoden 2008 alusta auton hiilidioksidipäästötasoon perustuvaksi. Veroprosentti määräytyy auton valmistajan EY-tyyppi hyväksynnän yhteydessä ilmoittaman, yhdistettyä kaupunki- ja maantieajon polttoaineen ominaiskulutusta vastaavan hiilidioksidipäästön (g/km) perusteella. Autoveron laskentakaava on seuraava:

$$\text{veroprosentti} = 1,22 * (\text{auton CO}_2\text{-päästö}/10 + 4)$$

CO₂-päästö yksikössä g/km.

Veron osuus on kuitenkin vähintään 12,2 (päästö enintään 60 g/km) ja enintään 48,8 % (päästö yli 360 g/km) auton yleisestä vähittäismyyntiarvosta (Autoverolaki 29.12.1994/1482, muutettu lailla 5/2009). Jos yhdistettyä kulutusta ei ole ilmoitettu, autovero määräytyy ajoneuvon kokonaismassan sekä käyttövoiman perusteella. Autoverotaulukko löytyy liitteestä A. Autovero on tällä hetkellä se verokomponentti, jolla on vahvin kytkentä ympäristöominaisuuksiin. Myös pakettiautojen autovero muuttui CO₂-pohjaiseksi 1.4.2009.

Veromalli suosii yleisesti ottaen energiatehokkaita autoja ja tasaa esimerkiksi diesel- ja hybridautojen kuluttajahintaeroa tavallisiin bensiiniautoihin verrattuna. Sähköautoihin sovelletaan minimiveroa. Malli suosii myös kaasuautoja, koska veroprosentin laskennassa käytetään kaasulla määritettyä CO₂-arvoa, joka kaksoispolttoaineauton tapauksessa on noin 20 % alhaisempi kuin bensiinillä määritetty arvo.

4.7.2 Ajoneuvovero

Henkilö- ja pakettiautojen vuotuinen ajoneuvovero muodostuu kahdesta osasta, perusverosta ja käyttövoimaverosta. Perusvero määräytyy toistaiseksi käyttöönottovuoden mukaan. Ennen vuotta 1994 käyttöönotetulla autolla vero on 94,90 € vuodessa ja 1.1.1994 jälkeen käyttöönotetulla autolla 127,75 €

Vuonna 2010 henkilöautojen *perusvero* muuttuu CO₂-sidonnaiseksi autoveron tapaan. Progressiivinen perusvero on alimmillaan 20 €/vuosi (CO₂-päästö enintään 66 g/km) ja enimmillään 605,90 €/vuosi (CO₂-päästö 400 g/km ja yli). CO₂-päästön ollessa 180 g/km vero on uudessa järjestelmässä 128 €/vuosi, vastaten nykyveroa. Veromallin muutos on valmisteltu tuottoneutraalisti, joten oletettavaa on, että uudistetun perusveron ohjaava vaikutus jää suhteellisen pieneksi normaaliin perheautojen osalta. Haluttaessa ohjausta voidaan tehostaa. Progressio vaikuttaa kuitenkin tuntuvasti CO₂-päästöjä tuottavien autojen kohdalla.

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

Dieselmäärästä henkilö-, paketti- ja kuorma-autoilta kannetaan lisäksi *käyttövoimaveron*, josta ennen käytettiin nimitystä dieselvero. Suomessa dieselpolttoaineen vero on pidetty lähellä EY:n määrittelemää minimitasoa raskaan kaluston liikennöintikustannusten hillitsemiseksi. Henkilöautojen dieselpolttoaineen lievää verotusta verrattuna bensiiniin tasataan käyttövoimaverolla. Auton painosta riippuva vero on alun perin säädetty siten, että käyttökustannukset bensiini- ja dieselmäärästä henkilöautolla ovat likimain yhtä suuret vuotuisen ajosuorituksen ollessa noin 20 000 km. Polttonesteiden veronkorotusten painopiste on vuosien mittaan ollut bensiinissä, joten nykyään tasapainopiste saavutetaan selvästi pienemmällä ajosuoritteella.

Henkilöauton käyttövoimaveron on 6,7 senttiä päivässä jokaista kokonaismassan alkavaa 100 kg:aa kohti; pakettiauton 0,9 senttiä kokonaismassan alkavaa 100 kg:aa kohti. Siten dieselhenkilöauton, jonka kokonaismassa on 2 000 kg, käyttövoimaveron on noin 500 €/vuodessa.

Maa- ja biokaasumäärästä (metaani) henkilö- ja pakettiautoilta ei kanneta käyttövoimaveron. Sähköverkosta ladattavilta sähköautoilta sen sijaan kannetaan nyky sääntöjen mukaan käyttövoimaveron. Lisäksi ajoneuvosta, jossa käytetään bensiiniä (bensini ajoneuvon tapauksessa) tai dieselöljyä (diesel ajoneuvon tapauksessa) lievemmin verotettua polttoainetta, suoritetaan valtiolle polttoainemaksua, ellei käytettävää polttoainetta ole erikseen vapautettu polttoainemaksusta. Sekä eloperäisestä että fossiilisesta lähteestä peräisin oleva metaani on vapautettu polttoainemaksusta vuoden 2004 alusta lähtien. Polttoainemaksua ei kanneta myöskään sähköautoilta.

4.7.3 Energiaverot

Bensiinistä ja dieselistä peritään kolmenlaista energiaveron:

- perusvero (fiskaalinen vero)
- lisävero (CO₂-perusteinen komponentti)
- huoltovarmuusmaksu.

Nämä kolme komponenttia muodostavat *valmisteveron*. Verokomponentit ovat litramääräisiä. Valmisteveron kuuluu muiden hintatekijöiden lisäksi arvonlisäveron perusteeseen.

Bensiinin biokomponentteja, esimerkiksi etanolia, verotetaan tilavuuspohjaisesti bensiinin tapaan ja dieselin biokomponentteja tilavuuspohjaisesti dieselpolttoaineen tapaan. Tämä on myös energiaverodirektiivin (2003/96/EY) lähtö-

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

kohtana. Rikittömälle moottoribensiinille ja dieselöljylle on voimassa tämänhetkissä lainsäädännössä 2,65 snt/l veronalennus.

Lämmityksessä ja työkoneiden polttoaineena käytettävää kevyttä polttoöljyä verotetaan lievemmin kuin liikenteen polttoaineena käytettävää dieselöljyä. Kevyelle polttoöljylle ei ole olemassa rikkipitoisuuteen tai muuhun laatuun perustuvaa veroporrastusta, mutta lämmityksessä ja työkoneiden ja kiinteästi asennettujen moottoreiden polttoaineena käytettävä biopolttoöljy on vapautettu verosta.

Maakaasu verotetaan maahantuonnin yhteydessä. Maakaasussa ei ole perusveroa, ainoastaan lisäverokomponentti ja huoltovarmuusmaksu. Lisävero on 2,016 €/MWh ja huoltovarmuusmaksu 0,084 €/MWh. Biokaasuun ei kohdistu lainkaan energiaveroja. Sähköllä energiaverot ovat yhteensä 8,83 €/MWh¹¹.

Bensiinin ja dieselin lisävero vastaa CO₂-hintaa 20,41 €/tonni, kun taas maakaasun laskennallinen CO₂-hintaa on puolta pienempi eli 10 €/tonni CO₂. Bensiinin perusvero on 0,5724 €/l ja dieselin 0,3067 €/l. Lisäveron osuus on 8 % bensiinin ja 15 % dieselin yhteenlasketuista energiaveroista. Maakaasulla osuus on 94 %. Öljytuotteisiin, maakaasuun ja sähkөөn kohdistuvat verot on esitetty taulukossa 4.3. Henkilöautoista sekä niissä käytetyistä polttoaineista Suomessa kannettavat verot ja maksut löytyvät puolestaan liitteestä A.

¹¹ Sähkön lisävero ei perustu CO₂-päästöihin vaan on puhdas energiaverokomponentti.

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

Taulukko 4.3. Polttoaineiden verokannat (nykyinen verokanta ollut voimassa 1.1.2008 alkaen) (ÖKKL 2009, verokertymät VM).

	Tuotteet	Verokanta 1.1.2008 alkaen	Verokanta 1.1.2007	Kertymä vuonna 2008 milj. euroa
Valmistevero	Moottoribensiini			1453
	- reformuloitu rikitön	62,70 c/l	58,76 c/l	
	- perusvero	57,24 c/l	53,85 c/l	
	- lisävero	4,78 c/l	4,23 c/l	
	- huoltovarmuusmaksu	0,68 c/l	0,68 c/l	
	- muu laatu	65,35 c/l	61,41 c/l	
	- perusvero	59,89 c/l	56,50 c/l	
	- lisävero	4,78 c/l	4,23 c/l	
	- huoltovarmuusmaksu	0,68 c/l	0,68 c/l	
	Dieselöljy			943
	- rikitön	36,40 c/l	31,94 c/l	
	- perusvero	30,67 c/l	26,83 c/l	
	- lisävero	5,38 c/l	4,76 c/l	
	- huoltovarmuusmaksu	0,35 c/l	0,35 c/l	
	- muu laatu	39,05 c/l	34,59 c/l	
	- perusvero	33,32 c/l	29,48 c/l	
	- lisävero	5,38 c/l	4,76 c/l	
	- huoltovarmuusmaksu	0,35 c/l	0,35 c/l	
	Kevyt polttoöljy	8,70 c/l	7,06 c/l	174
	- perusvero	2,94 c/l	1,93 c/l	
	- lisävero	5,41 c/l	4,78 c/l	
	- huoltovarmuusmaksu	0,35 c/l	0,35 c/l	
	Raskas polttoöljy	6,70 c/kg	5,96 c/kg	53
	- perusvero	-	-	
	- lisävero	6,42 c/kg	5,68 c/kg	
	- huoltovarmuusmaksu	0,28 c/kg	0,28 c/kg	
	Lentopetroli (harrasteilmailu)	39,05 c/l	0,00 c/l	0
	- perusvero	33,32 c/l	-	
	- lisävero	5,38 c/l	-	
	- huoltovarmuusmaksu	0,35 c/l	-	
	Lentobensiini (harrasteilmailu)	43,00c/l	0,00 c/l	2
	- perusvero	37,54 c/l	-	
	- lisävero	4,78 c/l	-	
	- huoltovarmuusmaksu	0,68 c/l	-	
	Maakaasu	2,100 €/MWh	1,904 €/MWh	83
	- perusvero	-	-	
	- lisävero	2,016 €/MWh	1,820 €/MWh	
	- huoltovarmuusmaksu	0,084 €/MWh	0,084 €/MWh	
	Sähkö			
	- perusvero	0,87 c/kWh (l)		
	- lisävero	0,013 c/kWh		
	- huoltovarmuusmaksu			

4.8 Esimerkkejä polttoaineen laadun ja lähipäästöjen huomioimisesta polttoaineverotuksessa eri maissa

4.8.1 Suomi

Suomessa otettiin käyttöön 1990-luvun alkupuolella veroporrastus reformuloiduille polttoaineille ympäristöpoliittisin perustein. Reformuloidun moottoribensiinin lisävero oli 1.1.1993 lähtien 5 penniä litralta ja rikittömän (50 ppm) dieselöljyn 1.7.1993 lähtien 15 penniä litralta alhaisempi peruslaatuun verrattuna (veroporrastus laissa 1472/1994). Polttoaineille asetettiin seuraavat laatuvaatimukset:

Reformuloitu bensiini:

- bentseeni, maks. 3 til-%
- höyrynpaine, kesälaatu maks. 70 kPa, talvilaatu maks. 90 kPa
- happipitoisuus min. 2 % ja maks. 2,7 %.

Rikitön dieselpolttoaine:

- rikki­pitoisuus maks. 0,005 paino-%
- aromaattipitoisuus maks. 20 til-%
- setaani-indeksi tai setaaniluku min. 47.

Tammikuussa 1999 tuli voimaan veroporrastus, jossa reformuloidun moottoribensiinin laatuvaatimukset asetettiin seuraaviksi (Laki 1159, 30.12.1998):

Reformuloitu bensiini:

- happipitoisuus min. 2 % ja maks. 2,7 %
- bentseeni, maks. 1 til-%
- höyrynpaine, kesälaatu maks. 70 kPa, talvilaatu maks. 90 kPa
- aromaattipitoisuus, maks. 35 til-%.

Vuonna 2004 lakia muutettiin siten, että reformuloidun rikittömän bensiinin ja rikittömän dieselöljyn rikki­pitoisuus saa olla enintään 10 mg/kg veroporrastuksen ollessa 2,65 senttiä litralta (laki 394/2004, 1305/2007):

Reformuloitu rikitön bensiini:

- happipitoisuus, min. 2 paino-% ja maks. 2,7 paino-%
- rikki­pitoisuus, maks. 10 mg/kg
- höyrynpaine, kesälaatu maks. 70 kPa, talvilaatu maks. 90 kPa.

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

Rikitön dieselöljy:

- rikkipitoisuus enintään 10 mg/kg.

EU:n polttoaineiden laatudirektiivi 98/70/EY sisältää laatuvaatimuksia muun muassa bensiinin aromaatti-, bentseeni-, happi-, rikki- ja lyijypitoisuudelle sekä dieselöljyn rikkipitoisuudelle ja polyaromaattisille hiilivedyille, PAH(di+)-yhdisteille. Laatudirektiivin muutoksella 2003/17/EY rikkipitoisuusvaatimusta tiukennettiin muiden laatuvaatimusten jäädessä ennalleen. Bensiinin rikkipitoisuusraja oli 150 mg/kg ja dieselöljyn 350 mg/kg, kunnes vuoden 2005 alusta sekä bensiinin että dieselöljyn rikkipitoisuudeksi vaadittiin enintään 50 mg/kg, ja lisäksi enintään 10 mg/kg rikkiä sisältäviä polttoaineita piti olla saatavana. Direktiivin mukaan vuoden 2009 alusta kaiken myytävän bensiinin ja dieselöljyn on oltava rikitöntä, joten rikkiin perustuvalla veroporrastukselle ei ole enää perustetta.

4.8.2 Ruotsi

Ruotsissa liikennepolttoaineiden valmistevero on porrastettu ympäristöperusteisesti useampaan laatuluokkaan. Dieselöljy on käytännössä ollut rikitöntä jo 1990-luvun alkupuolelta. Miljöklass 1 -luokkaan kuuluvan dieselöljyn rikkipitoisuusvaatimus on alle 10 mg/kg ja sen tiheys, tislausalue ja aromaattipitoisuus ovat tiukempia kuin Eurooppalaisessa laatudirektiivissä edellytetään. MK1-luokan polttoaineiden ominaisuudet on esitetty taulukoissa 9.1 ja 9.2.

Pienkoneisiin tarkoitetun bensiiniä vähemmän haitallisen alkylaattibensiinin veroa alennettiin Ruotsissa 0,20 €/l vuonna 2002.

4.8.3 Muut maat

Saksassa rikkiä enintään 10 mg/kg kohden sisältävän moottoribensiinin ja dieselöljyn veroetu oli 1,5 senttiä litralta vuoden 2003 alusta. Vastaavan suuruinen veroporrastus oli otettu käyttöön Itävallassa vuoden 2004 alusta. Iso-Britanniassa ja Tanskassa oli myös käytössä veroporrastus, jossa rikittömän moottoribensiinin ja dieselöljyn verotaso oli alhaisempi kuin rikillisemmän laadun.

Useassa EU-maassa biopolttoaineiden käyttöä edistetään veronalennuksilla tai täydellisillä verovapautuksilla (taulukko 4.4). Veroeduissa ei yleensä ole huomioitu eri biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöketjujen erilaisia vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin. Alankomaissa, Isossa-Britanniassa ja Saksassa on valmisteltu ns. kestävyyskriteereitä biopolttoaineiden edistämisen perusteeksi.

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

Taulukko 4.4. Etanolin ja biodieselin edistämistoimenpiteet EU:n jäsenvaltioissa. (Jäsenvaltioiden raportit komissiolle direktiivin 2003/30/EY mukaisesti, luettu huhtikuussa 2009.)

Valtio	Veroalennus etanolille	Veroalennus biodieselille	Muuta
Alankomaat	Alennettu valmistevero: 0,0101 €/l koko polttoainemäärälle.	Alennettu valmistevero: 0,0061 € koko polttoainemäärälle.	Tuen perusteeksi on esitetty kestävyyyden kriteeristöä. Vuonna 2007 astui voimaan velvoite 2 % myyntiosuudesta biopolttoaineille.
Belgia	Alennettu valmistevero.	Alennettu valmistevero.	Vuoden 2006 tilanne.
Bulgaria	Vapautettu valmisteverosta.	Vapautettu valmisteverosta.	Vuoden 2006 tilanne.
Espanja	Verovapaus	Verovapaus	Vuoden 2006 tilanne.
Irlanti	Vapaus valmisteveroista hakemusten perusteella	Vapaus valmisteveroista hakemusten perusteella	Monipolttoaineautoille (ja hybrideille) enintään €2 500 suuruihin rekisteröintiverohelpotus. Vuoden 2007 tilanne.
Iso-Britannia	0,20 £/l alennus valmisteveroon vuoden 2009 loppuun asti.	0,20 £/l alennus valmisteveroon vuoden 2009 loppuun asti.	Vuonna 2007 ei myyntivelvoitteita.
Italia	Biopolttoaineiden valmisteveroon 20 % alennus 250 000 ton tuotantoon asti. Etanolipitoisille biopolttoaineille lisähelputuksia.	Biopolttoaineiden valmisteveroon 20 % alennus 250 000 ton tuotantoon asti.	Vuonna 2007 astui voimaan velvoite 1 % myyntiosuudesta biopolttoaineille.
Itävalta	Puhtaat biopolttoaineet ovat vapautettuja valmisteverosta. Väh. 4,4 % etanolia sisältävän polttoaineen valmisteveroa on alennettu. 65–85 % etanolia sisältävän polttoaineen biokomponentista ei kanneta valmisteveroa.	Puhtaat biopolttoaineet ovat vapautettuja valmisteverosta. Väh. 4,4 % biodieselä sisältävän polttoaineen valmisteveroa on alennettu.	Vuonna 2007 biopolttoaineiden myyntivelvoite nousi 2,5 %:sta 4,3 %:iin.
Kreikka	Vapautettu valmisteverosta.	Vapautettu valmisteverosta.	Vuoden 2006 tilanne.
Kypros	Vapautettu valmisteverosta.	Vapautettu valmisteverosta.	Vuonna 2007 astui voimaan velvoite 1 % myyntiosuudesta biopolttoaineille. Monipolttoaineautoille (ja hybrideille) €1 200 suuruisen autoverohelpotus.
Latvia	85 % seokselle alennettu valmistevero.	Maataloustuottajille täysmääräinen hyvitys biodieselä sisältävän polttoaineen valmistusverosta.	Tilanne vuonna 2007.
Liettua	Vapautettu valmisteverosta.	Vapautettu valmisteverosta.	Vuonna 2007 astui voimaan velvoite 5 % myyntiosuudesta biodieselille ja 5 % etanolille.
Luxemburg	Verovapaus.	Verovapaus.	Tilanne vuonna 2006.

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

Malta	Ei käytetä liikenteen polttoaineena.	Vapautettu valmisteverosta.	Tilanne vuonna 2007.
Portugali	Alle 3 000 ton vuosituotanto on vapautettu valmisteverosta. Muulle tuotannolle alennettu vero.	Alle 3 000 ton vuosituotanto on vapautettu valmisteverosta. Muulle tuotannolle alennettu vero.	Käyttövelvoitteita voidaan asettaa, jos uusiutuvan osuus on merkittävästi jäljessä tavoitetta. Tilanne vuonna 2007.
Puola	Vapautettu valmisteverosta. Bensiinin valmisteverosta vähennetään 0,4623 jokaista seostettua etanolilitraa kohtaan.	Vapautettu valmisteverosta. Dieselin valmisteverosta vähennetään 0,3096 jokaista seostettua etanolilitraa kohtaan.	Tilanne vuonna 2006.
Ranska	0,33 €/l etanoli (alennus), 0,33 €/l ETBE (alennus), 0,2833 €/l E85 (veron määrä koko polttoaineelle). Veroalennukset voimassa 337 kt (etanoli) ja 224 kt (ETBE) tuotantoon saakka.	0,25 FAME (alennus), 0,25 synteettinen diesel (alennus), 0,30 FAEE (alennus). Veroalennukset voimassa 1 343 kt tuotantoon saakka.	Vuonna 2007, tavoite biopolttoaineiden käytölle on 3,5 %. Alennettu rekisteröintivero monipolttoaineautoille.
Romania	Vapautettu valmisteverosta.	Vapautettu valmisteverosta.	Vuonna 2007 astui voimaan velvoite 2 % myyntiosuudesta biodieseleille. Biopolttoaineiden raaka-ainetuotantoa tuetaan.
Ruotsi	Vapautettu CO ₂ - ja energia-veroista.	Vapautettu CO ₂ - ja energia-veroista.	Suuremmilla huoltoasemilla (15 % asemista) on tarjottava biopolttoaineita. Monipolttoaineautojen ja vähäpäästöisten autojen hankintaa tuetaan 10 000 SEK/auto.
Saksa	Toisen sukupolven biopolttoaineet sekä etanoli E85:n muodossa ovat vapautettuja veroista vuoteen 2015 asti.	Koskien myyntivelvoitteen kriteereitä täyttämättömiä puhdasta biodieseliä ja kasviöljyjä, vuonna 2006 myönnetty verohelpotukset poistuvat vaiheittain vuoteen 2012 mennessä.	Vuonna 2007 astui voimaan velvoite 4,4 % myyntiosuudesta biodieseleille ja 2 % etanolille. Biokomponenttien on oltava annettujen kriteerien mukaisia.
Slovakia	Alennettu valmistevero.	Alennettu valmistevero.	Vuonna 2007 astui voimaan velvoite 2 % myyntiosuudesta biopolttoaineille.
Slovenia	Vapautettu valmisteverosta.	Vapautettu valmisteverosta.	Vuonna 2007 astui voimaan velvoite 2 % myyntiosuudesta biopolttoaineille.
Suomi	Jakeluvelvoite 1.1.2008 alkaen. Alennettu valmistevero E85-polttoaineelle kehityshankkeessa vuosille 2009–2011	Jakeluvelvoite 1.1.2008 alkaen. Alennettu valmistevero NExBTL-biodieseleille demonstrointihankkeessa vuosille 2007–2010.	Tilanne vuonna 2009
Tanska	Vapautettu CO ₂ -verosta.	Vapautettu CO ₂ -verosta.	Tilanne vuonna 2006.

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

Tšekki			Biopolttoaineita tuotetaan vientiin. Tilanne vuonna 2006.
Unkari	0,0336 koko polttoainemäärälle	0,0324 koko polttoainemäärälle	Tilanne vuonna 2006.
Viro	Vapautettu valmisteverosta.	Vapautettu valmisteverosta.	Tilanne vuonna 2007.

Uusiutuvista raaka-aineista valmistettujen biopolttoaineiden vähimmäiskäyttövaatimukset EU-maissa ovat luoneet tarpeen biopolttoaineiden käytön kestävyys- ja todellisen kasvihuonekaasupäästöjä laskevan vaikutuksen määrittämiselle polttoainekohtaisesti. Edellä on esitetty EU:n uusien RES- ja polttoaineiden laatudirektiivien yhteiset kestävyyskriteerit. Kestävyyskriteerejä on valmisteltu myös EU-maissa. Seuraavassa tarkastellaan Saksan, Ison-Britannian sekä Alankomaiden kansallisissa lainsäädännöissä esitettyjä vaatimuksia uusiutuvien polttoaineiden kestävyysnäkökohtien sertifiointia varten. Biopolttoaineiden kestävyysnäkökohtien kriteerejä ovat esittäneet myös valtionhallintojen ulkopuoliset järjestöt.

Alankomaat ja Iso-Britannia ovat tehneet vuodesta 2006 asti yhteistyötä biopolttoaineiden kestävyysnäkökohtien kriteeristöä kehittämiseksi. Päämääränä on ollut kriteeristöä yhdistäminen biopolttoaineiden käyttövelvollisuutta koskevaan lainsäädäntöön. Saksa liittyi toimintaan vuonna 2007. Kyseiset valtiot ovat julkistaneet ehdotukset eloperäisen raaka-aineen kestäväälle tuotannolle.

Alankomaissa julkaistiin biomassan kestävä tuotannon kriteeristö heinäkuussa 2006 (Cramer Commission. 2006) ja testauskehikset seuraavana vuonna (Cramer Commission. 2007). Kriteeristö keskittyy biomassan käyttöön sähkön ja lämmön tuotannossa sekä liikenteen biopolttoaineina, mutta kriteeristöä voidaan soveltaa myös biomassan käyttöön kemikaalien ja ruoan tuotannon raaka-aineina. Kriteeristö sisältää kuusi kestävyysnäkökohtien osa-alueita: kasvihuonekaasupäästöt, kilpailu ruoantuotannon ja muiden sovellusten kanssa, vaikutus biodiversiteettiin, vaikutukset maaperään, pohjaveteen, vesistöihin ja ilmanlaatuun, vaikutus alueelliseen talouteen sekä vaikutus sosiaaliseen hyvinvointiin. Kukin osa-alue sisältää kriteerit, mittarit vähimmäisvaatimuksille sekä raportointivelvollisuuksia. Kriteeristö ei ole edennyt lainvoimaiseksi RES-direktiivin kestävyysnäkökohtien valmistelun vuoksi. Osaa tekijöistä ollaan kuitenkin liittämässä uusiutuvan sähkön tukimekanismeihin.

Isossa-Britanniassa hyväksyttiin liikenteen biopolttoaineiden käyttövelvoitteet asettava laki (*Renewable Transport Fuel Obligations Order, RTFO, SI 2007/3072*) maan parlamentissa lokakuussa 2007. Laissa annetaan velvoitteet biopolttoaineiden myynnin vähimmäismäärälle. Samana vuonna biopolttoaineil-

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

le annettiin verohelpotuksia (0,20 £/l). Lain toimeenpanoa valvomaan perustettiin uusi virasto, *Renewable Fuels Agency* (RFA). Kyseisen viraston tehtävänä on myös ylläpitää biopolttoaineiden sertifiointijärjestelmää. Järjestelmä kattaa vain liikenteen biopolttoaineet.

RTFO:n asettamat biopolttoaineiden myyntiosuuksien alimmaistasot on mahdollista toteuttaa vain sertifioidulla (RTF-sertifikaatti) biopolttoaineella. RFA julkaisi tammikuussa 2008 biopolttoaineiden jakelijoiden raportointivelvollisuudet RTF-sertifikaatin saamiseksi (*UK Report to the European Commission under Article 4 of the Biofuels Directive (2003/20/EY)*). Raportointivelvollisuus astui voimaan huhtikuussa 2008.

Isossa-Britanniassa toimivan biopolttoainetuottajan tai -tuojan on raportoitava toimittamansa polttoaineen tyyppi, raaka-aineet, alkuperä, mahdolliset biopolttoaineelle myönnetty ympäristösertifikaatit tai -merkit sekä biopolttoaineen käytöstä aiheutuva kasvihuonekaasupäästöjen vähenemä, kun maankäytöstä aiheutuvat suorat päästöt otetaan huomioon. RFA on julkaissut kasvihuonekaasupäästön määrittämiseksi laskinohjelmiston, jonka toimittajat voivat ladata RFA:n verkkosivuilta. Toimittajat raportoivat RFA:lle kuukausittain myymänsä biopolttoaineen määrän.

Department of Transportin RFA:lle antamissa RFT-sertifiointia koskevissa suosituksissa ja ohjeissa (DT 2008) annetaan kestävän eloperäisen raakaainetuotannon kriteerit ”metastandardina”, johon markkinoilla käytettyjä ympäristösertifikaatteja verrataan. Jos raaka-aineelle myönnetty ympäristösertifikaatti täyttää metastandardin vaatimukset, RFA katsoo biopolttoaineen täyttävän riittävät kestävyysvaatimukset (*Qualifying Environmental Standard*).

RFA:n tavoitteena on, että RTF-sertifioitujen biopolttoaineiden raaka-aineista 30 % täyttää riittävät kestävyysvaatimukset vuosina 2008–2009. Vuosiin 2010 ja 2011 mennessä kriteerit täyttävän raaka-aineen osuus olisi 80 %. Samalla aikavälillä biopolttoaineiden käytöstä aiheutuvan keskimääräisen kasvihuonekaasuvähenemän tulisi parantua 40 %:sta 50 %:iin korvattuun fossiiliseen polttoaineeseen verrattuna. Raportoinnin laadun tavoitellaan parantuvan samalla siten, että raportointivaatimuksista täytetään 50 %:n sijasta 90 %.

Huhtikuusta 2010 lähtien RFA aikoo muuttaa RTF-sertifioitujen biopolttoaineiden tukemisen CO₂-päästöporrastetuksi. Huhtikuusta 2011 lähtien RFA:n tavoitteena on edistää taloudellisesti vain RTFO:n mukaisten riittävän kestävyysvaatimusten mukaan tuotettuja biopolttoaineita.

Saksan ympäristöministeriö julkaisi elokuussa 2008 kriteeristön bioenergian kestäväälle globaalille käytölle (Umweltbundesamt, 2008). Bioenergiantuotannon

4. Polttoaineiden laatuun ja energiaverotukseen liittyviä yhteisösäännöksiä ja yleisiä lähtökohtia

ekologiselle sekä sosioekonomiselle kestävyydelle asetettuja vaatimuksia ei ole toistaiseksi sovellettu lainsäädäntöön.

4.9 Polttoöljy

Direktiivin 99/32/EY mukaan EU:n jäsenvaltioissa kevyen polttoöljyn rikkipitoisuus saa olla korkeintaan 0,1 paino-% 1.1.2008 lähtien, kun aiemmin rikkipitoisuuden raja-arvo oli 0,2 paino-%. Kevyen polttoöljyn rikkipitoisuuteen perustuvaa ympäristöveroa on toteutettu useissa Euroopan maissa ennen 0,1 paino-% rikkirajan voimaan tuloa. Ruotsissa on ollut vuodesta 1991 saakka voimassa nk. rikkivero. Alle 0,05 paino-% rikkiä sisältävästä kevyestä polttoöljystä ei kanneta rikkiveroa, joka on 27 SEK/m³ kullekin 1/10 paino-%:lle rikkiä (Skatteverket, www.skatteverket.se). Ruotsissa on saatavana lämmitysöljyjä, joiden rikkipitoisuus on alle 0,05 paino-% ja jopa alle 0,001 paino-% (Preem, www.preem.se). Belgiassa on tuettu veroporrastuksella alle 0,005 paino-% rikkiä sisältävää kevyttä polttoöljyä. Norjassa ei kanneta rikkiveroa alle 0,05 paino-% rikkiä sisältävästä kevyestä polttoöljystä. Tanskassa polttoöljyn rikkipitoisuus on alle 0,05 paino-%, ja saatavana on myös kevyttä polttoöljyä, jonka rikkipitoisuus on alle 0,005 p-% (CEN/TR 15738:2008).

Nykyaikaisissa työkoneissa käytetään kehittyntä moottoritekniikkaa, jonka vaatimuksia lämmitysöljy ei täytä. Monet työkoneiden valmistajat vaativatkin, että polttoaine täyttää dieselpolttoaineen EN590-standardin vaatimukset. Joissakin maissa kevyttä polttoöljyä käytetään työkoneiden polttoaineena, kun taas esimerkiksi Ruotsissa, Saksassa, Itävallassa, Italiassa, Portugalissa ja Italiassa on jo pitkään vaadittu dieselpolttoaineen käyttöä. Osassa näistä maista dieselpolttoaineen käyttöä työkoneissa on tuettu veroporrastuksin. Suomessa on saatavana kehittyneimpienkin työkone moottoreiden vaatimukset täyttävää rikitöntä moottoripolttoöljyä, jonka rikkipitoisuus on alle 0,005 paino-%. Kevyelle polttoöljylle, ml. moottoripolttoöljylle, ei kuitenkaan ole rikkipitoisuuteen tai muuhun laatuun perustuvaa veroporrastusta.

Suomessa lämmityksessä sekä kiinteästi asennetuissa dieselmoottoreissa ja dieselmoottorilla varustetuissa työkoneissa käytettävä biopolttoöljy on verotonta. Päivitetyn polttoaineiden laatudirektiivin mukaan työkoneissa käytettävän dieselpolttoaineen rikkirajaksi tulee 1.1.2011 alkaen 0,001 paino-%.

5. Veromallien tarkastelutyökalu

5.1 Yleistä

Selvitystyössä tarkasteltiin, miten nykyinen verotusjärjestelmä kohtelee eri polttoaine- ja autovaihtoehtoja ja miten polttoaineverojärjestelmää voitaisiin kehittää ympäristövaikutukset paremmin huomioivaksi.

Veromallien tarkasteluun kehitettiin laskentamalli. Mallia käytettiin sekä nykyisen verojärjestelmän analysointiin että vaihtoehtoisten veroratkaisujen tarkasteluun. Tarkasteluja tehtiin niin verokertymien kuin auton käytön kokonaiskustannusten kannalta. Henkilö- ja pakettiautojen autovero on jo muuttunut CO₂-perustaiseksi, ja ajoneuvovero muuttuu CO₂-perustaiseksi vuonna 2010. Polttoaineverotuksen muuttaminen selvemmin ympäristöominaisuudet huomioivaksi olisi luonnollista jatkoa tälle kehitykselle.

Veromallien tarkastelussa painopiste oli henkilöautoissa. Verotusmallien tarkastelussa on keskitytty seuraaviin verokomponentteihin:

- polttoaineen verokomponentit
 - perusvero
 - lisävero¹²
- ajoneuvoveron käyttövoimaverosuus.

Koska autoverotus on juuri muutettu CO₂-perustaiseksi ja koska sen ohjaava vaikutus on varsin voimakas, autovero ei kuulunut ensisijaisiin tarkasteluparametreihin. Lisäksi uusi autoveromalli on tekniikka- ja siten kilpailuneutraalina yleisesti mielletty onnistuneeksi ratkaisuksi autojen hiilidioksidiohjauksessa. Autovero on minimissään, 12,2 % CO₂-päästön ollessa 60 g/km tai alle. Maksimiarvon, 48,8 %, autovero saavuttaa CO₂-päästön ollessa 360 g/km tai yli. Jos

¹² Sähkön lisävero ei perustu CO₂-päästöihin vaan on puhdas energiaverokomponentti.

oletetaan, että auton veroton arvolisäveron sisältävä hinta on vakio 20 000 € autoveron ääripäät olisivat 2 800 ja 19 000 € ja verolliset auton hinnat vastaavasti 22 800 € ja 39 000 €

Ajoneuvoveron perusveron laskennassa käytettiin uutta CO₂-pohjaista ajoneuvoveroa. Ajoneuvoveron parametreja ei varioitu, koska sen komponentti on juuri muutettu myös tekniikkaneutraalisti hiilidioksidiperustaiseksi ja koska sen ohjaava vaikutus nykyverotasolla arvioitiin pieneksi laskennassa tarkasteluilla automalleilla (20–137 €/vuosi). Myös polttoaineiden ja sähkön huoltovarmuuskasvu on niin pieni, ettei sillä ole merkitystä tarkasteluissa.

Arvonlisäveron kautta kertyy verotuloja sekä auton hankinnasta että polttoaineiden ostoista. Auton ostosta kannettava arvonlisävero-osuus korostuu hankintahinnaltaan kalliissa sähköautoissa. Autoveroprosentti on sähköautossa minimissään, mutta auton veroton hinta on korkea ja siitä kannettava arvonlisävero nostaa sitä edelleen. Tarkasteluissa ei ole muutettu arvonlisäveroprosenttia, koska autoille ei voida EU-oikeudellisesti säätää normaalia 22 %:n verokantaa alemmaa veroprosenttia.

Perusajatuksena tarkasteluissa on, että polttoainevero jakautuu selvemmin kahteen komponenttiin, energiakomponenttiin (nykyinen perusvero) ja CO₂-komponenttiin (nykyinen lisävero). Lisäksi lähtökohtana on, että energiaverokomponentti on suhteessa todelliseen energian kulutukseen ja CO₂-komponentti todellisiin CO₂-päästöihin ja antaa siten mahdollisuuden CO₂-tehokkaiden biokomponenttien huomioimiseen.

5.2 Laskentamallin rakenne

Laskentamalli rakennettiin henkilöautolle. Ensin laskennat tehtiin tila-automaiselle Volkswagen Caddy -autolle, josta on pitempään ollut tarjolla Suomeen hinnoitellut bensiini-, diesel- ja maakaasuversiot. Caddyn päästöluokka on Euro 4, eikä dieselmallissa ole hiukkassuodatinta. Keväällä 2009 Suomessa tuli myyntiin myös Volkswagen Passat Variant 1,4 TSI EcoFuel -maakaasuversio, jonka saksalainen ADAC-autojärjestö on rankannut ympäristöystävällisimmäksi 893 autosta (<http://www.adac.de>). Passatin päästöluokka on bensiinikäyttöisenä Euro 4 ja maakaasu- ja dieselkäyttöisenä Euro 5. Dieselmallissa on varsinainen hiukkassuodatin. Lisäksi *Finnish Electric Vehicle Technology* (FEVT) on parhaana rakentamassa kymmenen akkusähköisen Volkswagen Passatin esisarjaa demonstraatiotarkoituksessa (Alatalo 2008). Lopulliset laskennat päädyttiin näistä syistä tekemään Passat Variantilla.

5. Veromallien tarkastelutyökalu

Bensiini-, diesel- ja maakaasuversioiden rinnalle muodostettiin molemmista autoista seuraavat kuvitteelliset versiot:

- etanoliauto (FFV)
- bensiinillä toimiva perushybridi (HEV)
- verkosta ladattava hybridi (PHEV)
- akkusähköauto (BEV).

Muiden vaihtoehtojen (mm. vedyn käyttö polttomoottoreissa, vetykäyttöiset polttokennoautot, dimetyylieetteri DME) on katsottu olevan niin kaukana tulevaisuudessa tai niiden merkitystä on pidetty niin vähäisenä, ettei niitä ole otettu mukaan tarkasteluihin. Niin kauan kun tiettyä uutta teknologiaa edustavien autojen kokonaislukumäärä on vähäinen, verotuskysymykset voitaisiin nykykäytännön mukaisesti hoitaa hakemuksesta valtiovarainministeriön erillispäätöksillä.

Koska Suomessa ei ole nestekaasun tankkausinfrastruktuuria, myös nestekaasu jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Nestekaasu on vähemmän kiinnostava vaihtoehto myös siitä syystä, ettei sille ole samanlaista luonnollista biovaihtoehtoa kuin biokaasu on maakaasulle.

Malli laskee pääomakustannuksista (sisältäen autoveron), polttoainekustannuksista sekä ajoneuvoverosta muodostuvat yhteiskustannukset. Kokonaiskustannukset määräävät sen, miten houkuttelevia eri vaihtoehdot ovat auton omistajan tai käyttäjän kannalta. Kaikkiin em. positioihin vaikutetaan myös veroratkaisuin. Toisaalta tuotteiden veroton hinta, johon kansallisilla päätöksillä ei voida vaikuttaa, on usein hyvin merkittävä tekijä niin uusissa autotyypeissä, esimerkiksi sähköautojen, kuin biopolttoaineissakin.

Myös huolto-, rengas- ja vakuutuskustannukset jätettiin tämän tarkastelun ulkopuolelle. Laskelmissa ei niin ikään ole otettu huomioon akkujen uusimiskustannuksia sähköä hyödyntävissä malleissa. Oletettavaa kuitenkin on, etteivät nykyiset akkupaketit kestä kahtatoista vuotta, joka on laskennassa käytetty aikajakso. Yhdysvalloissa Toyota Priuksen hybridijärjestelmän komponenttien, akkupaketti mukaan lukien, takuu-aika on kahdeksan vuotta tai 160 000 km (<http://www.toyota.com/prius-hybrid/warranty.html>). Alatalo (2008) on arvioinut, että sähköauton akkukustannus voisi nykytilanteessa olla jopa 7 €/100 km akkupaketin hinnan ollessa 20 000 €. Vuoteen 2025 mennessä kustannus voisi laskea tasolle 2 €/100 km akkujen hinnan laskiessa (oletus akkupaketin hinnasta 5 000 €) ja akkujen keston parantuessa.

Malli laskee myös verokertymät hankinnan arvonlisäverosta, autoverosta, energiaverosta (ml. energian arvonlisävero) ja ajoneuvoverosta. Ajoneuvoveron

osalta on käytetty vuonna 2010 käyttöön tulevaa CO₂-perustaista laskentaa. Verojen tarkastelumalli on tehty niin, että eri verokomponentteja voidaan muuttaa. Kuten edellä mainittiin, autoveron laskentakaava, ajoneuvoveron perusosan laskentamalli, huoltovarmuusmaksu ja arvonlisäveroprosentti pidettiin kuitenkin vakioina. Autoveroprosentti muuttuu luonnollisestikin autotyypin ja sen CO₂-päästöjen mukaan.

Lisäksi laskentamalli sisältää osion päästöjen ja päästöjen ulkoisten kustannusten arvioimiseksi. Tässä tarkastelussa pohjana ovat Euro 4- ja Euro 5-pakokaasumääräyksissä annetut säänneltyjen päästöjen raja-arvot. Laskentamalli soveltuu eri veromallien karkeaan arviointiin ja herkkyyštarkastelujen tekoon. Tässä esitetyt laskelmat koskevat Passat Variant -autoa.

5.3 Laskennassa käytetyt oletusarvot ja laskentaperiaatteet

5.3.1 Autojen hinnat

Vertailuun on mallisarjan sisällä pyritty valitsemaan likimain samantehoiset versiot. Passatin osalta tämä onnistuu 15 kW:n haarukassa. Kaupallisten versioiden hintoina on käytetty maahantuojan 1.4.2009 ilmoittamia autoverottomia hintoja, jotka sisältävät arvonlisäveron:

- bensiiniversio 25 320 €(118 kW, 186 g CO₂/km, Euro 4)
- dieselversio 27 050 €(103 kW, 148 g CO₂/km. Euro 5 hiukkas-suodattimella)
- maakaasuersio 29 080 €(110 kW, 124 g CO₂/km, Euro 5).

Kuvitteellisille vaihtoehdoille käytettiin seuraavia hintalisiä:

- FFV bensiiniversio veroton hintalisiä 500 € arvonlisäveron kanssa 610 €
- HEV bensiiniversio veroton hintalisiä 5 000 € arvonlisäveron kanssa 6 100 €
- PHEV bensiiniversio veroton hintalisiä 10 000 € arvonlisäveron kanssa 12 200 €
- BEV akkusähköversio veroton hintalisiä 20 000 € arvonlisäveron kanssa 24 400 €

Kaupallisissa HEV-autoissa (Honda Civic, Toyota Prius) hybriditekniikan hintalisiä (ilman arvonlisäveroa) on luokkaa 5 000 € *Plug-in*-akkupaketin hinnaksi on

5. Veromallien tarkastelutyökalu

arvioitu niin ikään 5 000 € (5 kWh a' 1 000 €/kWh, ajomatka sähköllä yhdellä latauksella 20–25 km). Näin PHEV-auto olisi 10 000 € tavallista bensiiniautoa kalliimpi (ilman mitään veroja). Akkusähköauton lisähinnan bensiiniversioon verrattuna on arvioitu olevan 20 000 €

Hybridi- ja sähköautoversioiden yllä mainittujen hintojen katsotaan kuvaavan hintatasoa tänä päivänä, jolloin sarjat ovat vielä pieniä. Akkuteknologian kehitys ja sähköautojen tuotantomäärien kasvu ajan myötä merkinnevät pienempää hintaeroa perinteiseen tekniikkaan verrattuna.

Autoveroprosentteja määritettäessä kuvitteellisille vaihtoehdoille käytettiin seuraavia CO₂-arvoja:

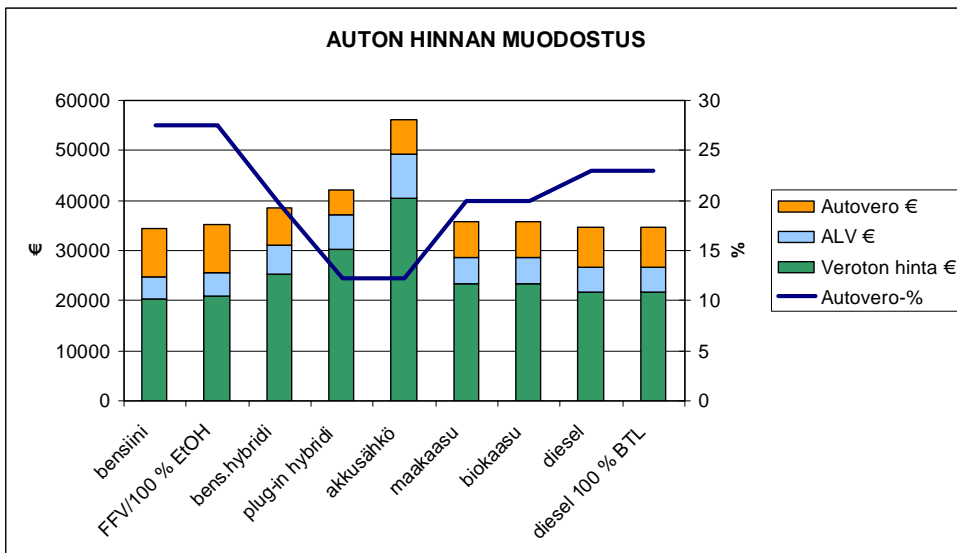
- FFV = bensiiniauton arvo 186 g CO₂/km
- HEV = bensiiniversio * 0,65 = 121 CO₂/km
- PHEV = 48 CO₂/km (poltto moottoriosuus 40 % ja sähkö 60 %, jolloin CO₂-päästö on 40 % HEV:in arvosta, ts. 0,4 * 121 = 48 g/km)
- BEV = 0 g CO₂/km.

Verotukseen liittyvissä laskelmissa sähkön käyttö autossa on katsottu CO₂-vapaaksi. Elinkaaritarkasteluissa sähkön tuotannon CO₂-päästö on kuitenkin huomioitu.

Normaalisti autovero lasketaan jälleenmyyntihinnasta. Mallin kuvitteellisille vaihtoehdoille ei ole käytettävissä jälleenmyyntihintoja, joten hintalaskelmat tehtiin ”takaperin” autoverottomista mutta arvonlisäveron sisältävistä hinnoista. Laskelmien oikeellisuus tarkastettiin myynnissä olevien mallien myyntihintojen ja veromäärien avulla. Kokonaishintoina käytettiin:

• bensiini	34 346 €
• diesel	34 567 €
• maakaasu	35 887 €
• FFV	35 188 €
• HEV	38 541 €
• PHEV	42 228 €
• BEV	56 123 €

Kuvassa 5.1 on hinnan eri komponentit ja autoveroprosentti. Autoveroprosentti on 12,2–27,6 %. Tässä tapauksessa porrastettu autovero ei riitä kompensoimaan sähköä hyödyntävien autoversioiden kalliimman verottoman hinnan vaikutusta kuluttajahintaan.



Kuva 5.1. Laskennassa käytettyjen autoversioiden hinnan muodostus.

5.3.2 Pääomakustannusten laskenta

Pääomakustannukset laskettiin annuiteettimenetelmällä. Laskenta tehtiin seuraavilla oletuksilla:

- pitoaika 12 vuotta
- jäännösarvo 0 €
- korkokanta 5 %.

Sopivaksi laskentajaksoksi pääteltiin 12 vuotta. Suomalaisen autokannan keski-ikä on noin 11 vuotta. 12 vuotta vanhan henkilöauton rahallinen arvo on hyvin pieni, joten laskentaa yksinkertaistettiin asettamalla jäännösarvoksi 0 €

5.3.3 Polttoaineen tai energian kulutus ja polttoainevaihtoehdot

Bensiini- ja dieselpersioille on käytetty suoraan valmistajan ilmoittamaa litramääristä yhdistettyä kulutuslukemaa. Oletus on, että nämä arvot on annettu hiilivetypolttoaineelle ilman biokomponentteja. Maakaasuversiolle valmistaja on ilmoittanut sekä tilavuus- että massapohjaiset kulutusarvot. Laskennassa lähtökohtana on käytetty massapohjaista arvoa. Valmistajan ilmoittamaa massapohjaista arvoa on säädetty hieman alaspäin, koska Suomessa käytössä oleva maa-

5. Veromallien tarkastelutyökalu

kaasu on käytännössä puhdasta metaania. Tämä on tehty siten, että polttoaineen kulutuksesta laskettu arvo vastaa autolle ilmoitettua mitattua CO₂-päästöarvoa (4,5 kg/100 km * 50 MJ/kg * 56 g CO₂/MJ= 126 g CO₂/km).

Laskennassa myynnissä oleville autoille on käytetty seuraavia polttoaineenkulutusravvoja (suluissa energiankulutus):

- bensiiniversio 7,8 l/100 km (2,5 MJ/km)
- dieselpersio 5,7 l/100 km (2,0 MJ/ km)
- maakaasuersio 4,5 kg/100 km (2,3 MJ/km).

Caddyssa maakaasuersion energiankulutus on hieman suurempi bensiiniversioon verrattuna. Tämä johtuu maakaasuersion hieman suuremmasta painosta ja siitä, että bensiiniversio moottorin tilavuus on 1,6 litraa ja hieman tehokkaamman maakaasuersion 2,0 litraa. Passatin tapauksessa tilanne on toisin päin. Sekä bensiini- että maakaasumallissa on ahdettu moottori, mutta maakaasuersion iskutilavuus on pienempi kuin bensiinimoottorin, 1,4 l vastaan 1,8. Tehoeroa on kuitenkin vain 8 kW.

FFV-auton on ajateltu käyttävän sataprosenttista etanolia, koska tarkastelu tehdään ensisijaisesti polttoainelähtöisesti. Litramääräinen etanolin kulutus on laskettu suoraan bensiinin ja etanolin lämpöarvoeroista. Todellisuudessa FFV-autoja ajetaan E85-polttoaineella, jossa on vähintään 15 % bensiiniä. Vastaavasti yksi laskentavaihtoehto on sataprosenttisesti BTL:ää (synteettistä bioperäistä dieseliä) käyttävä dieselauto. BTL:n tiheys on hieman tavanomaista dieseliä alhaisempi, jolloin litramääräinen polttoaineen kulutus on vastaavasti suurempi.

Sekä etanolille että BTL-dieselille käytetään perustapauksen energiankulutusarvoa. Lukuarvot etanolille ja BTL:lle ovat:

- etanoli 11,9 l/100 km (2,5 MJ/km)
- BTL-diesel 6,0 l/100 km (2,0 MJ/km).

Perushybridin (HEV) polttoaineen kulutukseksi on oletettu 65 % bensiiniversio arvosta (ks. luku 5.3.1). Akkusähköauton energiankulutukseksi taas on oletettu 40 % bensiiniversio arvosta. Tällöin sähkön kulutus on 0,28 kWh/km. PHEV-hybridi on muodostettu siten, että 40 % ajetaan polttomoottorilla HEV:n energian kulutuksella ja 60 % sähköllä akkusähköauton energian kulutuksella. Lukuarvot ovat:

- HEV 5,1 l/100 km (1,6 MJ/km)
- PHEV 2,0 l bensiiniä ja 17 kWh sähköä/100 km (1,2 MJ/km)
- BEV 28 kWh/100 km (1,0 MJ/km).

Alkylaattibensiiniä ei sisällytetty tarkasteluun, koska se on tarkoitettu käytettäväksi pienmoottoreissa, ei autoissa.

5.3.4 Polttoaineen tai energian hinta

Laskennassa on käytetty bensiinin, dieselin ja maakaasun 1.4.2009 vallinneita jakeluasemahintoja:

- bensiini 1,20 €/l (veroton hinta 0,36 €/l)
- diesel 0,95 €/l (veroton hinta 0,41 €/l)
- maakaasu (CNG) 1,07 €/kg (veroton hinta 0,85 €/kg).

Paineistetun maakaasun veroton bensiiniekvivalenttihinta on 0,54 €/l, eli 1,5-kertainen bensiiniin verrattuna. Sähkön hintana veroineen on käytetty arvoa 0,12 €/kWh.

Biopolttoaineiden verottomina arviohintoina peruslaskennassa on käytetty:

- etanoli 0,50 €/l
- BTL-diesel 0,80 €/l
- biokaasu 0,88 €/kg.

Näistä johdetut verolliset pumppuhinnat nykyveroilla ovat etanolille 1,37 €/l ja BTL-dieselille 1,42 €/l. Paineistetun puhdistetun biokaasun pumppuhinnaksi on oletettu maakaasun hinta. Koska biokaasu on kokonaan vapaa energiaverosta, biokaasun veroton hinta olisi näin arvioiden 0,88 €/kg (arvioitu hieman maakaasua kalliimmaksi). Biokomponenttien hinnalle tehtiin lisäksi herkkyystarkasteluja.

5.3.5 Vuotuinen ajosuorite

Perustapauksessa vuotuiseksi ajosuoritteeksi kaikille autotyypeille oletettiin 17 000 km, joka on lähellä henkilöautojen keskimääräistä suoritetta. Käytännössä suorite vaihtelee autotyypin mukaan. Bensiiniautoilla ajetaan keskimäärin vähemmän, dieselautoilla enemmän. Akkusähköautolle 17 000 km vuodessa olisi varsin suuri mutta kuitenkin mahdollinen kilometrimäärä. Päivää kohti jaettuna 17 000 km vuodessa merkitsee 47 km:ä päivässä, ja tämä matka voidaan ajaa yhdellä latauskerralla.

5. Veromallien tarkastelutyökalu

5.3.6 Ajoneuvovero

Laskennassa käytettiin vuonna 2010 käyttöön tulevaa CO₂-päästöjen mukaan porrastettua ajoneuvoveron perusosaa. Nykytilannetta kuvaavassa perustapauksessa dieselautoilla, PHEV-hybridillä ja akkusähköautolla on lisäksi käyttövoimavero. Laskennassa käytetty arvo on dieselmallin painon mukaan määrätty 538 €/vuosi.

5.3.7 CO₂-päästöjen huomiointi

Nykyjärjestelmässä biokomponentteiltakin, lukuun ottamatta biokaasua, peritään bensiinin tai dieselin CO₂-lisävero. Tässä tarkastelussa käytetään nykytilannetta kuvaavassa perustapauksessa kiinteitä CO₂-laskenta-arvoja (bensiinillä ja dieselillä CO₂-hinta 20,41 €/tonni, vastaava veron määrä näitä korvaavilta komponenteilta, maakaasulla 10 €/tonni). Vaihtoehtotapauksissa käytetään kunkin polttoaineen todelliseen CO₂-päästöön suhteutettua korotettua arvoa (CO₂-hinta 50 €/tonni, herkkyystarkasteluissa myös 100 €/tonni). Parhaimpien biopolttoaineiden osalta on lisäksi tarkasteltu 100 %:n huojennusta lisäverosta.

Laskennassa on mukana kolme biopolttoainevaihtoehtoa: etanoli, BTL-diesel ja biokaasu. Näiden lisävero tai CO₂-verokomponentti on laskettu sillä oletuksella, että elinkaaren yli lasketut CO₂-ekvivalenttipäästöt vähenevät 80 %, eli on kyse CO₂-tehokkaista biopolttoainevaihtoehdoista. Etanoli voisi tällöin olla esimerkiksi kotimaista jäteperäistä etanolia. BTL-diesel voisi puolestaan olla metsäteollisuuden tähteistä ja sivutuotteista valmistettua polttoainetta, ja biokaasu olisi kaatopaikalta tai vedenpuhdistamolalta talteen kerättyä kaasua.

Jatkossa CO₂-taseiden arvioinneissa voitaisiin käyttää RES-direktiivissä ja polttoaineiden laatudirektiivissä lueteltuja oletusarvoja eri polttoainevaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästöjen vähenemille.

RES-direktiivi sallii, että tietyt CO₂-tehokkaat biopolttoaineet lasketaan velvoitteisiin kertoimella kaksi. Direktiivin mukaan jätteistä, tähteistä, muusta kuin ruokakasvien selluloosasta ja lignoselluloosasta tuotetuilla biopolttoaineilla on kaksinkertainen painoarvo muihin biopolttoaineisiin nähden arvioitaessa sitä, kuinka mahdolliset kansalliset uusiutuvan energian velvoitteet täyttyvät liikenteessä. Laskennassa on oletettu, että tuplalaskettaville komponenteille voitaisiin soveltaa 100 %:n huojennusta CO₂-verokomponentista.

Vaihtoehtoisten veromallien tarkasteluissa litramääräiset perusverot (energia) on suhteutettu lämpöarvoihin ja lisäverot (CO₂-vero-osuudet) todellisiin CO₂-päästöihin.

5.3.8 Päästöjen arvottaminen ja lähipäästöjen huomiointi

Päästöjen ulkoiset kustannukset voidaan arvottaa laskennallisesti. Maaliskuussa 2009 hyväksyttiin julkisen sektorin ajoneuvo- ja kuljetuspalveluhankintoja koskeva *Clean and energy efficient vehicles* -direktiivi (2009/33/EY). Direktiivissä johtoajatuksena on elinkaaren laskennallisten energia- ja päästökustannusten (ulkoisten kustannusten) käyttö yhtenä valintaperusteena julkisen sektorin ajoneuvohankinnoissa. Direktiivissä on taulukoitu päästöhaittojen laskennassa käytettävät kertoimet. Taulukossa 5.1 on esitetty sekä direktiivissä esitetyt haitta-arvot että vertailun vuoksi myös muista lähteistä kerättyjä haitta-arvoja.

Taulukko 5.1. Pakokaasujen haitta-arvoja €/tonni. Arvot kaupunkiympäristölle, paitsi ajoneuvojen hankintaa koskevassa direktiivissä 2009/33/EY ei määritelty. BeTa-arvoissa kaupungin kokona on joko 500 000 tai 1 000 000 asukasta (Nylund 2006, 2009/33/EY). Yksikkönä €/tonni.

	CO	HC	NMHC	NO _x	PM	CO ₂
2009/33/EY	-	-	1 000	4 400	87 000	30–40
Tiehallinto	29	62	-	1 100	122 000	34
ADEME	3,5	-	2 000	8 200	126 900	46
BeTa 1 M	-	-	2 100	4 200	247 500	-
BeTa 0,5 M	-	-	2 100	4 200	165 000	-
Päästökauppa	-	-	-	-	-	10–30

Direktiivissä hiukkasille on käytetty alhaisia ja typen oksideille keskitason haitta-arvoa. Hiukkasten haitta-arvo vaihtelee yleensä tarkasteltavan ympäristön mukaan: isojen kaupunkien keskustoissa hiukkasten haittavaikutukset ovat suurimmillaan.

Parafiinisen dieselpolttoaineen ja metaanin voidaan kiistatta osoittaa vähentävän lähipäästöjä tavanomaisiin polttoainelaatuihin verrattuna. Tämä pätee erityisesti vanhempaan raskaaseen kalustoon (Euro II, Euro III). Uusimmat Euro II-tasoiset bussit rekisteröitiin syksyllä 2001. Nämä autot hyväksytään pääkaupunkiseudun bussiliikenteessä 16 vuotta vanhoina vielä 2017.

5. Veromallien tarkastelutyökalu

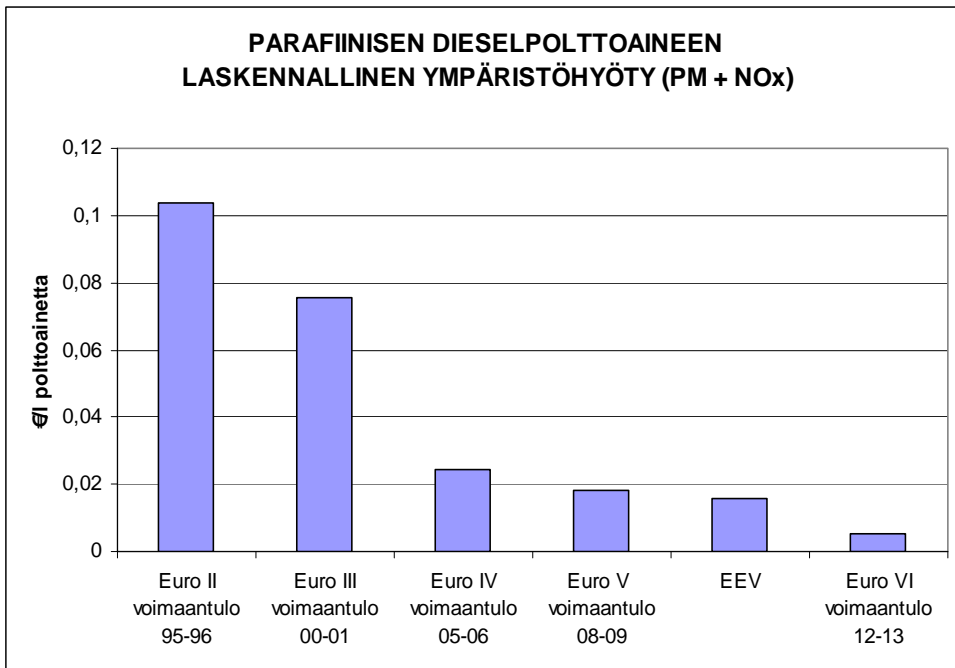
Kuvassa 5.2 on esimerkki laskennallisesta päästöhyödystä (hiukkaset + NO_x) eri päästöluokkia edustavissa busseissa. Haitta-arvoina on käytetty taulukon 5.1 maksimiarvoja, eli 247 500 €/t hiukkasille ja 8 200 €/t typen oksideille. Tämä on perusteltua kun tarkastellaan tilannetta esimerkiksi Helsingin ydinkeskustan kannalta. Esimerkki on puhtaalle parafiiniselle dieselpolttoaineelle, joka vähentää hiukkaspäästöjä noin 30 % ja NO_x-päästöjä noin 10 % auton päästöluokasta riippumatta (ks. raportin luku 9.6). Päästöhyödyt on laskettu kulutettua polttoainelitraa kohti.

Esimerkin mukaan parafiinisen dieselpolttoaineen laskennallinen ympäristöhyöty on Euro II ja Euro III -autoissa noin 0,10 €/polttoainelitraa kohti tavanomaiseen rikittömään dieselpolttoaineeseen verrattuna. Vastaavasti voidaan osoittaa, että maakaasuun (metaaniin) siirryttäessä päästöhaitta alenee noin 0,20 €/loe (polttoaine-ekvivalenttina).

Tämän vuoksi parafiiniselle dieselpolttoaineelle voisi olla perusteltua myöntää laatupremio, joka olisi suuruusluokaltaan 0,10 €/l. Metaanin premio voisi puolestaan olla noin 0,20 €/loe ja vastata likimäärin 0,25 €/kg metaania. Jos laatuporrastus otettaisiin käyttöön, se voisi olla tasaisesti aleneva ja poistua vuosina 2020–2025. Tuolloin autokalustossa ei nimittäin ole juuri enää suuripäästöisiä autoja (ks. kuva 4.1).

Jos parafiiniselle dieselpolttoaineelle myönnetään laatuporrastus, ehtona tulisi olla, ettei polttoaine saa lisätä elinkaaren CO₂-päästöjä raakaöljypohjaiseen perinteiseen dieseliin verrattuna. Tällaisella lisämäärittelyllä tuettaisiin epäsuorasti hyvälaatuisia biopolttoaineita ja välttyttäisiin verotuen myöntämiseltä esimerkiksi kivihiiileen perustuville synteettisille polttoaineille. Vaihtoehtoisesti elinkaaren CO₂-päästöjä lisääville polttoainevaihtoehdoille tulisi kohdistaa koko ketjun CO₂-päästöä vastaava lisävero.

Nykytilanteessa etanolille on hankala perustella laatuporrastusta. Bensiiniä korvatessaan korkeaseosteinen etanoli voi alentaa NO_x-päästöjä sekä hiukkaspäästöjä dieseliä korvatessaan ja lisäaineistettuna. Etanolipolttoaine suurina pitoisuuksina lisää kuitenkin kylmäkäytön päästöjä ja varsinkin haitallisia aldehydipäästöjä. Pieninä pitoisuuksina etanoli lisää haihtumapäästöjä (VOC). St1 Biofuels on käynnistänyt VTT:n kanssa yhteisen hankkeen, joka tähtää Suomen olosuhteisiin optimoidun korkeaseosteisen FFV-autojen etanolipolttoaineen kehittämiseen. Tavoitteena on nimenomaan kylmäpäästöjen vähentäminen, joten korkeaseosteisen etanolin tilanne voi siis muuttua.



Kuva 5.2. Parafiinisen dieselpolttoaineen (100 %) laskennallinen ympäristöhyöty (€/litra polttoainetta) bussikalustossa.

Myöskään perinteinen esteröity biodiesel ei yksiselitteisesti vähennä lähipäästöjä. Näin ollen etanolin ja perinteisen biodieselin ympäristöedut rajoittuvat pääsääntöisesti tuotantotavasta riippuvaan CO₂-vähennykseen.

Henkilöautoissa pakokaasujen puhdistustekniikka on kehittyneempää kuin raskaassa kalustossa, ja tästä syystä polttoaineesta johtuvia päästövähennyksiä on hankalampi osoittaa toteen. Lukuun ottamatta dieselhenkilöautoja, joissa ei ole hiukkassuodatinta, CO₂-päästöt dominoivat yhteenlaskettuja päästökustannuksia.

Mikäli uusi ajoneuvotekniikka tai uudet polttoainevaihtoehdot tuovat markkinoille uusia lähipäästöjä merkittävästi vähentäviä vaihtoehtoja, nekin tulisi huomioida vastaavasti laatuporrastuksessa.

Pienmoottoribensiini vähentää pienmoottoreiden lähipäästöjä. Pienmoottoribensiiniä ei kuitenkaan käytetä autoissa, joissa sen tuomat edut olisivat kehittyneen pakokaasujen jälkikäsittelytekniikan takia pienmoottorikäyttöä vähäisemmät. Tämän vuoksi pienmoottoribensiiniä ei ole tarkasteltu veromallilaskennassa.

5. Veromallien tarkastelutyökalu

5.3.9 Sähköautojen huomiointi

Sähköauton energiankulutus on selvästi polttomoottoriautoa alhaisempi. Jos verotuksessa siirrytään energian käytön verotukseen fisikaalisen verotuksen sijaan, sähköautot hyötyvät muutoksesta. Sähköstä ei nykyjärjestelmässä kanneta CO₂-päästöihin perustuvaa verokomponenttia, vaikka *lisävero* on terminä käytössä. Myöskään laskentamallissa sähkön käytölle autoissa ei kohdisteta CO₂-veroa, koska sähkön tuotanto on päästökaupan piirissä. Laskennan perustapauksessa liikennepolttoaineille käytetään CO₂-hintana 50 €/tonni, joka on selvästi suurempi kuin CO₂-päästöoikeuksien hinta päästökaupassa (10–30 €/t). Näin ollen sähköauto saa etua alhaisen energiankulutuksensa lisäksi myös varsinaisia polttoaineita alhaisemman CO₂-maksutaakan ansiosta.

5.4 Henkilöautojen yksinkertaistettu päästötarkastelu

Osana laskentaa laadittiin yksinkertaistettu malli päästöjen tarkasteluun. Mallin lähtökohtana ovat Euro 4- ja Euro 5 -päästöluokkien mukaiset päästöjen raja-arvot. Säännöksissä bensiini- ja dieselautoille on omat raja-arvonsa. Laskenta tehtiin seuraaville päästökomponenteille (suluissa komponentille käytetty haitta-arvo):

- hiilidioksidi CO₂ (50 €/t)
- typen oksidit NO_x (8 200 €/t)
- hiukkaset PM (247 500 €/t)
- ei-metaani hiilivedyt NMHC (2 000 €/t).

Bensiinille ja tavanomaiselle dieselpolttoaineelle käytetään suoraan Euro-luokkien raja-arvoja. Hybrideille käytetään bensiinin kulutukseen suhteutettuja arvoja (kertoimet HEV 0,65 ja PHEV 0,26). Euro 5 -määräyksissä suoraruiskutus-bensiinautoille on hiukkasraja, joka on sama kuin Euro 5 -hiukkasraja dieselautoille (0,005 g/km). Tätä arvoa on käytetty laskennassa referenssinä myös Euro 4 -luokassa. Hiilivetyjen Euro-raja-arvot ovat kokonaishiilivedyille (HC). Tarkastelussa on oletettu, että bensiinin, etanolin ja dieselin päästöt ovat kokonaisuudessaan ei-metaani-hiilivetyjä (NMHC), ts. että HC on yhtä kuin NMHC. Maa- ja biokaasun NMHC-osuus on pieni.

Polttoainekohtaisesti raja-arvoihin on käytetty kertoimia kuvaamaan eri polttoaineiden todellista suorituskykyä. Käytetyt kertoimet on esitetty taulukossa 5.2.

Taulukko 5.2. Polttoaine- ja tekniikkakohtaiset päästöjen skaalauskerroimet.

Tekniikka	NO _x -kerroin	PM-kerroin	NMHC-kerroin
Bensiini	1	1	1
Etanoli	0,8	1	3
HEV	0,65	0,65	0,65
PHEV	0,26	0,26	0,26
EV	0	0	0
Maakaasu	1	0,5	0,25
Biokaasu	1	0,5	0,25
Diesel	1	1	1
BTL	0,9	0,7	0,5

Bensiinillä ja perusdieselillä kertoimet ovat siis 1. Etanolin on arvioitu alentavan NO_x-päästöjä 20 %. Suuret aldehydipäästöt on huomioitu käyttämällä etanolille NMHC:lle kerrointa 3. Maa- ja biokaasun PM-kerroin on 0,5 ja NMHC-kerroin 0,25. BTL:n NO_x-kerroin on 0,9, PM-kerroin 0,7 ja NMHC-kerroin 0,5 (vrt. kuva 5.2 ja luku 9.6).

CO₂-tarkastelu kattaa koko elinkaaren. Yksinkertaistetussa tarkastelussa kaikkien fossiilisten polttoaineiden (bensiini, diesel, maakaasu), loppukäytön CO₂-päästöjen osuus on 85 % koko polttoaineketjun CO₂-päästöistä. Elinkaaren CO₂-päästöt on siis muodostettu jakamalla pakoputkesta mitattu arvo luvulla 0,85 (bensiini $186/0,85 = 219$ g/km, diesel $148/0,85 = 174$ g/km ja maakaasu $124/0,85 = 146$ g/km) polttoaineketjun alkupään päästöjen huomioimiseksi. Biopolttoaineiden (CO₂-tehokkaat etanoli, biokaasu, BTL) on oletettu alentavan elinkaaren CO₂-päästöjä 80 % fossiilisiin vaihtoehtoihin nähden.

Sähkön tuotannon CO₂-päästönä on käytetty 170 g CO₂/kWh, joka vastaa suomalaisen sähkön tuotannon keskiarvoa (Leskelä 2007). Keskimääräiseksi siirtöhäviöiksi on arvioitu 5 %, ja laskennassa käytetty arvo on siten 179 g CO₂/kWh.

Kuvassa 5.3 on kilometriä kohti lasketut päästöhaitat Euro 4 -autoille ja kuvassa 5.4 Euro 5 -autoille. Volkswagen Caddy on Euro 4 -tasoinen auto ilman hiukkassuodatinta. Volkswagen Passatin maakaasu- ja dieselversiot ovat Euro 5 -tasoisia, ja dieselmallissa on varsinainen hiukkassuodatin. Euro 4 -arvoilla laskevien dieselauto on ympäristölle haitallisin; Euro 5 -arvoilla bensiiniauto on haitallisin. Euro 4 -autoilla laskennallinen kokonaishaitta on 0,2–1,7 cnt/km (akku-sähkö–diesel), Euro 5 -autoilla 0,2–1,3 cnt/km (akku-sähkö–bensiini). Suurin

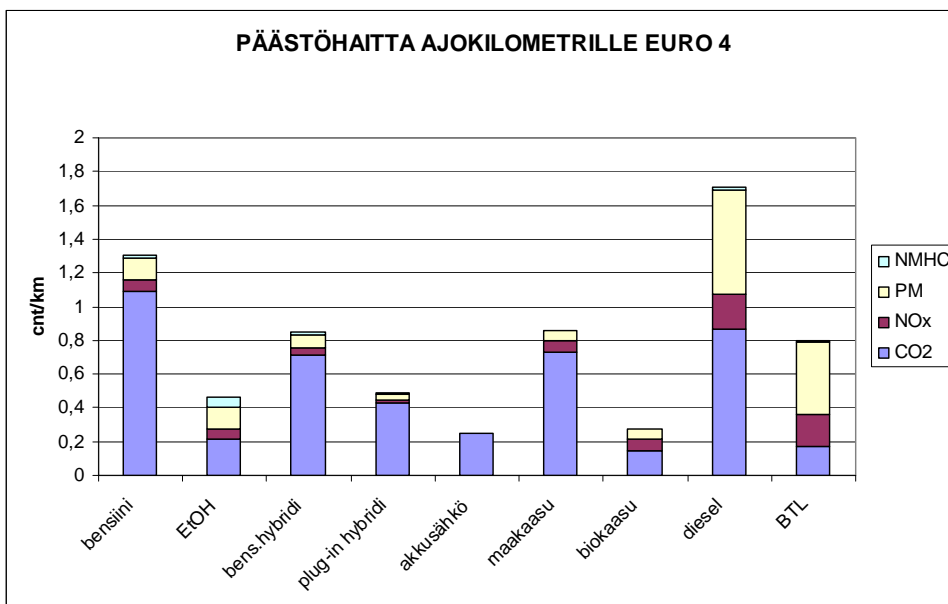
5. Veromallien tarkastelutyökalu

ero Euro-luokkien välillä syntyy dieselautojen hiukkashaitasta. Haitta on 0,6 cnt/km Euro 4 -autolla ja vain 0,1 cnt/km Euro 5 -autolla.

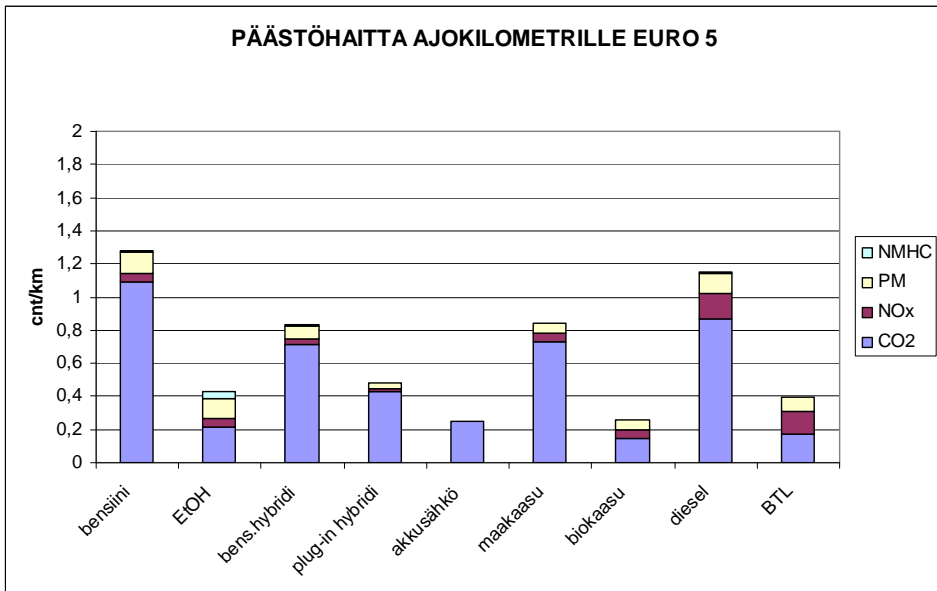
CO₂-haitan osuus kokonaishaitasta on 22–100 % Euro 4 -luokassa (BTL-akkusähkö) ja 44–100 % Euro 5 -luokassa (BTL-akkusähkö). CO₂-haitan osalta sähkö ja CO₂-tehokkaat biopolttoaineet antavat seuraavanlaiset tulokset:

- biokaasu 0,15 cnt/km
- BTL 0,17 cnt/km
- etanoli 0,22 cnt/km
- sähkö 0,25 cnt/km.

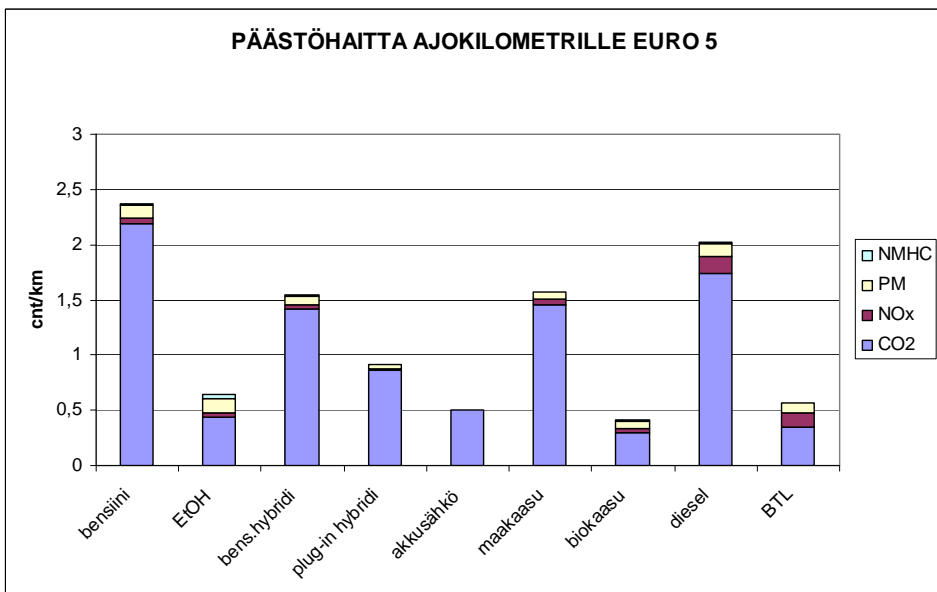
Euro 5 -tasoisilla autoilla akkusähkö ja biokaasu antavat lähes saman kokonaishaitan: sähköllä 0,25 cnt/km ja biokaasulla 0,26 cnt/km. Etanolilla ja BTL:llä kokonaishaitta on 0,4 cnt/km. Kuvassa 5.5 on vielä tarkasteltu Euro 5 -autojen kokonaishaittaa käyttämällä CO₂-haitta-arvona 100 €/t. Tässä tarkastelussa CO₂-komponentti dominoi lähes täysin.



Kuva 5.3. Laskennallinen päästöhaitta kilometrille Euro 4 -tasoisilla autoilla.



Kuva 5.4. Laskennallinen päästöhaitta kilometrille Euro 5 -tasoisilla autoilla.

Kuva 5.5. Laskennallinen päästöhaitta kilometrille Euro 5 -tasoisilla autoilla. CO₂-haitta-arvona 100 €/tonni.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

6.1 Yleistä

Laskennassa tutkittiin niin nykyistä verojärjestelmää kuin mahdollisuuksia säättää järjestelmää ympäristövaikutukset paremmin huomioivaksi. Tässä esitetyt mallit eivät ole varsinaisia suosituksia vaan esimerkkejä siitä, miten eri parametrien valinnoilla voidaan vaikuttaa kokonaisuuteen. Laskenta on tehty henkilöautokalustolle, ja se osoittaa, että tässä ajoneuvoryhmässä verotusta voidaan tasata tietyin objektiivisin toimin.

Suurimmat haasteet liittyvät dieselpolttoaineeseen. Jos järjestelmää tasataan henkilöautojen osalta, saattaa tällä olla heijastumia raskaaseen hyötyliikenteeseen. Tilanne korostuu senkin takia, että vain pieni osa (tällä hetkellä vajaa 30 %) dieselpolttoainesta kulutetaan henkilöautoissa. Suomessa dieselpolttoainetta verotetaan tällä hetkellä tuntuvasti bensiiniä lievemmin. EU:n komissio tavoittelee bensiinin ja dieselpolttoaineen minimiverotasojen yhtenäistämistä.

Henkilöautojen laskennassa tarkasteltiin noin kymmentä erilaista, osittain toistensa päälle rakentuvaa veromallia polttoaineverojen ja käyttövoimaveron osalta, kunnes päädyttiin tässä raportissa tarkemmin esitettyihin veromalleihin. Laskennat tehtiin sekä Volkswagen Caddyille että Volkswagen Passat Variantille. Tässä luvussa tarkastellaan kuitenkin vain Passat Variantille laskettuja esimerkkejä. Arviointi aloitettiin nykytilanteen mukaisesta verotuskäytännöstä. Nykymalli kohtelee eri polttoainevaihtoehtoja varsin vaihtelevasti, ja siinä on selviä epäkohtia biokomponenttien osalta. Lähtökohtina vaihtoehtoisten mallien tarkasteluissa olivat muun muassa seuraavat asiat:

- eri polttoaine- ja energiavaihtoehtojen tasapuolinen kohtelu
- fiskaalisten verojen suhteuttaminen energiaan
- CO₂-verokomponentin suhteellisen osuuden kasvattaminen
- lähipäästöjen huomioiminen polttoaineiden verotuksessa

- polttoaineverojen ja käyttövoimaveron eri kombinaatiot
- vaikutukset kotimaiseen biopolttoainetuotantoon.

Oletusarvona oli lisäksi, etteivät mahdolliset muutokset vaikuta merkittävästi verokertymiin.

Nykyymallille laadittiin (nykytilanne A) kolme vaihtoehtoista veromallia:

- ”tasamalli” B (kaikilla sama energiasisältöön suhteutettu perus/energiavero, lisävero/CO₂-vero todellisen CO₂-kuormituksen mukaan)
- ”ympäristömalli C” (kuten tasamalli, lisäksi laatuporrastus BTL-dieselille ja metaanille, ”tuplalaskettavat” biopolttoaineet kokonaan ilman lisä- tai CO₂-veroa)
- ”sovitettu ympäristömalli D” (C:n veroprofiili mutta toteutettuna polttoaineverojen ja käyttövoimaveron yhdistelmällä).

Perustapauksessa polttoaineverojen osalta on käytetty nykyisin käytössä olevia termejä *perusvero* ja *lisävero*. Vaihtoehtoisissa malleissa nämä on korvattu termeillä *energiavero* ja *CO₂-vero*.

Vaihtoehtoista on esitetty kolme kuvaa. Luvut ovat ajokilometriä kohti.

1. polttoaineaineverojen ja ajoneuvoveron (perusvero + käyttövoimaveron) yhteenlaskettu kertymä
 - verottajan näkökulma
 - polttoaineen arvonlisävero jätetty pois, jotta tarkastelu olisi hintaneutraali.
2. verollinen polttoaine- tai energiakustannus ja ajoneuvovero (perusvero + käyttövoimaveron)
 - käyttökustannukset kuluttajan näkökulmasta.
3. kokonaiskilometrikustannus, joka muodostuu auton hankinnan kustannuksista, polttoaineesta (energiasta) ja vuotuisesta ajoneuvoverosta (perusvero + käyttövoimaveron)
 - kokonaiskustannukset kuluttajan näkökulmasta.

Oletusarvio vuosisuoritteesta on 17 000 km. Ajokilometrille kohdistetut arvot katsottiin havainnollisemmiksi kuin verokertymä tai kustannukset vuositasona.

Nykytilanteessa käyttövoimaveron peritään ajoneuvoilta, joita käytetään muulla voimalla tai polttoaineella kuin moottoribensiinillä (ei koske busseja). Käyttö-

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

voimavero on alun perin otettu käyttöön tasaamaan bensiini- ja dieselpolttoisten henkilöautojen verokertymiä, kun dieselpolttoaineessa on käytetty bensiiniä alhaisempaa veroastetta raskaan kaluston polttoainekustannusten hillitsemiseksi. Kuorma-autoissa käyttövoimavero on pieni suhteessa polttoainekustannuksiin, ja sillä täytetään ns. vinjettidirektiivin vaatimukset. Ihannetilanteessa verotus hoidettaisiin ilman käyttövoimaveroa. Tällä hetkellä esimerkiksi sähkön ja maakaasun (maakaasu vapautettu käyttövoimaverosta biokaasun tapaan) verotus käyttökohteen mukaan ei ole mahdollista, joten ideaaliratkaisuun pääseminen on käytännössä mahdotonta. Sähkön tilanne saattaa muuttua älykkäiden lataus- ja sähkömittausjärjestelmien tullessa markkinoille.

Liikenne- ja viestintäministeriön maaliskuussa 2009 julkaisemassa liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittisessa ohjelmassa (ILPO) vuosille 2009–2020 on maininta liikenteeseen liittyvien maksujen mahdollisesta käyttöönotosta. ILPON mukaan liikennesektorille kohdistuvia maksuja voisivat olla esimerkiksi (suurten) kaupunkiseutujen ruuhkamaksut tai tietyille yksittäiselle tielle tai tieverkon osalle asetettava tienkäyttömaksu. Maksujen eli tienkäyttöverojen ideana on hinnoitella teiden käyttö siten, että perittävät verot kattaisivat kaikki muille tienkäyttäjille ja yhteiskunnalle aiheutetut kustannukset (ns. yhteiskuntataloudelliset rajakustannukset). Yleisen tieverkon osalta järjestelmät vaatisivat ajoneuvojen paikantamisen esimerkiksi satelliittijärjestelmien avulla ja varsin monimutkaisen laskentajärjestelmän. Käsillä olevassa tarkastelussa on rajoitettu ajoneuvoihin liittyviin veroihin ja polttoaineiden verotukseen.

6.2 Nykytilanne A

- Polttoainevero on kytketty ympäristövaikutuksiin heikosti.
- Nykyjärjestelmä suosii kaasumaisia polttoaineita mutta syrjii etanolia.
- Tilavuuspohjaiset veroerät ovat epäoikeudenmukaisia biokomponenteille, varsinkin etanolille.
- Biokomponentteja verotetaan hiilivetypolttoaineiden hiilisisällön mukaan.
- Verokannusteista^{*)} huolimatta sähköautojen kuluttajahinta ei ole kilpailukykyinen.

Verot ja kustannukset:

- Energiaverot (ilman alv) + ajoneuvovero: 0,004 €/km (biokaasu) – 0,08 €/km (etanoli).
- Polttoaine- tai energiakustannus + ajoneuvovero: 0,05 €/km (maa- ja biokaasu) – 0,17 €/km (etanoli).
- Kokonaiskustannus 0,29 €/km (maa- ja biokaasu) – 0,44 €/km (akku-sähkö).

^{*)} autovero, sähkön verotus, tosin sähköautoilla nykytilanteessa käyttövoimaverot

Autovero on nykytilanteessa ainoa komponentti, joka on käytännössä kytketty ympäristöominaisuuksiin. Kuvassa 6.1 on esitetty ajokilometrille laskettu polttoaineverojen ja ajoneuvoveron yhteenlaskettu kertymä. Kuvasta nähdään, ettei järjestelmä kohtelee eri vaihtoehtoja tasapuolisesti.

Suurin verokertymä on etanolilla, 0,08 €/km, ja pienin biokaasulla, 0,004 €/km. Biokaasusta ei kerry lainkaan veroja arvonlisäveron lisäksi, ja maa-kaasussakin on vain hyvin pieni lisävero / CO₂-osuus sekä huoltovarmuusmaksu. Myös sähkön vero on alhainen nestemäisiin liikennepolttoaineisiin verrattuna. Koska nykyinen polttoainevero on litrapohjainen, eniten veroja kertyy normaalia alhaisemman litramääräisen lämpöarvon omaavasta etanolista. Bensiinin ja dieselin verokertymät ovat käyttövoimaveron tasaavan vaikutuksen ansoista likimain samansuuruiset (n. 0,06 €/km). Perushybridin verokertymä puolestaan on suhteessa energian kulutukseen ja täten selvästi normaalia bensiiniautoa alhaisempi. Akkusähköauton verokertymä on perushybridin tasoa, mutta melkein koko verokertymä muodostuu käyttövoimaverosta. *Plug-in*-hybridi sijoittuu bensiiniauton ja perushybridin väliin.

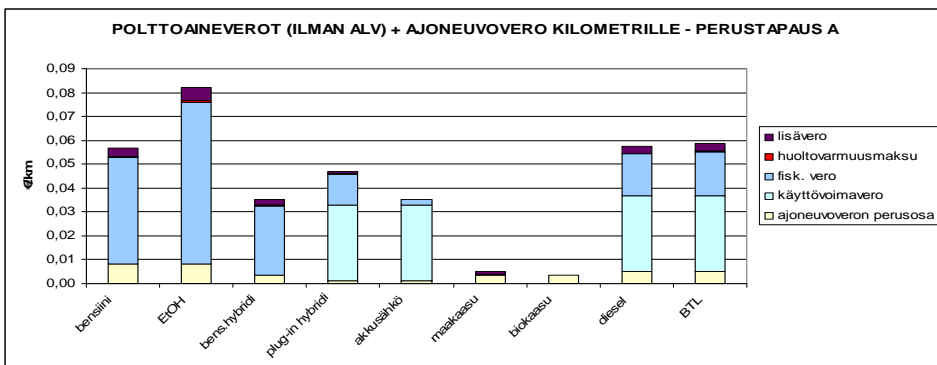
6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

Kuvassa 6.2 on verollinen polttoaine- tai energiakustannus ja ajoneuvovero kilometrille, toisin sanoen käyttökustannukset kuluttajan näkökulmasta. Käyttökustannuksiltaan kallein vaihtoehto on etanoli, 0,17 €/km; halvimmat maa- ja biokaasu, 0,05 €/km. Sähköä hyödyntävät vaihtoehdot ovat hieman maa- ja biokaasua kalliimmat.

Kuvassa 6.3 on esitetty ajokilometrille lasketut kokonaiskustannukset (pääoma, energia ja vuotuinen ajoneuvovero) kuluttajan näkökulmasta. Kuluttajan kannalta kallein vaihtoehto on akkusähkö (0,44 €/km); halvimmat vaihtoehdot ovat maa- ja biokaasu (0,29 €/km). Bensiini, HEV ja diesel ovat likimain yhtä kalliita (0,32–0,33 €/km). FFV (0,40 €/km) ja PHEV (0,36 €/km) taas eivät ole kilpailukykyisiä. Nykyjärjestelmä suosii kaasuautoja niin autoveron, käyttövoimaveron kuin polttoaineveronkin osalta. Tästä huolimatta maakaasun edullinen verokohtelu vuodesta 2004 alkaen on tuonut liikenteeseen vain noin kolmesataa maakaasukäyttöistä henkilöautoa.

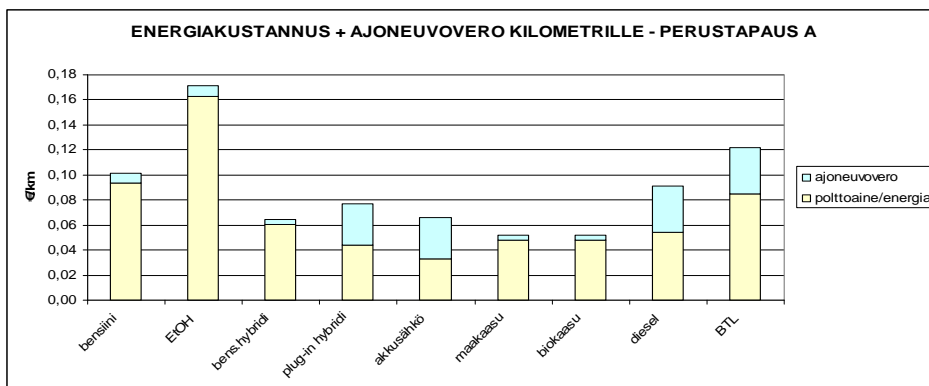
Akkusähköauton ylivoimaisesti suurin kustannuserä on auton kalliista verotomasta hinnasta johtuva pääomakustannus. CO₂-päästöön perustuvat autovero ja ajoneuvoveron perusvero ovat akkusähköautolla minimissä, mutta tämä ei riitä kompensoimaan kallista hankintahintaa. Vaikka akkusähköautosta poistettaisiin painoperusteinen käyttövoimaveron, olisi se edelleen kuluttajalle bensiini- tai dieselautoa kalliimpi vaihtoehto. Alatalon (2009) mukaan akkusähköauton akkukustannus on haarukassa 0,02–0,07 €/km, ja jos tämä huomioidaan laskelmissa, akkusähköauton kilpailukyky heikkenee edelleen.

Polttoaineiden hinnat ja verot nykytilanteessa on esitetty taulukossa 6.1.

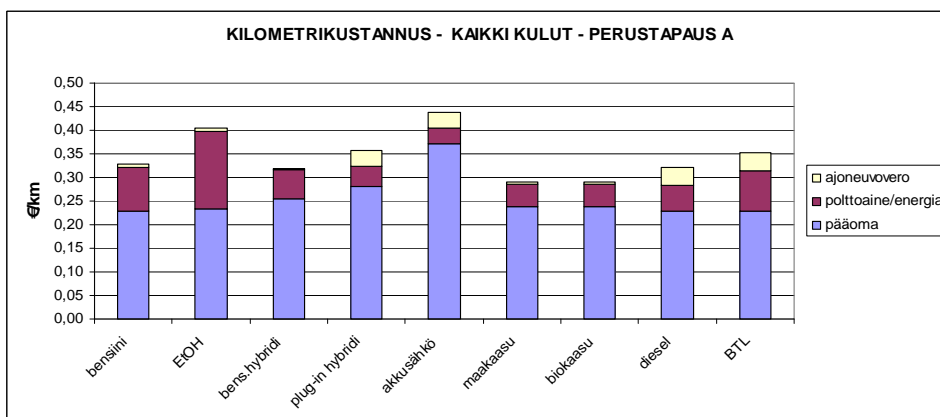


Kuva 6.1. Ajokilometrille laskettu polttoaineverojen (ilman arvonlisäveroa) ja ajoneuvoveron yhteenlaskettu kertymä. Nykytilanne A.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu



Kuva 6.2. Verollinen polttoaine- tai energiakustannus ja ajoneuvovero ajokilometrille. Nykytilanne A.



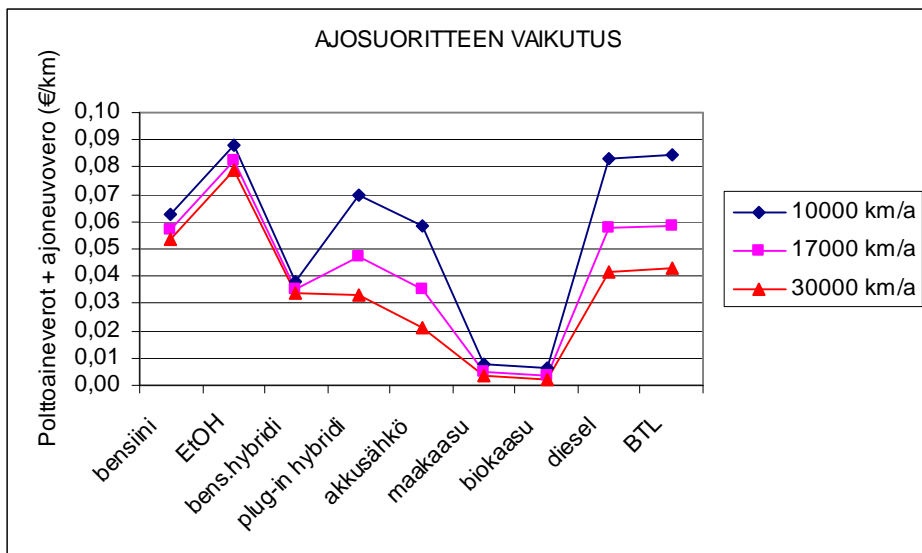
Kuva 6.3. Ajokilometrille lasketut kokonaiskustannukset (pääoma, energia ja vuotuinen ajoneuvovero). Nykytilanne A.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

Taulukko 6.1. Polttoaineiden hinnat ja verot (nesteet €/l, kaasut €/kg, sähkö €/kWh). Nykytilanne A.

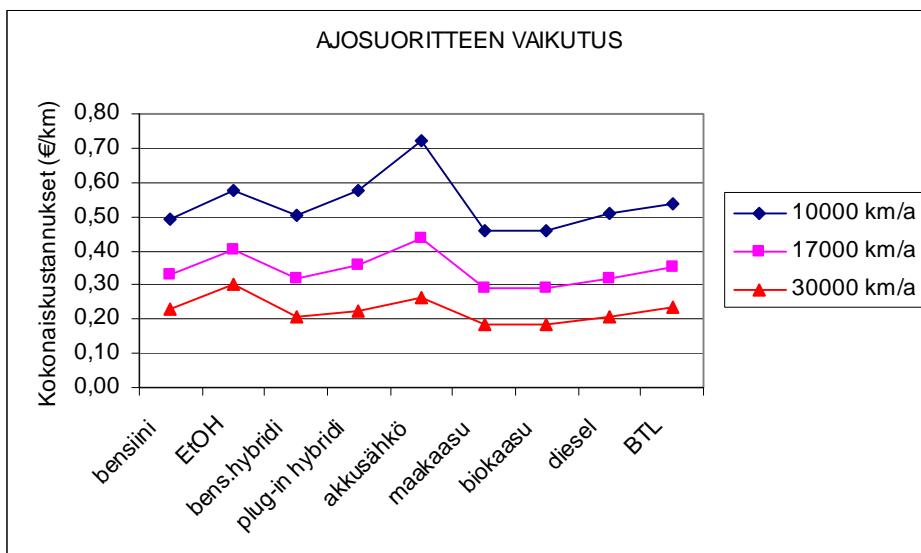
	Bensiini	ETOH	Diesel	BTL	Maakaasu	Biokaasu	Sähkö
Ekv. bensiihint		2,09			0,68	0,68	
Hinta	1,20	1,37	0,95	1,42	1,07	1,07	0,120
Verot yhteensä	0,843	0,875	0,536	0,621	0,22	0,19	0,03047
ALV	0,216	0,248	0,171	0,256	0,19	0,19	0,02164
Energiaverot yht.	0,627	0,627	0,364	0,364	0,029	0,000	0,00883
Fiskaalinen osuus lopullinen	0,572	0,572	0,307	0,307	0,000	0,000	0,00870
Laatuporrastus	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000
Fiskaalinen osuus perus	0,572	0,572	0,307	0,307	0,000	0,000	0,00870
Huoltovarmuus	0,007	0,007	0,004	0,004	0,001	0,000	0,00013
Lisävero	0,048	0,048	0,054	0,054	0,028	0,000	0,00000
Veroton hinta	0,357	0,50	0,414	0,800	0,848	0,875	0,08953
CO2-osuus energiaveroista	8	8	15	15	96	0	0

Kuvissa 6.4 (verokertymä) ja 6.5 (kokonaiskustannukset) on näytetty, miten vuosittainen ajosuorite vaikuttaa verokertymiin ja kokonaiskustannuksiin. 30 000 km vuodessa on sähköautolla jo suuri ajomäärä. Ajokilometrien vähentäminen lisää käyttövoimaveron suhteellista osuutta niissä tapauksissa, joissa käyttövoimaveron on käytössä. Koska ajoneuvoveron perusosa on pieni, bensii- nin, etanolin ja kaasujen osalta vuotuinen ajosuorite ei juuri vaikuta kilometri- kohtaisiin veroihin. Ajokilometrille lasketut kokonaiskustannukset pienentyvät suoritteen noustessa, samalla kun eri tekniikoiden väliset erot pienentyvät. Eta- nolin suhteellinen ero bensiiiniin säilyy kuitenkin muuttumattomana.



Kuva 6.4. Ajosuoritteen vaikutus kilometriä kohti laskettuihin verokertymiin.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu



Kuva 6.5. Ajosuoritteiden vaikutus kilometriä kohti laskettuihin kokonaiskustannuksiin.

6.3 Tasamalli B

Mallin periaate:

- Lähtökohtana pidetään bensiinin nykyistä verotasoa. Perusveron ja lisäveron summa pysyy vakiona, mutta suhteet muuttuvat (perusvero laskee ja lisävero nousee).
- Kaikilla energiamuodoilla sama energiasisältöön suhteutettu perusvero, joka vastaa bensiinin perusveroa (säädettyä).
- Ei käyttövoimaveroa.
- Lisävero määritellään CO₂-hinnalla 50 €/tonni.
- Kaikilla polttoaineilla todelliseen CO₂-päästöön verrannollinen lisävero. Biopolttoaineiden elinkaaren CO₂-vähenemä otetaan huomioon.
- Sähköllä ei lisäveroa, koska sähkön tuotanto on päästökaupan puitteissa.

Verot ja kustannukset:

- Energiaverot (ilman alv) + ajoneuvoveron perusvero 0,02 €/km (akku-sähkö) – 0,06 €/km (benssiini).
- Polttoaine- tai energiakustannus + ajoneuvoveron perusvero: 0,05 €/km (akku-sähkö) – 0,13 €/km (etanoli).
- Kokonaiskustannus 0,31 €/km (diesel) – 0,42 €/km (akku-sähkö).

Edut:

- Verokertymä on suhteessa eri vaihtoehtojen energiankäyttöön ja todellisiin CO₂-päästöihin.
- Eri vaihtoehtojen kustannuserot tasaantuvat hieman perustilanteeseen verrattuna.
- Etanolivaihtoehdon kustannukset pienenevät merkittävästi. Akku-sähkövaihtoehdon kilpailukyky paranee marginaalisesti.
- *Plug-in*-hybridin kilpailukyky paranee.

Haitat:

- Haittaa hyötyliikennettä, sillä dieselpolttoaineen vero nousisi merkittävästi.
- Kaasujen kilpailukyky heikkenee selvästi.
- Kaasujen ja sähkön verotus käyttökohteen mukaan ei onnistu toistaiseksi.

Mallin lähtökohdat ovat seuraavat:

- Bensiinin verotaso säilyy, mutta perus- (energia) ja lisäverojen (CO₂) osuudet muuttuvat.
- Kaikilla energiavaihtoehtoilla on sama energiasisältöön suhteutettu perusvero, joka vastaa bensiinin säädettyä perusveroa.
- Lisäveron perusteena olevaa CO₂-haitta-arvoa suurennetaan (50 €/tonni).
- CO₂-verokomponentti perustuu todellisiin päästöihin. Biopolttoaineiden CO₂-päästövähenemät huomioidaan.

Kaikilla energiamuodoilla olisi sama perus- tai energiavero, 0,0157 €/MJ, ja käyttövoimavero poistuisi kaikilta vaihtoehdoilta. Bensiinin energiavero olisi litramääräisenä 0,503 €/l ja CO₂-vero olisi 0,117 €/l. Huoltovarmuusmaksun (0,007 €/l) kanssa energiaverot olisivat yhteensä 0,627 €/l, joka vastaa nykyistä verotasoaa. Myös myyntihinta jakeluasemilla (pumppuhinta) pysyisi muuttumattomana. Uudella laskentamallilla CO₂-osuus olisi 19 % yhteenlasketuista energiaveroista, kun nykytilanteessa se on 8 %.

Dieselpolttoaineen verotus kiristyisi merkittävästi, koska sekä energiavero että CO₂-vero nousisivat. Lämpöarvoon suhteutettu energiavero olisi 0,561 €/l ja CO₂-vero 0,132 €/l. Huoltovarmuusmaksun (0,004 €/l) kanssa energiaverot olisivat yhteensä 0,697 €/l nykyisen 0,364 €/l sijaan. Myös dieselin CO₂-osuus olisi 19 % yhteenlasketuista energiaveroista. Veromuutoksen seurauksena dieselin uusi pumppuhinta olisi 1,36 €/l, eli 0,16 €/l bensiiniä korkeampi. Näin korkea dieselpolttoaineen hinta vaikuttaisi haitallisesti raskaaseen hyötyliikenteeseen, ja hyötyliikenteelle tarvittaisiinkin todennäköisesti jonkinlainen veron palautusjärjestelmä kilpailukyvyyn säilyttämiseksi. BTL:n hinnaksi tulisi 1,66 €/l.

Etanolin energiavero olisi 0,330 €/l ja CO₂-vero 0,015 €/l. Huoltovarmuusmaksun (oletus vakio 0,007 €/l) kanssa energiasisältöön ja todellisiin CO₂-päästöihin suhteutetut energiaverot olisivat yhteensä 0,353 €/l nykyisen 0,627 €/l sijaan.

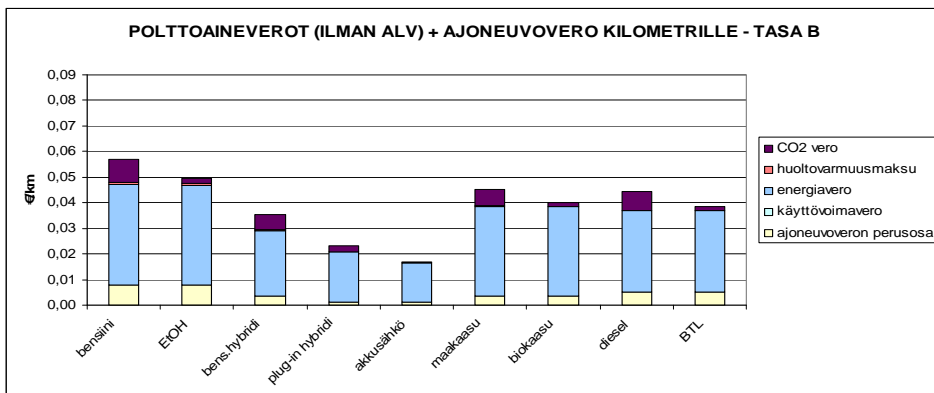
Maa- ja biokaasun verot nousisivat merkittävästi. Maakaasun energiaverot nousisivat nykyisestä arvosta 0,029 €/kg arvoon 0,927 €/kg. Biokaasulla arvot ovat vastaavasti 0 ja 0,814 €/kg. Pumppuhinnoiksi muodostuisi 2,17 ja 2,07 €/kg, mikä olisi bensiiniekvivalenttina 1,39 ja 1,32 €/l. Tämä malli heikentäisi kaasumaisten polttoaineiden kilpailukykyä merkittävästi. Sähkön verolliseksi hinnaksi tulisi 0,178 €/kWh, eli nousua tulisi 0,058 €/kWh. Sähköauto

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

hyötyisi hyvästä hyötysuhteestaan, ja käyttövoimaveron poistuessa akkusähkövaihtoehdon kokonaiskustannukset laskevat hieman.

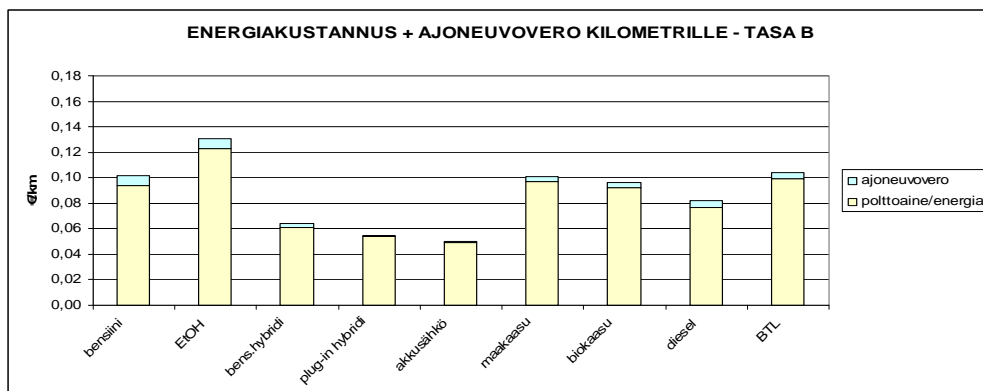
Kuvassa 6.6 on esitetty ajokilometrille laskettu polttoaineverojen ja ajoneuvoveron yhteenlaskettu kertymä. Kuvasta näkyy selvästi, miten perusvero säätyy eri vaihtoehtojen energian kulutuksen mukaan. Verokertymä on suurimmillaan bensiinillä, 0,06 €/km, ja pienimmillään akkusähköautolla, vajaa 0,02 €/km. Verollinen polttoaine- tai energiakustannus plus ajoneuvovero (tässä tapauksessa pelkkä perusvero) kaksinkertaistuisi kaasujen osalta (kuva 6.7). BTL, etanoli, akkusähkö ja *plug-in*-hybridi hyötyvät 15–30 % ja perusdiesel 10 % perustapaukseen verrattuna. Bensiinin ja perushybridin tilanne ei muutu. Haarukka olisi 0,05 €/km (akkusähkö) – 0,13 €/km (etanoli). Kuvasta 6.8 nähdään, että tasamalli tasoittaisi eri vaihtoehtojen välisiä kustannuseroja hieman. Perustapauksessa haarukka on 0,29–0,44 €/km, tasamallissa 0,31–0,42 €/km. Tasamallissa akkusähkö on edelleen kallein (0,42 €/km) mutta diesel olisi halvin vaihtoehto (0,31 €/km). Peruslaskennan suoritteella (17.000 km/vuosi) diesel saa pienen edun polttoaineveron nostamisesta ja käyttövoimaveron poistamisesta. Bensiini, hybridit (HEV ja PHEV), kaasut ja BTL sijoittuvat kaikki haarukkaan 0,32–0,34 €/km. Etanolin kustannus on hieman korkeampi, 0,36 €/km.

Polttoaineiden hinnat ja verot tasamallissa on esitetty taulukossa 6.2.

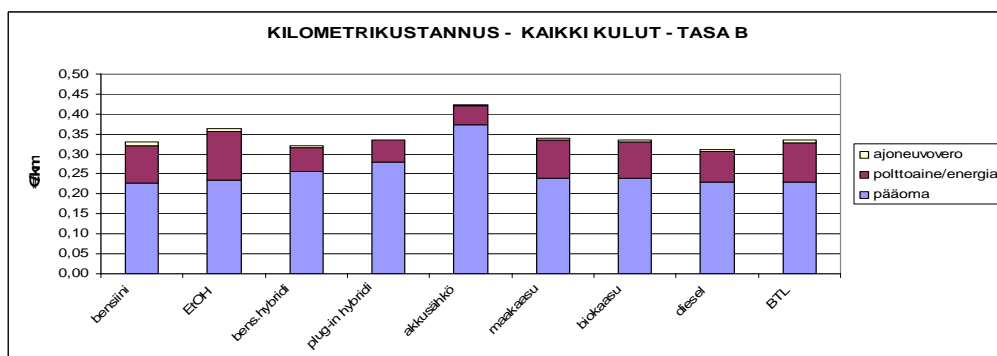


Kuva 6.6. Ajokilometrille laskettu polttoaineverojen (ilman arvonlisäveroa) ja ajoneuvoveron yhteenlaskettu kertymä. Tasamalli B.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu



Kuva 6.7. Verollinen polttoaine- tai energiakustannus ja ajoneuvovero ajokilometrille. Tasamalli B.



Kuva 6.8. Ajokilometrille lasketut kokonaiskustannukset (pääoma, energia ja vuotuinen ajoneuvovero). Tasamalli B.

Taulukko 6.2. Polttoaineiden hinnat ja verot (nesteet €/l, kaasut €/kg, sähkö €/kWh). Tasamalli B.

	Bensiini	ETOH	Diesel	BTL	Maakaasu	Biokaasu	Sähkö
Ekv. bensiinihintana		1,58			1,39	1,32	
Hinta	1,20	1,04	1,36	1,66	2,17	2,07	0,178
Verot yhteensä	0,844	0,540	0,941	0,864	1,32	1,19	0,08889
ALV	0,217	0,188	0,244	0,300	0,39	0,37	0,03217
Energiaverot yht.	0,627	0,353	0,697	0,564	0,927	0,814	0,05672
Energiaosuus lopullinen	0,503	0,330	0,561	0,534	0,786	0,786	0,05659
Laatuporrastus	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00000
Energiaosuus perus	0,503	0,330	0,561	0,534	0,786	0,786	0,05659
Huoltovarmuus	0,007	0,007	0,004	0,004	0,001	0,000	0,00013
CO2-osuus	0,118	0,015	0,132	0,025	0,140	0,028	0,00000
Veroton hinta	0,357	0,50	0,414	0,800	0,848	0,880	0,08953
CO2-osuus energiaveroista	19	4	19	4	15	3	0

6.4 Ympäristömalli C

Mallin periaatteet:

- Pääpiirteiltään kuten tasamalli
- Mukana lisäksi laatuportaus BTL-dieselille ja metaanille
- ”Tuplalaskettavat” biopolttoaineet huojennettu kokonaan lisäverosta (CO₂).

Verot ja kustannukset:

- Energiaverot (ilman alv) + ajoneuvoveron perusvero; 0,02 €/km (akku-sähkö) – 0,06 €/km (benssiini)
- Polttoaine- tai energiakustannus + ajoneuvoveron perusvero: 0,05 €/km (akku-sähkö) – 0,13 €/km (etanoli)
- Kokonaiskustannus: 0,31 €/km (diesel) – 0,42 €/km (akku-sähkö).

Edut:

- Lisäkannustimia parhaimmille biopolttoaineille, erityisesti BTL-dieselille ja biokaasulle
- BTL:n hintaero perinteiseen dieselpolttoaineeseen kaventuu
- Eri vaihtoehtojen kustannuserot tasaantuvat hieman perustilanteeseen verrattuna.

Haitat:

- Haittaa hyötyliikennettä, sillä dieselpolttoaineen vero nousee merkittävästi
- Kaasu ei ole kilpailukykyinen raskaissa ajoneuvoissa
- Kaasujen ja sähkön verotus käyttökohteen mukaan ei onnistu toistaiseksi.

Huom:

- Keventää dieselhenkilöauton verotusta benssiinautoon verrattuna: tällöin pitäisi voida edellyttää että dieselautoissa on hiukkassuodatin.

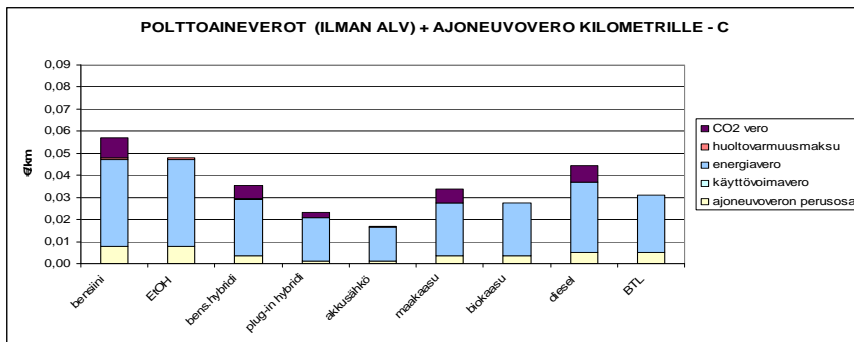
Tässä mallissa tavoitellaan eri polttoaine- ja energiavaihtoehtojen objektiivista kohtelua veromielessä niin energian käytön, hiilidioksidipäästöjen kuin lähipäästöjen osalta.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

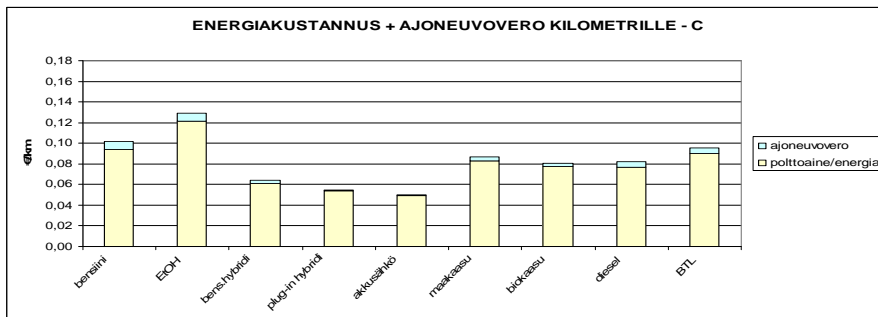
Tämä malli on peruseriaatteiltaan kuten tasamalli (polttoaineveron energiaosuus vakio suhteutettuna energiaan). Bensiinin, dieselin ja maakaasun osalta CO₂-vero lasketaan arvolla 50 €/tonni. Etanoli, BTL-diesel ja biokaasu (oletus RES-direktiivin ns. ”tuplalaskettavien” tuotteiden määritelmä täyttyy) huojenneetaan laskentaesimerkissä kokonaan CO₂-verosta. Tämä parantaa marginaalisesti parhaimpien biopolttoaineiden kilpailukykyä tasamalliin verrattuna.

Lisäksi BTL-diesel ja metaani saavat lähipäästöjen perusteella osittaisen huojenuksen energiaverosta, BTL 0,10 €/l ja metaani 0,25 €/kg. Tavanomaisen dieselin ja BTL:n hintaero on tässä mallissa 0,16 €/l, kun se nykytilanteessa on 0,47 €/l. Tasamallissa hintaero olisi 0,31 €/l. Lähipäästöihin perustuvaa huojenusta voisi soveltaa myös muihin uusiin päästöjä vähentäviin komponentteihin.

Kuvassa 6.9 näkyy verokertymä, kuvassa 6.10 energiakustannus plus ajoneuvoveron perusosa ja kuvassa 6.11 kokonaiskustannukset ajokilometriä kohti.

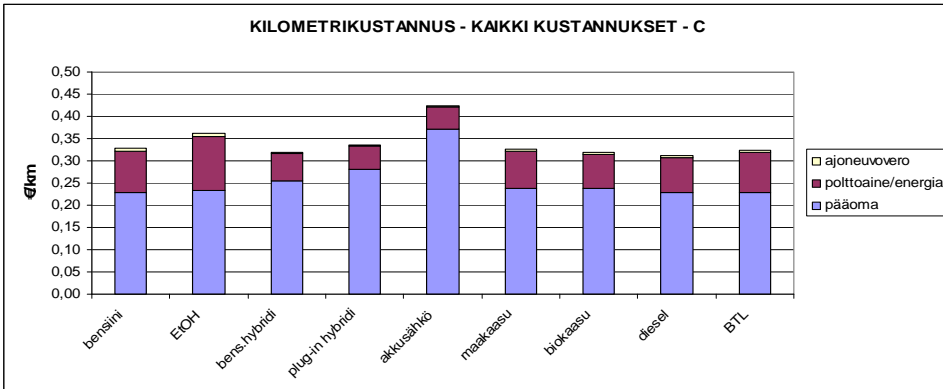


Kuva 6.9. Ajokilometrille laskettu polttoaineverojen (ilman arvonlisäveroa) ja ajoneuvoveron yhteenlaskettu kertymä. Ympäristömalli C.



Kuva 6.10. Verollinen polttoaine- tai energiakustannus ja ajoneuvovero ajokilometrille. Ympäristömalli C.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu



Kuva 6.11. Ajokilometrille lasketut kokonaiskustannukset (pääoma, energia ja vuotuinen ajoneuvovero). Ympäristömalli C.

Polttoaineverojen ja ajoneuvoveron yhteenlaskettu kertymä pienenee etanolin osalta hieman (täysi CO₂-veron huojennus). Jonkin verran enemmän se pienenee maakaasun (laatuporrastus), biokaasun ja BTL:n osalta (kahdessa viimeksi mainitussa täysi CO₂-veron huojennus ja laatuporrastus). Verokertymä on edelleen suurimmillaan bensiinillä, 0,06 €/km, ja pienimmillään akkusähköautolla, 0,02 €/km. Energiakustannus plus ajoneuvoveron perusosa on edelleen haarakassa 0,05–0,13 €/km. C-malli laskisi biovaihtoehtojen ja maakaasun kokonaiskustannuksia hieman, noin 0,01 €/km. Tasamallin tapaan diesel on edelleen halvin (0,31 €/km) ja akkusähkö kallein vaihtoehto (0,42 €/km).

Polttoaineiden hinnat ja verot C-mallissa on esitetty taulukossa 6.3.

Taulukko 6.3. Polttoaineiden hinnat ja verot (nesteet €/l, kaasut €/kg, sähkö €/kWh). Ympäristömalli C.

	Bensiini	ETOH	Diesel	BTL	Maakaasu	Biokaasu	Sähkö
Bens. ekvivalenttihinta		1,56			1,19	1,11	
Hinta	1,20	1,02	1,36	1,51	1,86	1,73	0,178
Verot yhteensä	0,844	0,521	0,941	0,711	1,01	0,85	0,08889
ALV	0,217	0,184	0,244	0,272	0,34	0,31	0,03217
Energiaverot yht.	0,627	0,337	0,697	0,438	0,677	0,536	0,05672
Energiaosuus lopullinen	0,503	0,330	0,561	0,434	0,536	0,536	0,05659
Laatuporrastus	0,000	0,000	0,000	-0,100	-0,250	-0,250	0,00000
Energiaosuus perus	0,503	0,330	0,561	0,534	0,786	0,786	0,05659
Huoltovarmuus	0,007	0,007	0,004	0,004	0,001	0,000	0,00013
CO ₂ -osuus	0,118	0,000	0,132	0,000	0,140	0,000	0,00000
Veroton hinta	0,357	0,50	0,414	0,800	0,848	0,880	0,08953
CO ₂ -osuus energiaveroista	19	0	19	0	21	0	0

6.5 Sovitettu ympäristömalli D

Mallin periaate:

- Sama veroprofiili kuin C:ssä
- Koska kaasujen ja sähkön verotus käyttökohteen mukaan ei onnistu toistaiseksi, näitä verotetaan nykytilanteen mukaan (mutta maakaasun yhdenmukainen CO₂-vero 50 €/t). Veroja säädetään käyttämällä käyttövoimaveroa tasauksessa
- Myös dieselillä nykyinen perus- tai energiaveron taso ja sovitettu käyttövoimavero
- Käyttövoimavero porrastettu tapauskohtaisesti.

Verot ja kustannukset:

- Energiaverot (ilman alv) + ajoneuvovero (perusvero + käyttövoimavero); 0,02 €/km (akkusähkö) – 0,06 €/km (benssiini)
- Polttoaine- tai energiakustannus + ajoneuvovero (perusvero + käyttövoimavero): 0,05 €/km (akkusähkö) – 0,13 €/km (etanoli)
- Kokonaiskustannus 0,31 €/km (biokaasu ja diesel) – 0,42 €/km (akkusähkö ja etanoli).

Edut:

- Antaa saman veroprofiilin (valitulla ajosuoritteella) ja likipitäen samat kokonaiskustannukset kuin C
- Ei edellytä muutoksia kaasujen tai sähkön verokantajärjestelmiin, mutta maakaasulla olisi sama CO₂-vero kuin muilla polttoaineilla
- Tukee C:n tavoin puhtaita CO₂-tehokkaita biopolttoaineita
- Ei edellytä veronpalautusjärjestelmiä raskaalle dieselikäyttöiselle hyötyliikenteelle
- Säilyttää kaasumaisten polttoaineiden kilpailukyvyn raskaissa ajoneuvoissa.

Haitat:

- Käyttövoimaveroa joudutaan käyttämään tasausinstrumenttina
- Vuosittainen käyttövoimavero on oikeudenmukainen vain tietyllä laskennallisella ajosuoritteella.

Huom:

- Keventää dieselhenkilöauton verotusta benssiinautoon verrattuna. Tällöin pitäisi voida edellyttää, että dieselautoissa on hiukkassuodatin.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

Ympäristömalli C kohtelisi kaikkia energiamuotoja samalla tavalla polttoaine-
ron energiaosuuden osalta. Tämä tarkoittaisi merkittävää nousua dieselpolttoai-
neen veroihin ja tarvetta uusiin verotusjärjestelmiin kaasujen ja sähkön osalta.
Diesel voitaisiin hoitaa raskaan hyötyliikenteen veronpalautusjärjestelmällä,
mutta lyhyellä aikavälillä kaasun ja sähkön verotusjärjestelmien merkittävä
muuttaminen ei ole mahdollista. Sähkön tapauksessa muutos edellyttäisi mm.
kulutuspiste- tai autokohtaista sähkön mittausta.

Sovitetussa ympäristömallissa D käytetään käyttövoimaveroa säätöinstrument-
tina. Käyttövoimaveroa säädetään tapauskohtaisesti niin, että saadaan sama ob-
jekttiivinen veroprofiili, joka huomioi energiankäytön sekä hiilidioksidi- ja lähi-
päästöt, kuin C-mallissa. D-mallissa käytetään nykyisiä perusveroja dieselille ja
sähkölle. Maa- ja biokaasussa ei olisi perus- tai energiaveroa lainkaan, kuten ei
ole nykytilanteessakaan. Maakaasun CO₂-vero kuitenkin nousee. Maakaasun
lisäksi myös bensiinillä ja dieselillä CO₂-hinta on 50 €/tonni, kuten tasamallissa
B ja C-mallissa. Tämä tarkoittaa dieselin osalta sitä, että energiaverot kasvavat
0,08 €/nykytilanteeseen verrattuna suuremman CO₂-komponentin takia. B- ja C-
malleissa dieselin vero nousisi peräti 0,33 €/l. C-mallin tapaan biopolttoaineet
(CO₂-tehokkaat) on D-mallissa vapautettu lisäverosta kokonaan.

Etuna sovitetussa järjestelmässä on, että sillä saadaan sama veroprofiili kuin
C:ssä ilman hankalia verotusjärjestelmien muutoksia. Tässä esimerkissä tasaus
on tehty 17 000 km:n vuotuiselle ajosuoritteelle. Suurin puute on, että tasaus
toimii suunnitellusti vain tietyllä kiinteällä ajosuoritteella. Lisäksi käyttövoima-
vero jouduttaisiin porrastamaan kunkin ajoneuvotyypin mukaan (eri vero sähkö-,
kaasu- ja dieselautolla).

Esimerkkitapauksen säädössä käytetyt käyttövoimaveron määrät ovat

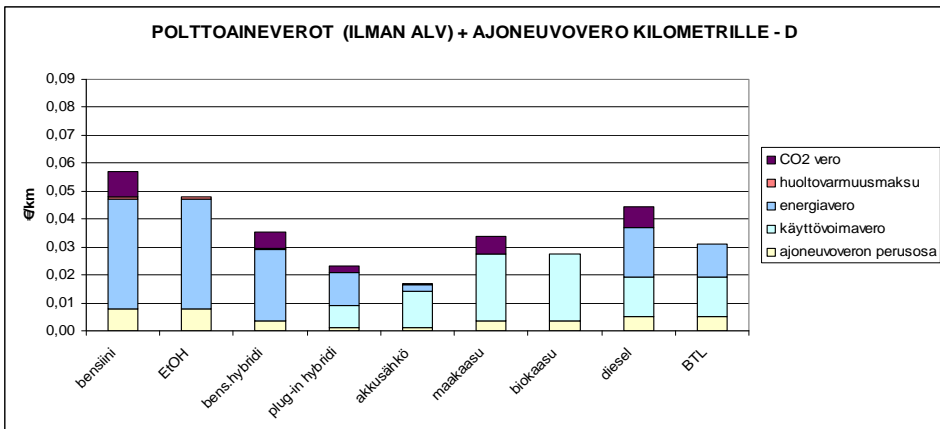
- *plug-in*-hybridi 134 €/a
- akkusähköauto 223 €/a
- maa- ja biokaasuauto 404 €/a
- dieselauto 241 €/a.

Nykyinen käyttövoimavero dieselkäyttöiselle VW Passat Variantille on 538 €
vuodessa. Koska bensiinin verotus on pidetty nykytasolla ja dieselin vero kasvaa
lisä- tai CO₂-veron kasvaessa (+ 0,08 €), esimerkkitapauksen ajosuoritteella
dieselin käyttövoimaverot tulisi likipitään puolittaa. Puolititus olisi tarkoituksen-
mukaista tehdä niille uusille dieselautoille, joissa on hiukkassuodatin. Maa- ja
biokaasulla käyttövoimaverot olisi noin 75 % dieselin nykyisestä käyttövoimave-
rosta. *Plug-in*-hybridin käyttövoimaverot olisi 25 % nykyisestä, koska veroker-

tymää tulee myös bensiiniosuudesta. Akkusähköauton käyttövoimaveron olisi noin 40 % nykyisestä dieselin verosta.

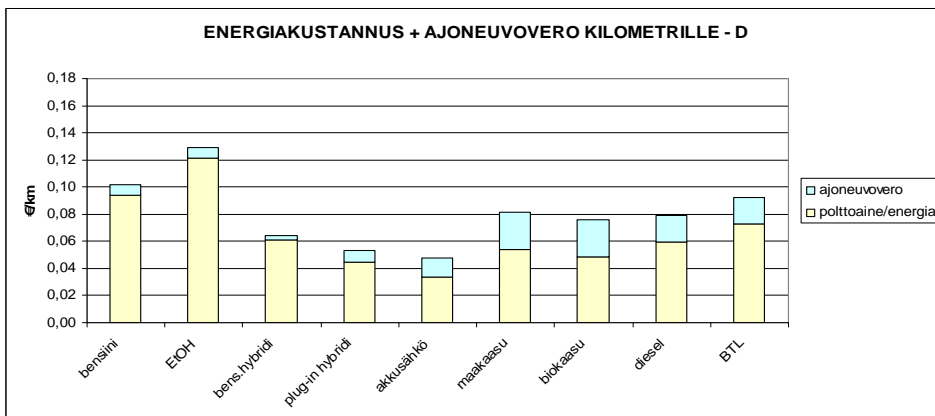
Kuvassa 6.12 on esitetty ajokilometrille laskettu polttoaineverojen ja ajoneuvoveron yhteiskertymä. Kokonaistasot vastaavat täysin C-tapausta, mutta jakauma on käyttövoimaveron vuoksi erilainen. Verokertymä on C-tapauksen tavoin suurimmillaan bensiinillä, 0,06 €/km, ja pienimmillään akkusähköautolla, 0,02 €/km.

Kuvassa 6.13 näkyy energiakustannus + ajoneuvovero (perusosa + käyttövoimavero) ja kuvassa 6.14 kokonaiskustannukset. Kustannukset laskevat aavistuksen verran C-tapaukseen verrattuna. Tämä johtuu siitä, että polttoaineveroista kerätään arvonlisävero mutta käyttövoimaverosta ei. Laskennassa on siis vakioitu polttoaineverot ilman arvonlisä- ja ajoneuvoveroa. D-malli tasoittaisi edelleen eri vaihtoehtojen välisiä kustannuseroja (kuva 6.14). Akkusähkö on edelleen kallein (0,42 €/km) ja biokaasu ja diesel halvimmat vaihtoehdot. D-mallissa kaikki muut vaihtoehdot paitsi akkusähkö ja etanoli (0,36 €/km) osuvat haarukkaan 0,31–0,33 €/km.

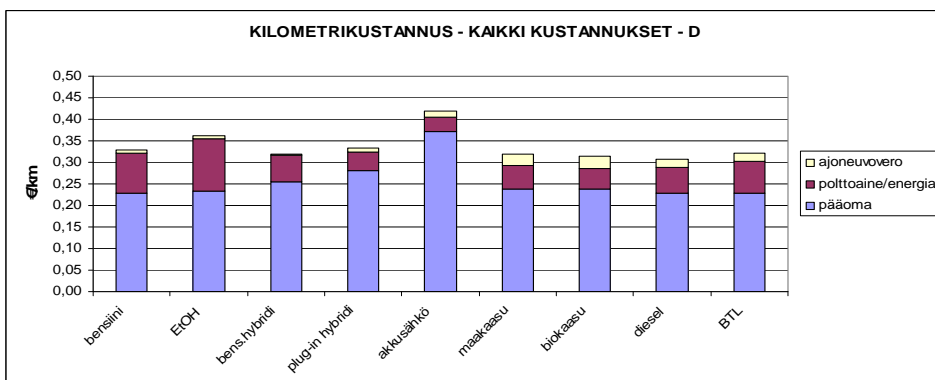


Kuva 6.12. Ajokilometrille laskettu polttoaineverojen (ilman arvonlisäveroa) ja ajoneuvoveron yhteenlaskettu kertymä. Sovitettu D-ympäristömalli.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu



Kuva 6.13. Verollinen polttoaine- tai energiakustannus ja ajoneuvovero ajokilometrille. Sovitettu D-ympäristömalli.



Kuva 6.14. Ajokilometrille lasketut kokonaiskustannukset (pääoma, energia ja vuotuinen ajoneuvovero). Sovitettu D-ympäristömalli.

D-mallin polttoaineiden hinnat ja verot on esitetty taulukossa 6.4.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

Taulukko 6.4. Polttoaineiden hinnat ja verot (nesteet €/l, kaasut €/kg, sähkö €/kWh). Sovitettu D-ympäristömalli.

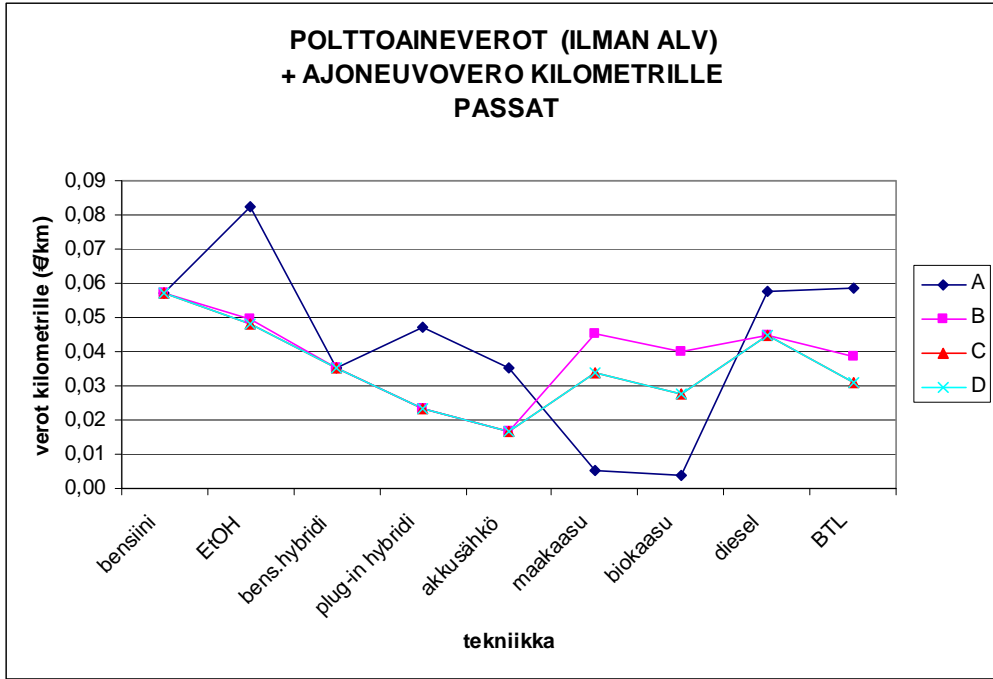
	Bensiini	ETOH	Diesel	BTL	Maakaasu	Biokaasu	Sähkö
Bens. ekvivalenttihinna		1,56			0,77	0,69	
Hinta	1,20	1,02	1,04	1,22	1,21	1,07	0,120
Verot yhteensä	0,844	0,521	0,631	0,416	0,36	0,19	0,03047
ALV	0,217	0,184	0,188	0,219	0,22	0,19	0,02164
Energiaverot yht.	0,627	0,337	0,443	0,197	0,141	0,000	0,00883
Energiaosuus lopullinen	0,503	0,330	0,307	0,193	0,000	0,000	0,00870
Laatuporrastus	0,000	0,000	0,000	-0,100	0,000	0,000	0,00000
Energiaosuus perus	0,503	0,330	0,307	0,293	0,000	0,000	0,00870
Huoltovarmuus	0,007	0,007	0,004	0,004	0,001	0,000	0,00013
CO2-osuus	0,118	0,000	0,132	0,000	0,140	0,000	0,00000
Veroton hinta	0,357	0,50	0,414	0,800	0,848	0,880	0,08953
CO2-osuus energiaveroista	19	0	30	0	99	0	0

6.6 Yhteenveto tarkastelluista malleista

Tarkasteltujen mallien verokertymät (polttoaineverot ilman arvonlisäveroa plus ajoneuvovero) kilometriä kohden on koottu kuvaan 6.15 sekä taulukkoon 6.5. Verollinen energiakustannus + ajoneuvovero näkyvät kuvassa 6.16 ja taulukossa 6.6. Vastaavasti kokonaiskustannukset (pääomakustannukset, polttoainekustannukset ja vuotuinen ajoneuvovero) kilometriä kohti esitetään kuvassa 6.17 ja taulukossa 6.7.

Kuvasta 6.15 nähdään selvästi, että nykymalli antaa epätasaisimmat verokertymät haarukan ollessa 0,004 €/km (biokaasu) – 0,08 €/km (etanoli). Kaikki muut tarkastellut mallit tasaavat verokertymiä. Jos sähköä verotettaisiin nykykäytännön mukaan eikä sähköautolla olisi käyttövoimaveroa, sähköauton verokertymä jäisi tasolle 0,004 €/km.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

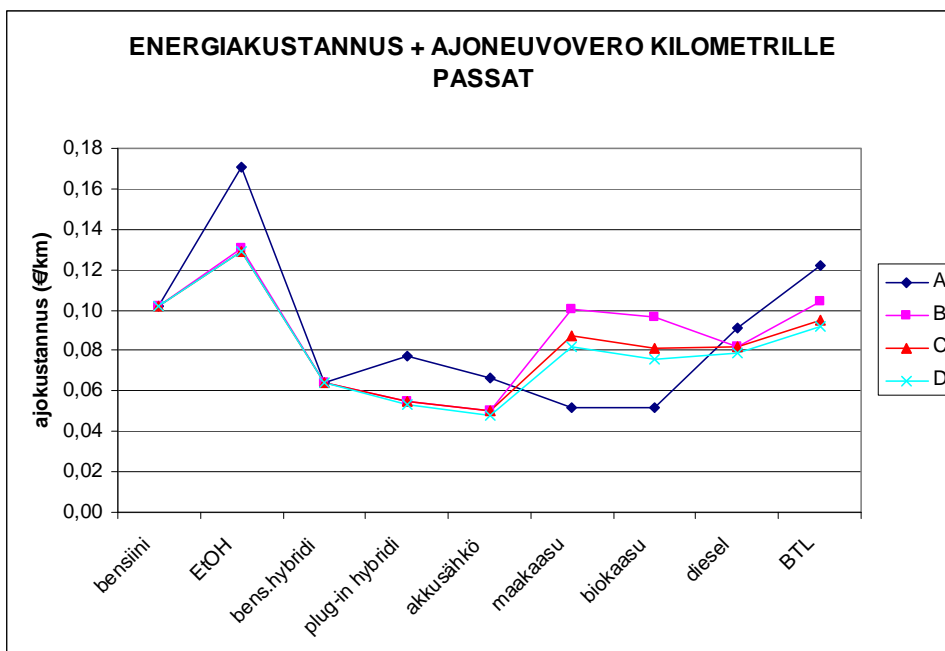


Kuva 6.15. Verokertymät eri malleilla.

Taulukko 6.5. Verokertymät eri malleilla. Yksikkönä €/km.

	Bensiini	Etoh	Bens. Hybridi	Plug-in-hybridi	Akku-sähkö	Maa-kaasu	Bio-kaasu	Diesel	Btl
A	0,057	0,082	0,035	0,047	0,035	0,005	0,004	0,058	0,059
B	0,057	0,049	0,035	0,023	0,017	0,045	0,040	0,045	0,039
C	0,057	0,048	0,035	0,023	0,017	0,034	0,027	0,045	0,031
D	0,057	0,048	0,035	0,023	0,017	0,034	0,027	0,045	0,031

Vaihtoehtoiset mallit tasaisivat lisäksi niin ajo- kuin kokonaiskustannuksiakin. Perustapauksessa energiakustannus + ajoneuvovero vaihtelee haarukassa 0,05 €/km (kaasut) – 0,17 €/km (etanoli) (kuva 6.16). C- ja D-malleissa haarukka on 0,05 €/km (sähkö) – 0,13 €/km (etanoli).



Kuva 6.16. Verollinen energiakustannus + ajoneuvovero kilometrille.

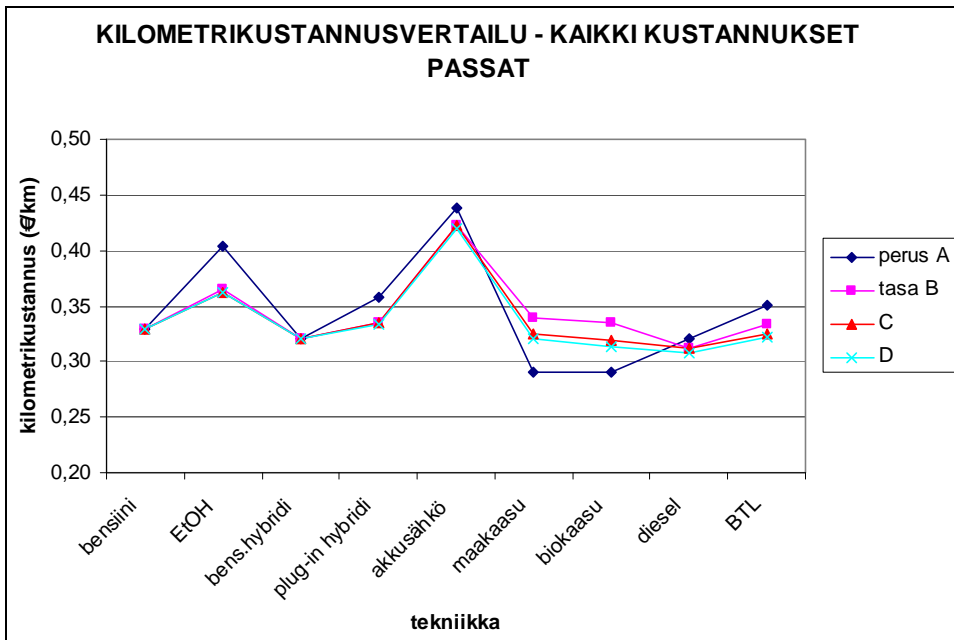
Taulukko 6.6. Verollinen energiakustannus + ajoneuvovero kilometrille. Kalleimmat vaihtoehdot merkitty punertavalla, halvimmat vaaleanvihreällä värillä. Yksikkönä €/km.

	Bensiini	Etoh	Bens. Hybridi	Plug-in-hybridi	Akku sähkö	Maa-kaasu	Bio-kaasu	Diesel	Btl
A	0,102	0,171	0,064	0,077	0,066	0,052	0,052	0,091	0,122
B	0,102	0,131	0,064	0,055	0,050	0,101	0,096	0,082	0,104
C	0,102	0,129	0,064	0,055	0,050	0,087	0,081	0,082	0,095
D	0,102	0,129	0,064	0,053	0,048	0,082	0,076	0,079	0,092

Kokonaiskustannusten haarukka on nykytilanteessa 0,29 €/km (kaasut) – 0,44 €/km (akkusähkö), eli ero edullisimman ja kalleimman vaihtoehdon välillä on 52 % (kuva 6.17). D-mallissa haarukka on 0,31–0,42 €/km, eli ero on supistunut 35 %:iin. D-mallissa muutokset ovat suurimmillaan etanolin (–0,04 €/km) ja maakaasun (+0,03 €/km) kohdalla. D-malli tarkoittaisi kaasujen kilpailukyvyyn huonontumista henkilöautoissa, mutta toisaalta biokaasun kilpailukyky raskaassa kalustossa parantuisi.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

Huomattavaa on, että perushybridi on laskennassa käytetyillä olettamuksilla aina kilpailukykyinen bensiiniautoon verrattuna. *Plug-in*-sähköauton kokonaiskustannusten haarukka on 0,33–0,36 €/km, ja D-mallissa hybridi on kilpailukykyinen bensiiniautoon verrattuna. Akkusähköauton kustannushaarukka on 0,42–0,44 €/km (ilman akkukustannuksia). Jos sähköautoista ei perittäisi käyttövoimaveroa, *plug-in*-hybridi olisi kokonaiskustannuksiltaan halvempi kuin bensiiniauto. Käyttövoimaveron poisto ei kuitenkaan vielä riitä tekemään akkusähköautosta kilpailukykyistä.



Kuva 6.17. Kokonaiskustannukset eri malleilla.

Taulukko 6.7. Kokonaiskustannukset eri malleilla. Kalleimmat vaihtoehdot merkitty punertavalla, halvimmat vaaleanvihreällä värillä. Yksikkönä €/km.

	Bensiini	Etoh	Bens. Hybridi	Plug-in-hybridi	Akkusähkö	Maa-kaasu	Bio-kaasu	Diesel	Btl
A	0,330	0,405	0,320	0,357	0,439	0,290	0,290	0,320	0,351
B	0,330	0,364	0,320	0,335	0,423	0,339	0,334	0,311	0,334
C	0,330	0,363	0,320	0,335	0,423	0,325	0,319	0,311	0,325
D	0,330	0,363	0,320	0,334	0,420	0,320	0,314	0,308	0,322

Tarkastelluilla malleilla akkusähkö on aina kokonaiskustannuksiltaan kallein vaihtoehto, vaikkei akkukustannusta oteta huomioon. Tämä johtuu auton korkeasta verottomasta hinnasta. Käyttövoimaveron poistaminen sähköautolta ei kuitenkaan ratkaisisi tilannetta. Sähköautojen käytön edistämiseen tarvittaisiin muita keinoja.

Toinen ongelmallinen energiavaihtoehto on etanoli. Kaikilla tarkastelluilla malleilla etanoli antaa korkeimmat käyttökustannukset. Tämä johtuu toisaalta polttoaineen korkeasta hinnasta ja bensiinimoottorin muita tekniikoita suuremmasta energiankulutuksesta. Polttoaineverojen laatuporrastukseen ei etanolin osalta ole tällä hetkellä perusteita. Yksi mahdollinen ratkaisu voisi olla, että CO₂-komponentin suhteellista osuutta verotuksessa kasvatettaisiin edelleen, jolloin CO₂-tehokkaat etanolivaihtoehdot saisivat lisähyötyä.

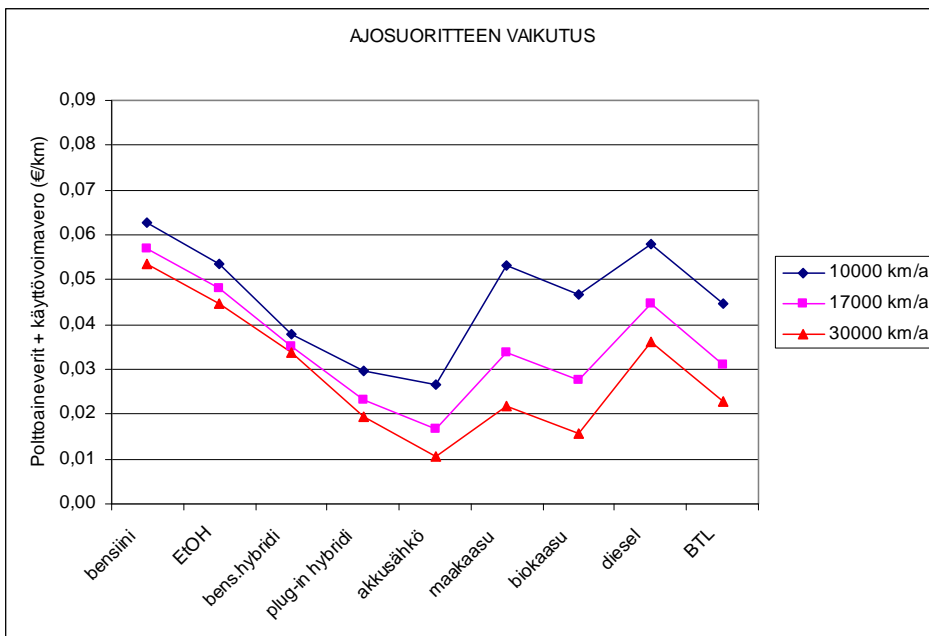
Tässä esitetyssä tarkastelussa on pyritty objektiivisuuteen ja eri vaihtoehtojen tasapuoliseen kohteluun. Laskentaosiossa ei ole otettu kantaa esimerkiksi siihen, miten eri valinnoilla voitaisiin vaikuttaa työllisyyteen ja suomalaisen teollisuuden liiketoimintamahdollisuuksiin. Poliittisilla päätöksillä voidaan kuitenkin edistää valittua vaihtoehtoa. Näin on tehty esimerkiksi kaasumaisten polttoaineidien kohdalla.

6.7 Herkkyystarkasteluja C- ja D-malleille

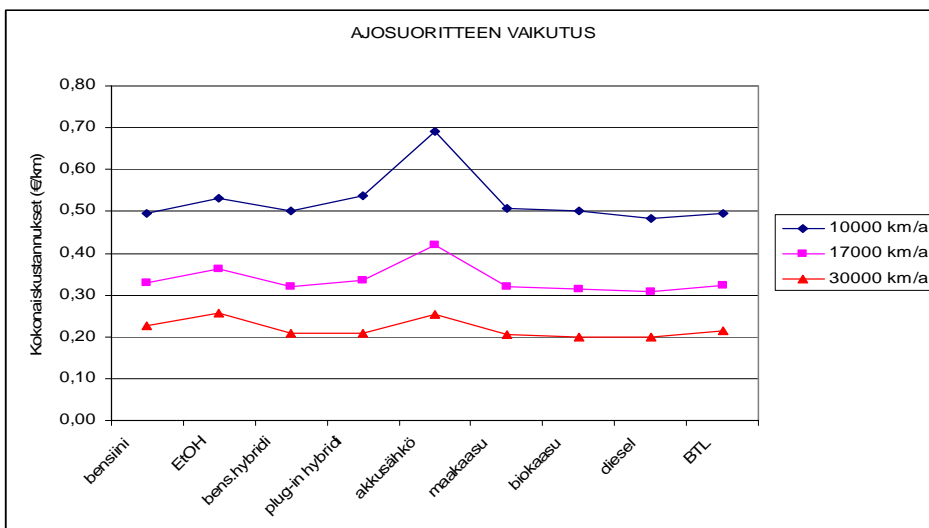
6.7.1 Ajokilometrit (D)

Vuotuiset ajokilometrit vaikuttavat melko voimakkaasti kilometrikohtaisiin kustannuksiin (ks. kuva 6.4). Kuvassa 6.18 näkyy D-mallin verokertymät ja kuvassa 6.19 kilometrille lasketut kokonaiskustannukset eri ajosuoritteilla. Niissä vaihtoehdossa, joissa ei ole käyttövoimaveroa, vuosittainen ajosuorite vaikuttaa vain vähän kilometrikohtaiseen verokertymään (ajoneuvoveron perusosan vaikutus on pieni). Vuosittaisen ajosuoritteen ollessa 10 000 km kalleimman (akkusähkö) ja halvimman (diesel) vaihtoehdon välinen hintaero on 0,21 €/km. Ajosuoritteella 30 000 km vuodessa haarukka on enää 0,06 €/km (etanoli vs. biokaasu/diesel).

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu



Kuva 6.18. Ajosuoritteen vaikutus kilometriä kohti laskettuihin verkertymiin.



Kuva 6.19. Ajosuoritteen vaikutus kilometriä kohti laskettuihin kokonaiskustannuksiin.

6.7.2 CO₂:n hinta (C)

Laskennassa on perustapausta lukuun ottamatta käytetty CO₂-hintana 50 €/tonni. Tällä haitta-arvolla tasamallissa ja C-mallissa CO₂-komponentin osuus bensiinin ja dieselin energiaveroista olisi 19 %.

Jos CO₂-haitta arvotettaisiin suuremmaksi, biopolttoaineisiin voitaisiin saada aikaan enemmän säästövaraa. Taulukossa 6.8 on laskettu verot ja polttoainehinnat C-mallin pohjalta käyttämällä CO₂:n hintana 100 €/tonni. Bensiinin, dieselin ja maakaasun verosumma on pidetty vakiona, mutta energiaosuuden ja CO₂-osuuden suhteet muuttuvat. Energiavero ilman laaturorrastusta on nyt kaikilla vaihtoehtoilla 0,012 €/MJ (50 €/t tapauksessa 0,0157 €/MJ). CO₂-verokomponentin osuus bensiinissä ja dieselissä olisi nyt 38 % ja maakaasussa energiaveron laaturorrastus huomioiden 44 % energiaveroista. Tämäkin esimerkki on laskettu CO₂-tehokkaille biopolttoaineille, jotka on kokonaan huojennettu CO₂-verosuudesta.

Tässä laskentaesimerkissä tavanomaisen dieselpolttoaineen ja BTL:n pumpuhinta olisi sama, 1,36 €/l, eli laskua BTL:n osalta olisi 0,15 €/l. Etanolin pumpuhinta laskisi 0,09 €/l ja biokaasun 0,22 €/kg. Suurempi CO₂-haitta-arvo tuottaisi kokonaiskustannuksissa marginaalisesti etua etanolille, biokaasulle ja BTL:lle, noin 0,01 €/km. Tämä toisi BTL:n likimain samalle tasolle kuin tavanomaisen dieselin (polttoaineen litrahinta sama mutta tilavuuspohjainen kulutus hieman suurempi BTL:llä) muttei laskisi etanolia vielä bensiinin tasolle.

Akkusähköllä hyöty olisi 0,004 €/km, *plug-in*-autossa 0,003 €/km ja maakaasulla 0,002 €/km.

Taulukko 6.8. C-tapaus laskettuna CO₂-hinnalla 100 €/tonni.

	Bensiini	ETOH	Diesel	BTL	Maakaasu	Biokaasu	Sähkö
Bens. ekvivalenttihinna		1,41			1,15	0,96	
Hinta	1,20	0,93	1,36	1,36	1,80	1,50	0,162
Verot yhteensä	0,842	0,426	0,941	0,557	0,96	0,62	0,07256
ALV	0,216	0,167	0,244	0,245	0,33	0,27	0,02923
Energiaverot yht.	0,626	0,259	0,697	0,312	0,631	0,350	0,04333
Energiaosuus lopullinen	0,384	0,252	0,430	0,308	0,350	0,350	0,04320
Laaturorrastus	0,000	0,000	0,000	-0,100	-0,250	-0,250	0,00000
Energiaosuus perus	0,384	0,252	0,430	0,408	0,600	0,600	0,04320
Huoltovarmuus	0,007	0,007	0,004	0,004	0,001	0,000	0,00013
CO ₂ -osuus	0,235	0,000	0,264	0,000	0,280	0,000	0,00000
Veroton hinta	0,357	0,50	0,414	0,800	0,848	0,880	0,08953
CO ₂ -osuus energiaveroista	38	0	38	0	44	0	0

6.7.3 CO₂:n ja polttoaineiden hinnat (D)

Tässä on tarkasteltu niin CO₂-veron suuruuden (50 ja 100 €/tonni) kuin eri polttoaineiden verottomien hintojen vaikutuksia polttoainevaihtoehtojen hintasuhteisiin. Laskenta on tehty pääpiirteittäin D-mallin mukaan.

Tarkastelussa perinteiset (ei tuplalaskettavat) biokomponentit huojennetaan CO₂-verosta todellisten CO₂-päästöjen perusteella, ja tuplalaskettavat komponentit saavat täydellisen CO₂-huojennuksen.

Kuvassa 6.20 on esitetty tarkastelu siitä, miten CO₂- ja laatuporrastus kohtelisi erilaisia dieselpolttoaineita. Perusdieselin verokertymä on vakioitu, ts. energia- ja CO₂-komponenttien summa dieselillä pysyy vakiona CO₂-haitta-arvon muuttuessa. Tarkasteltavat vaihtoehdot ovat (suluissa arvioitu veroton hinta)

- perinteinen diesel (0,414 €/l)
- rapsimetyyliesteri RME (0,70 €/l)
- vetykäsitelty kasviöljy HVO (0,75 €/l)
- turvepohjainen synteettinen dieselpolttoaine (0,70 €/l)
- varsinainen puupohjainen BTL (0,80 €/l).

Turvepohjaisen dieselin osalta oletetaan, että elinkaaren kasvihuonekaasupäästöt ovat samaa tasoa kuin tavanomaisella dieselillä, joten tälle polttoaineelle, samaten kuin HVO:lle ja BTL:lle, voitaisiin antaa laatupreemio alentuneista lähipäästöistä.

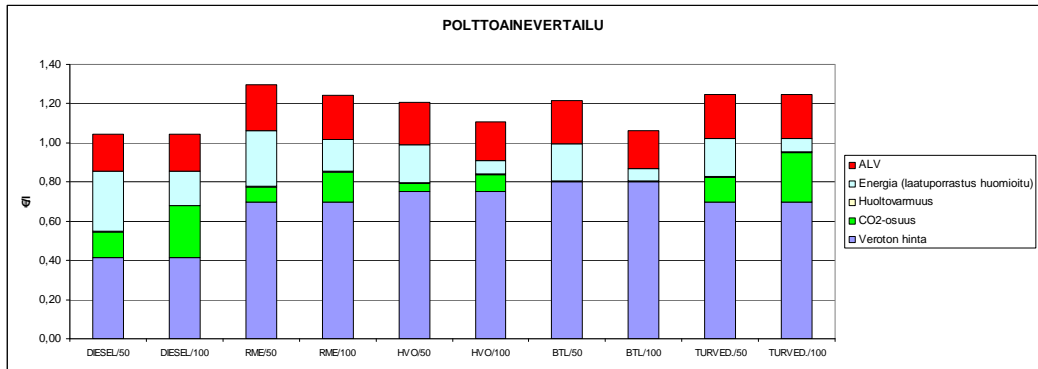
Elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästövähennykset perustuvat seuraaviin RES-direktiivin oletusarvoihin:

- rapsimetyyliesteri RME -38 %
- vetykäsitelty kasviöljy HVO (metaani otetaan talteen öljypuristamalla) -65 %
- varsinainen puupohjainen BTL jätetuusta -95 % (vapautettu CO₂-verokomponentista).

Näillä oletuksilla ja käytettäessä CO₂-hintana 50 €/tonni RME olisi kallein vaihtoehto: 1,30 €/l. HVO ja BTL maksaisivat 1,21–1,22 €/l ja turvepohjainen synteettinen diesel 1,25 €/l. Mikään näistä vaihtoehtoista polttoaineista ei olisi kilpailukykyinen perinteisen dieselin kanssa nykyisellä raakaöljyn hinnalla.

Käytettäessä CO₂-hintana 100 €/tonni perusdieselin ja turvedieselin hinta ei muutu mutta biovaihtoehdot halpenevat 0,06–0,16 €/l – CO₂-tehokas BTL kuitenkin. Nyt perusdieselin ja BTL:n hintaero on enää 0,02 €/l.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu



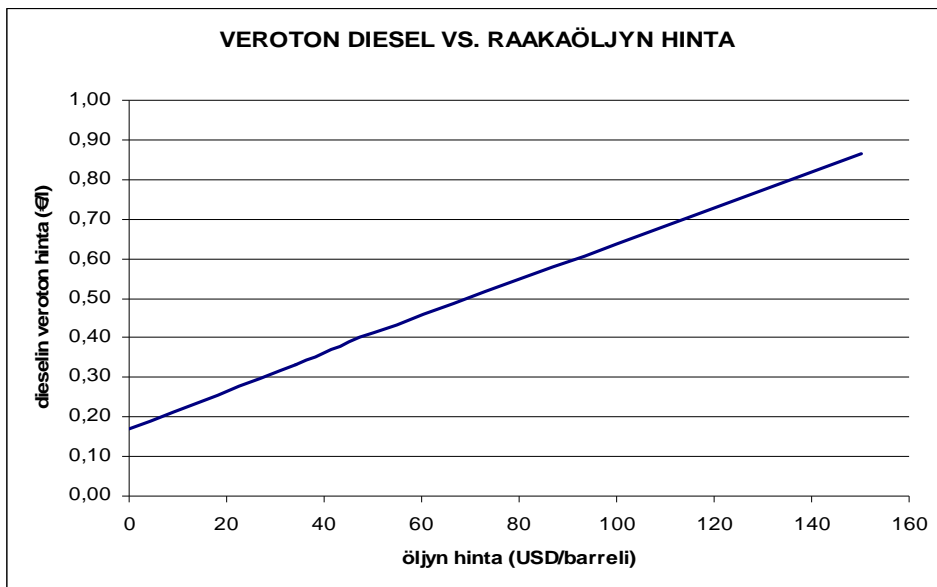
Kuva 6.20. Dieselpolttoaineiden vertailu CO₂-hinnoilla 50 ja 100 €/tonni.

Perustapauksen mukaisella CO₂-hinnalla 50 €/tonni ja D-mallin veroilla HVO:n ja BTL:n pumppuhinnaksi muodostuu 1,21–1,22 €/l. Tämä on myös perusdieselin pumppuhinta, kun dieselin veroton hinta on 0,55 €/l. Kuvassa 6.22 esitetään arvio raakaöljyn hinnan vaikutuksesta dieselpolttoaineen verottomaan hintaan. Kuva perustuu havaintoihin vuosilta 2007–2009. Kuvasta 6.21 taas nähdään, että veroton hinta 0,55 €/l vastaa raakaöljyn hintaa 80 USD/barreli.

Puupohjaisesta BTL:stä voisi siis tulla kilpailukykyinen vaihtoehto käytettäessä joko suurta CO₂-haitta-arvoa (100 €/tonni) nykyisellä öljyn hinnalla (luokkaa 50 USD/barreli) tai pienempää CO₂-haitta-arvoa (50 €/tonni) öljyn hinnan kohotessa noin 60 % nykytasosta. Näin ollen eri vaihtoehtojen kilpailukyky ei sittenkään vaihtele kovin paljon – edellyttäen, että CO₂-verokomponentin osuus nousee ja parafiiniset diesellaadut saavat lisäksi laatu-preemion.

Vastaavasti BTL:n kilpailukyky paranisi, jos komponenttia pystyttäisiin tulevaisuudessa tuottamaan perusolettamusta 0,80 €/l halvemmalla. Asiaa on tarkasteltu kuvassa 6.22, joka on laadittu D-mallin veroilla ja CO₂-haitta-arvolla 50 €/tonni (BTL vapautettu CO₂-verosta). Jos BTL:n veroton hinta olisi noin 0,65 €/litra, verollinen litrahinta asettuisi samalle tasolle kuin tavanomaisen dieselin hinta. Kuvaan on BTL:n osalta piirretty myös dieselekvivalenttihinta, joka huomioi BTL:n tavanomaista dieseliä hieman pienemmän litramääräisen lämpöarvon. Seoskäytössä alle 30 %:n pitoisuuksilla erolla ei ole käytännön merkitystä, mutta jos käytössä on 100 %:n BTL, volumetrinen kulutus nousee noin 5 %.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

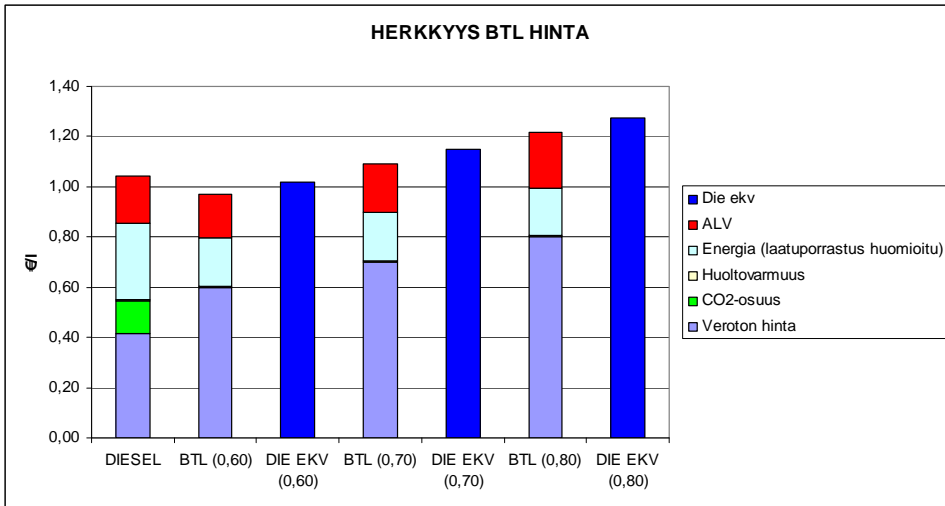


Kuva 6.21. Dieselin veroton hinta raakaöljyn hinnan funktiona.

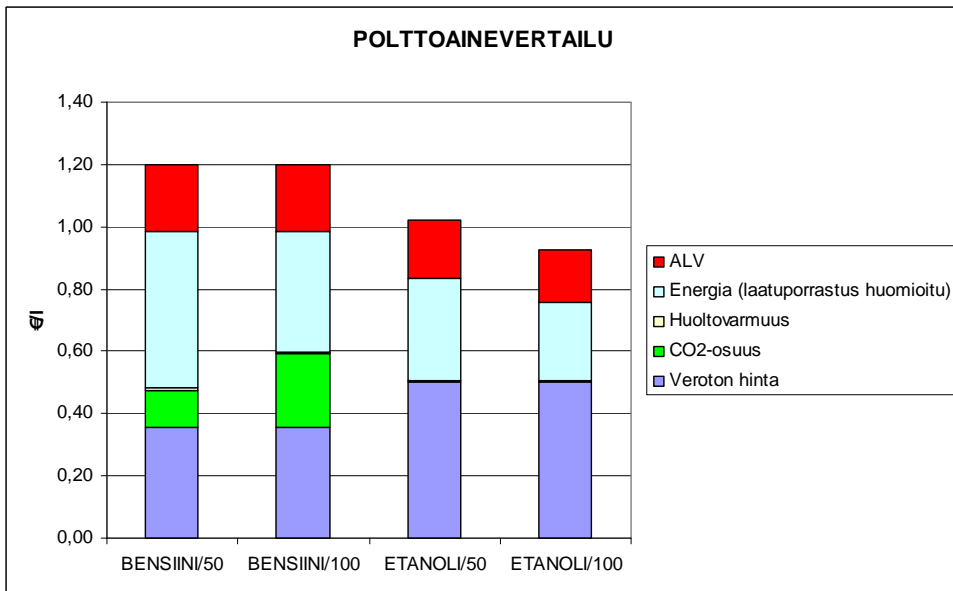
Kuvissa 6.23 ja 6.24 näkyy vastaavat tarkastelut etanolille. Tarkastelut on tehty tuplalaskettavalle etanolille (CO_2 -verokomponentti = 0). D-mallin veroilla ja CO_2 :n haitta-arvolla 100 €/tonni etanolin verottoman hinnan ollessa 0,50 €/l verolliseksi hinnaksi muodostuu 0,92 €/l (kuva 6.24). Tämä on bensiiniekvivalenttina 1,41 €/l. Suurempi CO_2 -haitta-arvo ei siis riitä tekemään etanolista kilpailukykyistä, koska etanolilla ei BTL:n tapaan ole laatupreemiota.

Kuvasta 6.24 nähdään, että etanolin verottoman hinnan tulisi olla noin 0,30 €/l, jotta sen bensiiniekvivalenttihinta vastaisi bensiinin hintaa.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

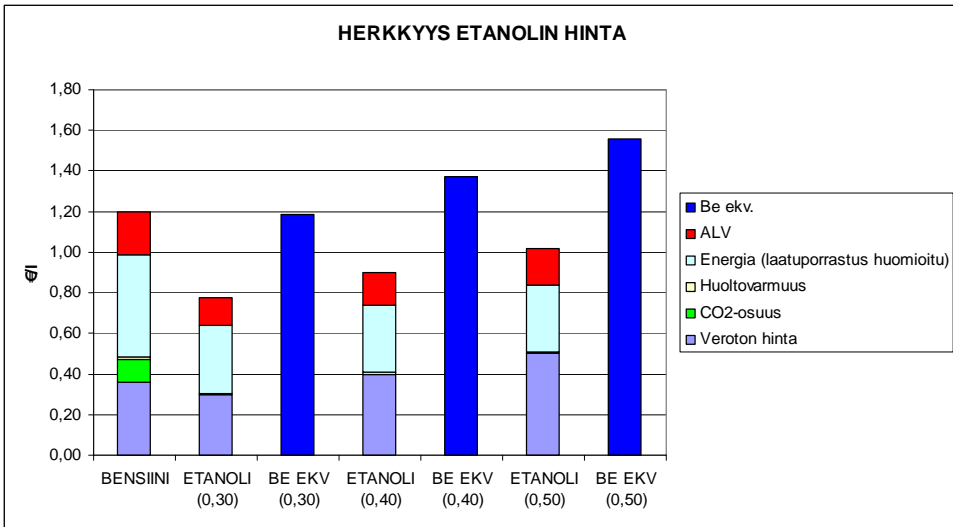


Kuva 6.22. BTL:n verottoman hinnan vaikutus verolliseen hintaan. Suluisissa BTL:n hin-
ta €/litra. Yhtenäiset palkit kuvaavat dieselekvivalenttihin-
taa, joka huomioi dieseliä alhai-
semman tilavuuspohjaisen lämpöarvon. CO₂-haitta-arvona 50 €/t.



Kuva 6.23. Bensiini-etanolivertailu CO₂-hinnoilla 50 ja 100 €/tonni.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

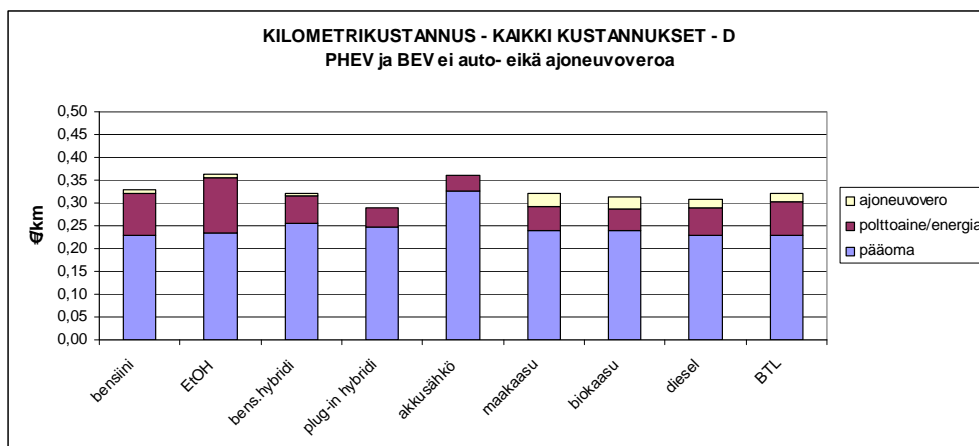


Kuva 6.24. Etanolin verottoman hinnan vaikutus verolliseen hintaan. Suluissa etanolin hinta €/litra. Yhtenäiset palkit kuvaavat bensiiniekvivalenttiahintaa joka huomioi bensiiniä alhaisemman tilavuuspohjaisen lämpöarvon. CO₂-haitta-arvona 50 €/t.

6.7.4 Sähköautojen kustannustarkastelu

Laskennassa on oletettu, että PHEV-hintaisä verottomaan auton hintaan (ilman arvonlisäveroa) on 10 000 € ja akkusähköauton lisähinta 20 000 €. Käyttövoimaveron poisjättäminen ei vielä tee akkusähköautosta kokonaiskustannuksiltaan kilpailukykyistä. Ilman käyttövoimaveroa PHEV-auto sen sijaan on jo hieman bensiiniautoa halvempi ja likimain samalla tasolla kuin perushybridi.

Kuvassa 6.25 on kilometriä kohden lasketut kokonaiskustannukset siinä tapauksessa, ettei sähköautoista (PHEV ja BEV) kannettaisi autoveroa (PHEV 5 152 € ja BEV 6 847 €) eikä vuotuista ajoneuvoveroa. Tässäkin tapauksessa akkusähköauto olisi edelleen kallein vaihtoehto, tosin nyt se olisi samalla tasolla kuin etanoli. PHEV sen sijaan nousisi niukasti edullisimmaksi vaihtoehdoksi (0,29 €/km).



Kuva 6.25. Ajokilometrille lasketut kokonaiskustannukset (pääoma, energia ja vuotuinen ajoneuvovero). Taulukon laadinnassa on käytetty D-mallia, mutta *plug-in*-hybridi ja akkusähköauto on vapautettu sekä autoverosta että vuotuisesta ajoneuvoverosta.

6.8 Arvioita verokertymistä

6.8.1 Sovitetun ympäristömallin vaikutukset eri bioskenaarioissa

Laskennassa tarkasteltiin myös vaikutuksia verokertymiin. Tarkastelun kohteena oli polttoaineverojen ja ajoneuvoveron yhteenlaskettu kertymä. Vuoteen 2020 mennessä polttoainemäärät kääntyvät laskuun EU:n ja kansallisten ilmasto- ja energiatarjoitusten ansioista. Myös kalustojakautumiin, etenkin henkilöautoissa, saattaa tulla muutoksia. Laskennassa on säädetty polttoaineverotusta, eikä esimerkiksi sovitettu ympäristömalli D sisällä sellaisia kannustimia, jotka oleellisesti vaikuttaisivat autokaluston uudistumiseen tai jakautumaan. Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, sähköautojen käytön edistämiseen tarvittaisiin nykyhinnoilla todella merkittäviä kannustimia.

Kertymien tarkastelun lähtökohtana käytettiin vuoden 2008 polttoainemääriä ja verokertymiä. Jos tilannetta yritettäisiin projisoida vuoteen 2020, polttoaineverotukseen tehtävät muutokset, jotka kuitenkin ovat luonteeltaan hienosäätöä, hukkuisivat muihin muutoksiin.

Vuoden 2020 tavoitteet on silti huomioitu siinä mielessä, että tarkastelut on tehty sekä 5,75 %:n (ei-sitova tavoite biopolttoaineille vuodelle 2010) että 10 %:n (sitova uusiutuvan energian tavoite vuodelle 2020) biopolttoaineosuuksille (energiana). Lähtökohtaisesti on ajateltu, että vuoden 2020 tavoite täytetään

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

biopolttoaineilla. Lisäksi on arvioitu, mikä osuus FFV-, kaasu- ja sähköautoilla voisi olla ajoneuvokannassa vuonna 2020, ja nämä luvut on projisoitu tämänhetkisiin polttoainemääriin.

Perustarkastelussa on rajoitettu nestemäisiin biopolttoaineisiin, ja kaasu- ja sähköautoja on tarkasteltu erikseen. Kaasu- ja sähköautojen merkitys jäänee kuitenkin vähäiseksi vielä vuonna 2020, joskin onnistumiset *plug-in*-hybridiautoissa voisivat muuttaa tilannetta.

Tarkasteluun on otettu kahdeksan eri tapausta:

1. Nykytilanne
2. Vain dieselin verotusta muutettu (polttoainevero + dieselhenkilöautojen käyttövoimavero)
3. 5,75 %:n bio-osuus toteutettuna perinteisillä biokomponenteilla
4. 5,75 %:n bio-osuus toteutettuna edistyksellisillä biokomponenteilla (ei CO₂-verokomponenttia), tuplalaskentaa ei huomioitu
5. 10 %:n bio-osuus toteutettuna perinteisillä biokomponenteilla
6. 10 %:n bio-osuus toteutettuna edistyksellisillä biokomponenteilla (ei CO₂-verokomponenttia), tuplalaskentaa ei huomioitu
7. 5 %:n bio-osuus ($10/2 = 5$, ts. hyödynnetty tuplalaskenta määrien osalta) toteutettuna edistyksellisillä tuplalaskettavilla biokomponenteilla (ei CO₂-verokomponenttia)
8. Kiihdytetty bioskenaario edistyksellisillä biokomponenteilla (sisältää FFV-autoja, 30 % BTL-komponenttia dieselissä yleensä ja 100 % BTL bussikalustossa, biopolttoaineiden osuus energiana noin 30 %).

Perinteisillä biokomponenteilla tarkoitetaan tässä jo tuotannossa olevia, tuplalaskennan ulkopuolelle jääviä komponentteja ja edistyksellisillä biokomponenteilla tuplalaskennan piirissä olevia komponentteja.

RES-direktiivin mukaan tuplalaskenta on pakko hyväksyä. Toisin sanoen jos käytetään tuplalaskettavia biokomponentteja, 5 %:n energiaosuus vuonna 2020 riittää. Tässä tarkastelussa on kuitenkin laskettu myös vaihtoehto, jossa täyden huojennuksen CO₂-verokomponentista saaneita tuplalaskettavia komponentteja käytetään 10 %.

Polttoaineiden laatudirektiivin muutoksen jälkeen bensiinin etanolipitoisuus on enintään 10 tilavuus-% ja dieselin FAME-pitoisuus enintään 7 tilavuus-%.

Näillä pitoisuuksilla on mahdollista saavuttaa keskimääräinen 5,75 %:n energiaosuus.

Bensiinissä 10 %:n etanolipitoisuus vastaa noin 6,8 %:n energiaosuutta. Siispä 10 %:n keskimääräiseen energiaosuuteen pyrittäessä sitä joudutaan kompensoimaan dieselin suuremmalla biokomponenttiosuudella. Tapauksessa 4 (10 % energiaa perinteisillä komponenteilla) dieselissä tarvitaan 7 %:n FAME-pitoisuuden lisäksi 7 % esimerkiksi NExBTL:n tyyppistä komponenttia, jonka pitoisuutta ei ole rajoitettu. Direktiivi tosin sallii kansallisesti suuremmat FAME-pitoisuudet, mutta ne aiheuttavat ongelmia kylmissä olosuhteissa. Tapauksessa 5 bensiinissä on edelleen 10 % (til.) etanolia, ja 10 %:n bioenergiaosuuden saavuttamiseksi dieselissä on keskimäärin 12,5 % BTL-komponenttia.

Kiihdytetyssä bioskenaariossa vuoden 2020 suurin mahdollinen FFV-kanta, 600 000 yksikköä, on projisoitu nykytilanteen polttoainemääriin. Etanolin energiaosuus bensiinipoolista on tässä tapauksessa noin 30 %. Henkilö-, paketti- ja kuorma-autojen dieselissä on 30 % BTL-komponenttia, ja busseissa on käytössä 100 %:n BTL. Kiihdytetyssä bioskenaariossa biopolttoaineiden energiaosuudeksi tulee noin 33 %.

Tapaukset 3–8 on laskettu D-veromallin mukaisesti seuraavilla arvoilla:

- bensiinin ja etanolin energiavero 0,0157 €/MJ
- dieselpolttoaineiden energiavero 0,0086 €/MJ
- CO₂-haitta-arvo 50 €/t
 - CO₂-vero todellisten päästöjen mukaan (benssiini, diesel ja perinteiset biokomponentit)
 - CO₂-vero= 0 tuplalaskennan piirissä oleville biokomponenteille
- CO₂-vähenemät elinkaaren yli (RES-direktiivin oletusarvot)
 - ”perusetanoli” 71 % (sokeriruokopohjainen)
 - FAME 38 %
 - vetykäsitelty palmuöljy (NExBTL) 65 %
- ajoneuvoveron perusveron tuotto nykytilanteen (2008) mukaan
- dieselillä käyttövoimavero, joka henkilöautoilla nykytasoa alempi.

Nykytilanteessa verokertymät ovat polttoaineverojen osalta (benssiini ja diesel) 2 438 M€ ja ajoneuvoveron osalta 692 M€, yhteensä 3 130 M€. Ajoneuvoveron

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

perusveron tuotto on nyt 355 M€ ja käyttövoimaveron 336 M€. Polttoaineverokertymät on laskettu polttoainemääristä ja litramääräisistä veroista. Summat täsmäävät parin prosentin tarkkuudella valtion vuoden 2008 tilinpäätöksessä ilmoitettuihin polttoaineverolukuihin (1 453 M€ ja 943 M€, yhteensä 2 396 M€).

D-malli on lähes veroneutraali. Dieselin vero nousee nykyistä suuremman CO₂-osuuden takia. Dieselhenkilöautojen käyttövoimaveron taas laskee nykyisestä. Biokomponentit saavat osittaisen tai täydellisen huojennuksen CO₂-komponentista.

Dieselpolttoaineella verokertymä on nykytilanteessa 967 M€ polttoaineverojen ollessa 0,364 €/l. D-mallissa dieselin verot ovat yhteensä 0,443 €/l, jolloin dieselpolttoaineen verokertymä ilman muita muutoksia olisi 1 176 M€ eli kasvua olisi 210 M€. D-malli esittää dieselhenkilöautoille pienennettyä käyttövoimaveron, -117 M€, jolloin kokonaisvaikutus ilman biokomponentteja olisi +93 M€ eli +3,0 %. Tätä summaa voitaisiin käyttää kompensoimaan biopolttoaineiden CO₂-huojennuksesta ja laatuporrastuksesta syntyviä veromenetyksiä.

Verokertymät (polttoaineverot + ajoneuvovero) muuttuisivat seuraavasti eri tapauksissa:

1. verokertymä nykytilanteessa 3 130 M€
2. muutettu dieselpolttoaineen vero ja dieselhenkilöautojen käyttövoimaveron
 - verokertymä 3 223 M€ lisäys nykytilanteeseen +3,0 %
3. 5,75 %:n bio-osuus toteutettuna perinteisillä biokomponenteilla
 - verokertymä 3 206 M€ muutos nykyveromallilla laskettuun +2,4 %
4. 5,75 %:n bio-osuus toteutettuna edistyksellisillä biokomponenteilla
 - verokertymä 3 172 M€ muutos nykytilanteeseen +1,4 %
5. 10 %:n bio-osuus toteutettuna perinteisillä biokomponenteilla
 - verokertymä 3 169 M€ muutos nykytilanteeseen +1,3 %
6. 10 %:n bio-osuus toteutettuna edistyksellisillä biokomponenteilla
 - verokertymä 3 127 M€ muutos nykytilanteeseen -0,1 %
7. 10/2= 5 %:n bio-osuus toteutettuna edistyksellisillä tuplalaskettavilla biokomponenteilla
 - verokertymä 3 179 M€ muutos nykytilanteeseen +1,6 %
8. kiihdytetty bioskenaario edistyksellisillä biokomponenteilla
 - verokertymä 2 924 M€ muutos nykytilanteeseen -6,6 %.

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

Polttoaineverojen laskenta polttoainetyypin mukaan ja arvioidut verokertymät on koottu taulukkoon 6.9.

Taulukko 6.9. Arvioidut verokertymät (Ha = henkilöauto, Pa = pakettiauto, Ka = kuorma-auto, La = linja-auto).

	Nykytilanne		2: diesel		3: 5,75 % perus		4: 5,75 % ed.		5: 10 % perus		6: 10 % ed.		7: 5 % ed.		8: Kiihdytetty bio	
	Pa-vero	Ajon.v.	Pa-vero	Ajon.v.	Pa-vero	Ajon.v.	Pa-vero	Ajon.v.	Pa-vero	Ajon.v.	Pa-vero	Ajon.v.	Pa-vero	Ajon.v.	Pa-vero	Ajon.v.
Ha																
Bensiini	1472	266	1472	266	1387	266	1387	266	1372	266	1372	266	1398	266	1030	266
Etanoli					74		69		87		82		60		362	
Yhteensä					1461		1456		1459		1453		1458		1392	
Diesel	276	265	336	148	317	148	317	148	292	148	294	148	319	148	235	148
FAME					17		0		20		0		0		0	
XTL					0		9		13		20		8		47	
Yhteensä					334		326		324		314		327		283	
Pa					0		0		0		0		0		0	
Diesel	176	67	214	67	201	67	201	67	186	67	187	67	203	67	150	67
FAME					11		0		12		0		0		0	
XTL					0		6		8		13		5		30	
Yhteensä					212		207		206		200		208		180	
Ka					0		0		0		0		0		0	
Diesel	443	95	539	95	508	95	508	95	468	95	472	95	512	95	377	95
FAME					28		0		31		0		0		0	
XTL					0		15		21		32		13		76	
Yhteensä					536		523		520		503		525		453	
La					0		0		0		0		0		0	
Diesel	72	0	88	0	83	0	83	0	76	0	77	0	83	0	0	0
FAME					5		0		5		0		0		0	
XTL					0		2		3		5		2		41	
Yhteensä					87		85	0	85		82		86		41	
Yhteensä	2438	692	2648	575	2630	575	2597	575	2594	575	2552	575	2604	575	2349	575
Kaikki yht.	3130		3223		3206		3172		3169		3127		3179		2924	
Muutos-%			3,0		2,4		1,4		1,3		-0,1		1,6		-6,6	

Kiihdytettyä biotapausta lukuun ottamatta biovaihtoehtojen vaikutukset verokertymiin ovat siis varsin pienet, $-0.1...+2,4$ % nykytilanteeseen verrattuna. Tämä tarkoittaa sitä, että ehdotettu veromalli mahdollistaisi hyvien biokomponenttien tukemisen ilman, että verokertymät muuttuisivat oleellisesti. Kiihdytetyssä biotapauksessa verokertymä vähenisi 6,6 % edistyksekkien biopolttoaineiden suosimisen myötä. Kiihdytetty bioskenaario voisi toteutua siinä tapauksessa, että öljyn hinta lähtisi uudelleen voimakkaaseen nousuun ja että biokomponentit olisivat aidosti hintakilpailukykyisiä. Kiihdytettyyn bioskenaarioon sisältyy jo progressiivinen FFV-skenaario (FFV-autojen osuus noin 30 % bensiinautokannasta).

6.8.2 Sähkö- ja kaasuaivot

Progressiivisen skenaarion mukaan (ks. luku 3.3) sähköllä ajettujen kilometrien osuus henkilöautojen ajosuoritteesta voisi olla tasolla 5 % (kanta 170 000 sähkö-

6. Vaihtoehtoisten veromallien tarkastelu

autoa), eli 5 % henkilöautojen polttoainemäärästä korvautuisi sähköllä. D-veromallin mukaan sähköjen käyttöä verotetaan sähkössä olevan veron ja säädetyn käyttövoimaveron kautta niin, että verokertymä on suhteessa energian käyttöön. Sähköauton on oletettu kuluttavan 60 % vähemmän energiaa polttomoottoriautoon verrattuna. Vaikutus verokertymään henkilöautojen lohossa olisi näin ollen noin -2 % ja suhteutettuna koko ajoneuvokalustosta tuleviin verokertymiin noin -1,5 %. Lisäksi on huomioitava, etteivät FFV- ja sähköautojen maksimiskenaariot voi toteutua samanaikaisesti.

Kaasuautojen määrä on kasvanut Suomessa hitaasti. Maksimiskenaariossa voitaisiin ajatella, että Suomeen tulee jatkossa vuosittain 100 bussia ja 2 000 henkilöautoa. Koko kaasuautokanta vuonna 2020 olisi tällöin alle 25 000 yksikköä, joten kaasuautoilta kerättävillä veroilla ei ole suurta merkitystä kokonaisuuden kannalta.

6.8.3 Arvio polttoainemäärien ja polttoaineverotuoton kehittymisestä

EU:n ja kansallisten energia- ja ilmastotavoitteiden takia voidaan olettaa, että liikennepolttoaineiden kulutus pienenee energiatehokkuuden parantumisen myötä noin 15 %, eli vaikutus vuonna 2020 polttoaineveron tuottoon on vuositasolla 350–400 M€ suoritteiden säilyessä muuttumattomina. Jos liikenteestä kerättävä verotuotto halutaan säilyttää, verotasoihin syntyy korotustarpeita.

6.8.4 Arvio auto- ja ajoneuvoveron tuoton kehittymisestä

Vuonna 2008 autoveron kokonaistuotto oli 1 016 M€ Keskimääräinen uusien henkilöautojen CO₂-päästö oli tullin ilmoituksen mukaan 161 g/km, joten autoveroprosentti oli keskimäärin 24,5 %. AKE:n tilastojen mukaan vuonna 2008 rekisteröitiin 139 535 uutta henkilöautoa.

EU:n alustava vuoden 2020 tavoite uusien henkilöautojen CO₂-päästölle on 95 g/km. Tätä vastaava nykyjärjestelmän mukainen autoveroprosentti on 16,5 %. Jos oletetaan, että uusien autojen veroton hinta pysyy muuttumattomana (päästövähennys saavutetaan pääasiassa tekniikkaa parantamalla eikä autojen kokoa pienentämällä) ja verotettavien autojen määrä pysyy samana, autoveron tuotto vuoden 2020 tilanteessa olisi enää noin 600 M€ Vajausta nykytilanteeseen verrattuna syntyisi tällöin yli 400 M€ Jos päästövähennemät saavutetaan ensisijaisesti autojen kokoa pienentämällä, tuotto olisi tätäkin vähäisempi. Sähköautojen

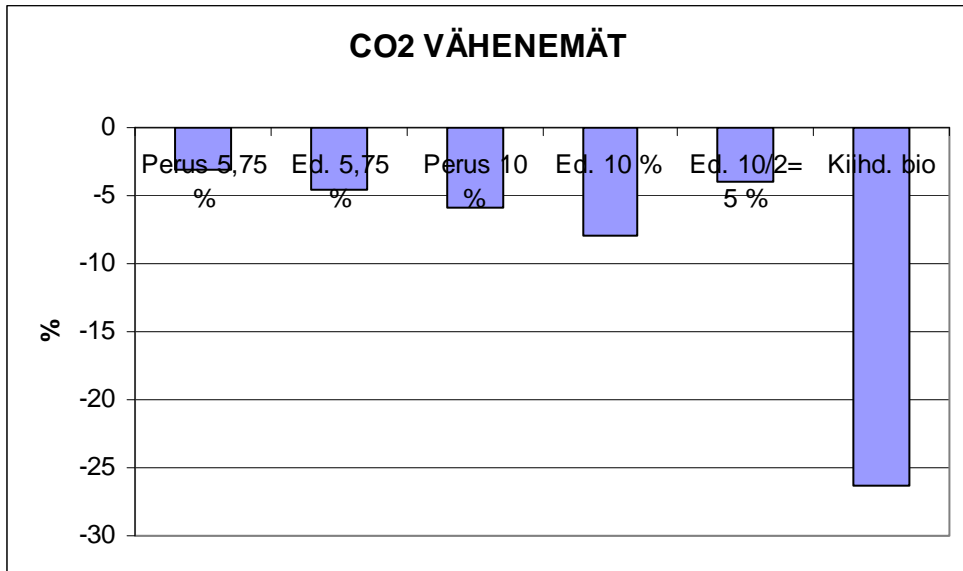
autoveroprosentti on nykyäänöillä minimissään, 12,2 %. Sähköautojen yleistyminen vähentäisi sekin autoveron tuottoa.

Tilanne on samantapainen ajoneuvoveron perusosan kohdalla vuonna 2020. Vuonna 2008 henkilöautojen ajoneuvoveron perusosan kertymä oli 316 M€ Jos uusien henkilöautojen CO₂-päästö olisi 95 g/km vuonna 2020, kannan keskimääräinen CO₂-päästö voisi olla noin 140 g/km. Tämä tarkoittaa, että ajoneuvoveron perusosan tuotto vuonna 2020 olisi 190 M€

6.9 Tarkasteltujen bioskenaarioiden vaikutukset CO₂-päästöihin

Verokertymien laskentapohja tehtiin siten, että se laskee myös CO₂-päästöjä. Perinteisille ei-tuplalaskettaville biokomponenteille käytetään luvussa 6.8.1 mainittuja RES-direktiivin mukaisia CO₂-vähennemien oletusarvoja. Tuplalaskettavien komponenttien CO₂-vähennemäksi on arvioitu 80 % kuten veromallien tarkastelussa. Puupohjaisilla BTL-tuotteilla luku voisi olla suurempikin.

Kuvassa 6.26 esitetään arvio prosentuaalisista CO₂-vähennemistä luvun 6.8.1 biopoltoaineskenaarioille 3–8. Nykytilanteessa maantieliikenteen CO₂-päästö on noin 12,5 miljoonaa tonnia/vuosi. Kiihdytetty bioskenaario leikkaisi CO₂-päästöjä noin 25 %, muut skenaariot 3–8 %.



Kuva 6.26. Arvio suhteellisista CO₂-vähennemistä.

7. Näkökohtia kotimaisten biopolttoaineiden liiketoimintamahdollisuuksista

Koska autokanta uudistuu hitaasti, nopein tapa tuoda uusiutuvaa ja vähän hiilidioksidia vapauttavaa energiaa liikenteeseen on kehittää sellaisia biopolttoaineita, jotka sopivat suurina pitoisuuksina nykyaikaluokkaan. Tämä voisi luoda liiketoimintamahdollisuuksia suomalaiselle teollisuudelle. Koska meillä ei ole merkittävää valmistavaa autoteollisuutta, uusien ajoneuvoteknologioiden tukeminen hyödyttää enemmän ulkomaisia kuin kotimaisia toimijoita. EU:ssa ja autonvalmistajamaissa harkitaan erilaisia autoteollisuuteen suunnattuja suoria ja välillisiä elvytys- ja tukitoimia. Esimerkiksi Saksassa on otettu käyttöön 2 500 €n romutuspalkkio vanhoille autoille. EU:n *Green Car Initiative* taas tähtää vahvasti henkilöautojen sähköistämiseen. Suomessa TEMin asettama työryhmä on selvittänyt mahdollisuuksia kehittää suomalaista liiketoimintaa sähköautoista ja niiden komponenteista.

Seuraavassa on tarkasteltu lyhyesti liikenteen uusiutuvien energialähteiden liiketoimintamahdollisuuksia vuoteen 2020 mennessä sekä Suomessa että Euroopassa. Lähtökohdana on uusiutuvien energialähteiden edistämistä koskevan direktiivin vaatimus uusiutuvan energian 10 %:n osuudesta liikennepolttoaineiden energiakäytöstä vuonna 2020. Skenaariotyypin tarkastelun arviot on esitetty sekä 10 %:n toteutukselle perinteisillä, ensimmäisen sukupolven liikenteen biopolttoaineilla että vaihtoehtoisesti niin, että koko biopolttoainemäärä katettaisiin biopolttoaineilla, jotka huomioidaan veloitteessa ns. tuplalaskennan kautta (eli toisen sukupolven biopolttoaineilla, jotka valmistettaisiin jätteistä ja tähteistä). Lisäksi on arvioitu suuruusluokanomaisesta suomalaisen uusviennin mahdollisuuksia ja työllisyysvaikutuksia.

Liikenteen energiakulutus oli vuonna 2006 noin 51 TWh (4,3 Mtoe). Energia- ja ilmastostrategiassa liikenteen energiakulutuksen on arvioitu olevan vuonna 2020 perusurassa noin 58 TWh (4,9 Mtoe) ja tavoiteurassa 48 TWh (4,1 Mtoe).

7. Näkökohtia kotimaisten biopolttoaineiden liiketoimintamahdollisuuksista

Vuonna 2007 maantieliikenteen energiankulutus oli 163 PJ (3,9 Mtoe). Seuraavassa tarkastelussa oletetaan vuonna 2020 maantieliikenteen energiakulutukseksi Suomessa 4 Mtoe sekä Euroopan (EU-27) kulutukseksi 400 Mtoe/a.

Biopolttoaineiden kulutus olisi Suomessa vuonna 2020 siis 10 % eli 400 000 toe/a tai alimmillaan 5 % eli 200 000 toe/a, jos 10 %:n tavoite toteutetaan tuplaskettavilla jäte- ja metsätähddepohjaisilla biopolttoaineilla. Jos sähköautot yleistyisivät laajasti, kuten luvussa 3.3 on kuvattu, olisi niiden osuus arviolta 2 % yksikköä RES-direktiivin tavoitteesta vuonna 2020, mikä vastaa runsaan 1 TWh/a:n sähköenergiaa. Tällöin vastaavat biopolttoainemäärät olisivat 8 % eli 320 000 toe/a ja 4 % eli 160 000 toe/a.

Jakeluvetoilain mukainen 4 %:n määräraamus vuodelle 2009 vastaa 160 000 toe/a biopolttoainetta. Vuoden 2009 lopulla Suomessa valmistetaan kasviöljypohjaista parafiinista dieselöljyä noin 340 000 toe/a sekä jättepohjaista etanolia noin 1 000 toe/a. Lisäksi valmistetaan biokaasuja kaasuautoihin megawattitasolla, mikä vastaa noin 1 000 toe/a. Maakaasun liikennekäyttö on noin 5 miljoonaa m³/a vastaten noin 4 000 toe/a. Ulkomailta voidaan tuoda lisäksi markkinaehtoisesti etanolia ja RME-biodieseliä.

Suomessa on useita julkistettuja toisen sukupolven biopolttoaineiden kehityshankkeita, jotka tähtäävät jäte-, metsätähdde- ja olkipohjaisten biopolttoaineiden kaupallistamiseen Euroopan markkinoille. Seuraavassa on esitelty niiden esimerkinomaiset tuotantomäärät, investoinnit sekä työllisyysarviot vuoteen 2020 saakka:

- o Parafiininen dieselpolttoaine metsätähteistä
 - Tehtaan tuotantomäärä tyypillisesti 100–250 000 toe/a.
 - Vastaava raaka-ainemäärä 2–5 TWh/a metsätähteitä, ruokohelpeä jne.
 - Investointi tyypillisesti 300–700 M€ kotimaisuusaste noin 60 %.
 - Suorat työpaikat 60 kpl, välilliset työpaikat huomioiden 500 htv.
 - Jos 400 000 toe/a tuotantomäärä Suomessa toteutuisi vuoteen 2020 mennessä, metsätähteiden korjuu ja kuljetukset vaatisivat arviolta 150 M€:n investoinnit ja merkitsisivät 1 300 htv välillistä työpaikkaa: Lisäksi 2–3 biodieseltehtaalalle syntyisi noin 1 000 M€:n investoinnit ja 120 työpaikkaa.
 - Jos Euroopan metsäteollisuuteen kyetään rakentamaan viisi laitosta vuoteen 2020 mennessä, se merkitsisi arviolta 2 000 M€:n investointe-

7. Näkökohtia kotimaisten biopolttoaineiden liiketoimintamahdollisuuksista

ja, joissa suomalainen markkinaosuus olisi ehkä 50 %. Vuoteen 2030 mennessä puupohjaisen biodieseltuotannon potentiaali Euroopassa vastaisi 10–30 laitosta.

- Jätepohjainen etanoli matalaseoskäytössä tai FFV-ajoneuvoissa
 - Elintarviketeollisuuden tärkkelys- ja sokeripitoisista sivuvirroista, yhdyskuntajätteistä, biojätteistä sekä kuitupitoisista pakkausjätteistä 10–50 000 toe/a.
 - Tyypillisesti tuotanto 5 000–20 000 toe/laitos käyttäen 30–100 000 t/a raaka-ainetta, lisäksi mahdollisuus biokaasun tuotantoon 15 000 toe/a. Tämä biokaasumäärä vastaa noin 250 kaasulinja-auton kulutusta.
 - Investointi esimerkiksi 5–40 M€ kotimaisuusaste 60–80 %.
 - Suorat työpaikat tehtaalla 10–20 htv normaalien jätekuljetuksien lisäksi.
 - Jos 100 000 toe:n/a tuotantomäärä toteutuisi Suomessa vuoteen 2020, etanolitehtaiden investoinnit voisivat olla 200 M€ Tämä loisi runsaat sata uutta työpaikkaa.
 - Euroopassa kaatopaikkadirektiivin seuraavan vaiheen toteutus vuonna 2016 edellyttäneen runsaan 100 Mt/a:n jätemäärän vähennystä, kierrätystä tai energiakäyttöä. Jos 20 000 toe/a:n etanolitehtaita rakennettaisiin 20–50 kpl, investointeja tarvittaisiin 800–2 000 M€n edestä. Ne voidaan toteuttaa myös esimerkkilaitoksia pienempinä yksiköinä.
- Biokaasu kaasuautojen polttoaineena
 - Biokaasua vastaavan maakaasun liikennekäyttö on Suomessa keskitynyt pääkaupunkiseudun linja-autoihin. Noin 150 linja-auton kaasun kulutus on noin 5 000 toe/a.
 - Biokaasun tuotantomahdollisuuksia kehitetään sekä yhdyskuntien jätevesilietteiden että biologisten jätteiden käsittelyyn. Merkittävän yksittäinen kaasulähde on Ämmäsuon kaatopaikka.
 - Jos biokaasupohjaiselle sähköntuotannolle asetetaan vuonna 2009 korkea syöttötariffi, ohjautuu biokaasu todennäköisesti sähkömarkkinoille eikä liikenteeseen.

7. Näkökohtia kotimaisten biopolttoaineiden liiketoimintamahdollisuuksista

- Sähköautot ja niiden voimalinjojen valmistus
 - Työ- ja elinkeinoministeriön asettama työryhmä arvioi kesään 2009 mennessä sähköautoihin liittyviä liiketoimintapotentiaaleja.
 - Jos arvioidaan luvun 3.3 pohjalta, että sähköautot vuonna 2020 vastaavat 2 %:a liikenteen energiamäärästä, olisi uusien voimaloiden tuotantomäärän tarve noin 1 TWh/a, joka vastaisi 130 MWe:n sähkötehoa perusvoimalaitoksissa. Näin pientä tuotantomäärää varten ei todennäköisesti tarvitse rakentaa uutta uusiutuviin energialähteisiin perustuvaa sähköntuotantoa.
 - Koska sähköautojen tuotanto näillä näkymin tulee keskittymään Suomessa erikoisautoihin, uudet liiketoimintamahdollisuudet lienevät vähäiset.
 - Sähköautokomponenttien valmistus ja vienti voivat kuitenkin kasvaa nopeasti.

Jakeluvelvoitetta käytetään usein kiihdyttämään nykyiseen ajoneuvokalustoon sopivia biokomponenttiratkaisuja. Suomessa on vuodesta 2009 alkaen velvoite sekoittaa 4 % biopolttoaineita polttoaineisiin ja velvoitetta ollaan muuttamassa RES-direktiivin tavoitteiden mukaiseksi. Perinteisillä biokomponenteilla (etanoli, RME) bensiini- ja dieselkalustoon saavutetaan vain noin 6,5 %:n energiamäärä EU:n uuden polttoaineiden laatudirektiivin puitteissa, eikä RES-direktiivin 10 %:n velvoite siten täyty. Velvoitteen täyttämiseen tarvitaan uusia ratkaisuja, etenkin korkeaseosteisia biokomponentteja. Parafiinisille dieselpolttoaineille tai korkeaseosteisille alkoholeille tämä on uusi, huomattava markkinamahdollisuus. Komissio selvittää parhaillaan mahdollisuuksia käyttää 10–25 %:n etanolipitoisuutta tavanomaisissa autoissa ja on lisäksi velvoittanut CEN:n laatimaan EN590-standardista version, joka sallisi 10 % FAMEa dieselpolttoaineessa.

Investointeja biopolttoaineiden tuotantolaitoksiin voidaan kiihdyttää joko uuden teknologian riskinjakoon tähtäävillä investointiavustuksilla tai määräaikaissilla verohuojennuksilla. Ruotsissa on käytössä vihreät sertifikaatit myös liikennepolttoaineilla.

Korkeaseosteisia FFV-etanoli- ja kaasuautoja on Ruotsissa tuettu ostajan hankintatuen sekä antamalla näille autoille esimerkiksi Tukholmassa ilmainen pysäköintioikeus ja vapautus ruuhkamaksuista. Osin näitä ympäristöystävällisille autoille (*miljöbil*) myönnettyjä etuisuuksia ollaan nyt purkamassa tai tarkistamassa.

7. Näkökohtia kotimaisten biopolttoaineiden liiketoimintamahdollisuuksista

Kaasu- tai sähköautojen markkinoille tuloa voidaan haluttaessa kiihdyttää antamalla ostajalle esimerkiksi määräaikaista tukea vähäpäästöisen ajoneuvon ostoon. Erityisesti sähköauto ei ole nykyisellä hintarakenteella kuluttajan näkökulmasta kilpailukykyinen bensiiniautoon verrattuna. Sähköautojen edistämistä ei kuitenkaan juuri synny uutta kotimaista liiketoimintaa. Suomessa pääpainon tulisi siis olla uusien polttoaineiden tuotannossa ja viennissä.

RES-direktiivi vaatii, että uusiutuvan energian osuus liikenteessä olisi jatkossa 10 %. Tätä voi kuitenkin olla Suomessa haasteellista saavuttaa tuottamalla toisen sukupolven biopolttoaineita kotimaisista raaka-aineista. Rajoittavaksi tekijäksi voi muodostua raaka-aineiden saatavuus ja hinta, sillä sähkön ja lämmön tuotantoon tarvitaan myös yhä suurempia biomassamääriä. Niissä maksukyky saattaa olla liikennepolttoaineita parempi.

Nykyiset ulkomaisiin kasviöljylähteisiin perustuvat parafiinisen dieselöljyn (NExBTL) tuotantolaitokset kykenisivät tuottamaan laskennallisesti 9 % liikennepolttoaineiden kulutuksesta vuonna 2020. NExBTL, jätepohjainen etanoli ja biokaasu yhdessä yleistyvien sähköautojen kanssa täyttäisivät todennäköisesti asetetut 10 %:n määrätarpeet.

Tässä raportissa esitetty veromalli tukisi ensisijaisesti tuplalaskettavia uusia biopolttoaineita, ja verohuojennukset jäte- ja metsätähdepohjaisille polttoaineille yhdistettynä parafiinisen dieselpolttoaineen ja metaanin laatupreemioon tukevat korkealaatuisten biokomponenttien markkinoille tuloa. Tässä selvityksessä esitetty sovitettu ympäristöveromalli (D) parantaisi kotimaisten jäte- ja metsätähdepohjaisten biopolttoaineiden kilpailukykyä ja voisi jopa tehdä niistä kilpailukykyisiä tuontietanoliin tai -biodieseliin verrattuna. Jos samat veroratkaisut toteutuisivat myös muualla Euroopassa, parantuisi eurooppalaisten raaka-aineiden kilpailukyky tuontipolttoaineisiin nähden. Suurin haaste investoijille on raakaöljyn hinnan suuri volatiliteetti, ja satojen miljoonien eurojen biopolttoainetehdasinvestointeja tuleekin tarkastella mahdollisten takuuhintaratkaisujen tai vastaavien riskinhallintajärjestelmien näkökulmasta.

8. Yhteenveto ja johtopäätökset

Liikenteen ja erityisesti henkilöautojen CO₂-päästöjä voidaan vähentää energia-
tehokkuuden parantamisella, CO₂-tehokkailla biopolttoaineilla, autojen sähköis-
tämällä ja pitkällä aikavälillä mahdollisesti polttokennoautoilla. Energian sääs-
tö, jos se tapahtuu pienentämällä autojen kokoa ja tinkimällä niiden suoritusky-
vystä, on ylivoimaisesti kustannustehokkain tapa henkilöautoliikenteen CO₂-
päästöjen vähentämiseksi. Tältä osin uudistettu auto- ja ajoneuvoverotus ohjaa-
vat kulutusta oikealla tavalla.

Autokaluston ympäristökuorma muodostuu toisaalta CO₂:sta ja toisaalta hai-
tallisista lähipäästöistä, ensisijaisesti hiukkasista ja typen oksideista. Henkilöau-
tojen autovero on ollut vuodesta 2008 lähtien CO₂-pohjainen, ja uusi järjestelmä
on ohjannut kuluttajia energiatehokkaampien henkilöautojen hankintaan. Paket-
tiautojen autovero muuttui CO₂-pohjaiseksi keväällä 2009, ja vuotuisen ajoneu-
voveron perusosa muuttuu CO₂-pohjaiseksi vuonna 2010. Looginen jatko tälle
kehitykselle olisi polttoaineveron sitominen toisaalta energiaan ja toisaalta hiili-
intensiiteettiin.

Kiristyvät pakokaasumääräykset tulevat vähentämään haitallisia lähipäästöjä
merkittävästi. Euro 5 -tasoisissa dieselhenkilöautoissa käytetään varsinaisia
hiukkassuodattimia, jolloin dieselhenkilöauton päästöhaitta ei enää oleellisesti
poikkea bensiiniauton päästöhaitasta. Vuoden 2012 lopulla voimaan tulevat ras-
kaan kaluston Euro VI -määräykset tarkoittavat, että uudet raskaat ajoneuvot
tulevat olemaan lähes nollapäästöisiä 90-luvun alkupuolen kalustoon verrattuna.

Positiivinen kehitys ajoneuvojen päästönormeissa tarkoittaa myös sitä, että
polttoaineen koostumus vaikuttaa jatkossa yhä vähemmän absoluuttisiin päästö-
määriin, sillä kehittyneet järjestelmät hoitavat yhä suuremman osan pakokaasu-
jen puhdistuksesta. Nykykalustossa voidaan kuitenkin vähentää haitallisia lähi-
päästöjä tietyillä polttoainelaaduilla. Kehittyneet polttoainejärjestelmät ja pako-

8. Yhteenveto ja johtopäätökset

kaasujen jälkikäsitteilylaitteet asettavat silti jatkossa entistä tiukempia rajoja polttoaineen epäpuhtauksille.

Tärkeimmät lähipäästöjä vähentävät polttoainevaihtoehdot ovat parafiininen dieselpolttoaine, metaani ja pienmoottorien alkylaattibensiini. Haitallisten päästöjen osalta parafiininen dieselpolttoaine vähentää pienhiukkaspäästöjä 30 % ja typen oksideja 10 %. Alkylaattibensiini vähentää pienkoneissa terveydelle haitallisia hiilivetyypäästöjä. Maakaasu (metaani) pienentää huomattavasti pienhiukkaspäästöjen ja typenoksidien määrää.

Laskennallisesti voidaan osoittaa, että parafiinisen dieselpolttoaineen ja metaanin laskennallinen päästöhyöty on noin 0,10–0,20 €/polttoainelitralta. Näille polttoaineille voitaisiin siis antaa vastaava laatuun perustuva verohuojennus. Laatuun perustuvalla veroporrastuksella on kuitenkin tietty aikaikkuna. Vuonna 2020 autokalusto on todennäköisesti uusiutunut jo siinä määrin, ettei lähipäästöihin perustuvalla polttoaineiden laatuporttustuksella enää ole perusteita.

Pienmoottoribensiinin (alkylaattibensiinin) päästöhyötyjä on hankalampi arvioida. Se on sikäli erikoistapaus, että sillä saavutetaan päästöhyötyjä lähinnä pienmoottoreissa, joissa ei ole varsinaista pakokaasujen puhdistustekniikkaa. Pienmoottoribensiinistä ei olisikaan vastaavaa hyötyä esimerkiksi katalyysaattorilla varustetussa bensiiniautossa. Alkylaattibensiinin käyttöä pienkoneissa voitaisiin edistää veroporrastuksella.

Parhaimmilla biopolttoaineilla on mahdollista saavuttaa yli 80 %:n CO₂-vähenemä fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Samaan päästövähennykseen voidaan päästä myös sähköautoilla, kun sähkön tuotannon hiilidioksidipäästönä käytetään Suomen keskimääräistä päästötasoa. Maakaasun korvattu bensiiniä kasvihuonekaasupäästöt pienenevät noin 20 %:lla. Jätteistä tuotetulla biokaasulla on erittäin edullinen CO₂-tase.

Voidaan siis hyvinkin todeta, että nykyisiä polttoainelaatuja parempia polttoaineita tai vaihtoehtoisia energialähteitä on olemassa sekä hiilidioksidi- että haitallisten päästöjen osalta. Lisäksi näitä polttoaineita on jo markkinoilla. Parhaimmat vaihtoehdot vaikuttavat sekä hiilidioksidipäästöjen vähentymiseen että kaupunki-ilman laadun parantumiseen. Bensiinikäyttöisten autojen kohdalla on kuitenkin huomioitava, että tietyt polttoaineet lisäävät ei-toivottuja haihtumapäästöjä.

Nykyisten parempilaatuisten polttoaineiden käyttöä ja uusien markkinoille tuloa voidaan edistää polttoaineverotuksen laatuporttustuksella. Tällaisesta on esimerkiksi aikaisemmin käytössä ollut laajempi laatuporttustus, jossa ns. reformuloitu bensiini ja rikittömät diesel saivat verohuojennuksen. Nykyisin rikittömällä bensiinil-

lä ja dieselillä (maks. 10 ppm S) on vielä pieni verohuojennus, 2,65 cmt/l, jolle ei kuitenkaan enää ole perusteita rikittömän polttoaineen tultua pakolliseksi.

Kevyelle polttoöljylle ei ole olemassa rikkipitoisuuden tai muuhun laatuun perustuvaa veroporrastusta, mutta lämmityksessä ja työkoneiden ja kiinteästi asennettujen moottoreiden polttoaineena käytettävä biopolttoöljy on vapautettu verosta. Kevyelle polttoöljylle voisi harkita rikkipitoisuuden perustuvan veroporrastuksen käyttöönottoa.

Nykyinen polttoaineverojärjestelmä on tehty bensiinille ja dieselille, ja se kohtelee eri polttoainevaihtoehtoja varsin epätasaisesti. Maakaasun ja biokaasun verotus on erittäin lievää. Nykyjärjestelmä ei tunnista eikä huojenna lähipäästöjä vähentäviä nestemäisiä polttoainelaatuja, ja sen ympäristöohjaus on hyvin maltillista. Uusia polttoaineita ja ajoneuvoteknologioita ei ole otettu riittävästi huomioon.

Nykyinen nestemäisten polttoaineiden verotus on tilavuusperusteinen: Tämä vääristää tilannetta varsinkin etanolin osalta, koska etanolin lämpöarvo on vain noin kaksi kolmasosaa bensiinin lämpöarvosta. Polttoainevero pitäisi suhteuttaa lämpöarvoon tai energiasisältöön. Nyt energiaan suhteutettu perusvero vaihtelee välillä 0–0,027 €/MJ (benziini 0,018 €/MJ, etanoli 0,027 €/MJ, diesel 0,009 €/MJ, metaani 0 €/MJ, sähkö 0,002 €/MJ).

Nykyisessä polttoaineverotuksessa CO₂:a ei kohdella johdonmukaisesti. Bensiinissä ja dieselissä CO₂ on huomioitu arvolla 20 €/tonni mutta maakaasussa arvolla 10 €/tonni. CO₂:lle käytetty hinta 20 €/tonni on liian alhainen, jotta se voisi toimia ympäristömielessä ohjaavasti. Esimerkiksi bensiinissä CO₂-veron osuus energiaveroista on vain 8 % ja dieselissäkin vain 15 %. Nestemäisistä biopolttoaineista peritään bensiinin tai dieselin koko vero, myös CO₂-vero, mutta biokaasu on vapautettu verosta kokonaan.

Periaatteessa yksinkertainen tapa huomioida eri polttoainevaihtoehtojen ympäristöominaisuuksia olisi polttoaineveron jakaminen nykyistä selvemmin energia- ja CO₂-komponenttiin. Jotta järjestelmä olisi objektiivinen, verokomponentit tulisi suhteuttaa todelliseen energiasisältöön ja todellisiin CO₂-päästöihin. Näin menetellen esimerkiksi etanolin kilpailukyky paranisi. Koko polttoaineketjun CO₂-päästöihin vaikuttaa polttoaineen hiili-intensiteetin lisäksi myös itse ajoneuvon hyötysuhde tai energian kulutus.

RES-direktiivi asettaa uusiutuvan energian osuudelle liikenteessä 10 %:n (energiana) tavoitteen vuodelle 2020. Tavoitteen täyttämiseen tullaan ensisijaisesti käyttämään biokomponentteja. Autokaluston uudistuminen on niin hidasta, että sähköautojen osuus voi olla arviolta enintään 1–2 % vuonna 2020. Polttoai-

8. Yhteenveto ja johtopäätökset

neverojärjestelmää tulisi kehittää niin, että se edistää parhaimpien polttoaineiden tuotantomahdollisuuksia ja markkinoille tuloa.

Selvityksessä laadittiin laskentamalli nykyisen verotusjärjestelmän analysoimiseksi ja vaihtoehtoisten verotusmallien tarkastelemiseksi henkilöautojen osalta. Analysointiprosessin tuloksena kehitettiin **ympäristömalli**, jonka peruseriaatteet ovat seuraavat:

- energiasisältöön suhteutettu energiaverokomponentti, sama kaikilla polttoaine- tai energiavaihtoehdoilla
- polttoaineen todellisiin CO₂-päästöihin perustuva CO₂-verokomponentti
- CO₂-haitta-arvona 50 €/tonni
- bensiinin verotaso säilyy muuttumattomana, mutta perusveron osuus laskee ja lisä- tai CO₂-veron osuus kasvaa (kaikilla vaihtoehdoilla bensiinin muutettu perusvero-osuus energiasisältöön suhteutettuna)
- kannustimina RES-direktiivin tuplalaskettavilla biokomponenteilla täydellinen huojennus CO₂-verokomponentissa ja lisäksi lähipäästöihin perustuva laatuporrastus parafiiniselle dieselpolttoaineelle ja metaanille
- sähköltä kannettaisiin energiasisältöön suhteutettu energiaverokomponentti mutta ei CO₂-komponenttia, koska sähkön tuotanto on päästökaupan piirissä
- maa- ja biokaasulta kannettaisiin energiasisältöön suhteutettu energiaverokomponentti; hiilidioksidikomponentti kannettaisiin vain fossiiliselta maakaasulta
- edellä mainituista polttoaineiden verotuksen rakennemuutoksista johtuen ei tasapainoverona nykyisin käytettyä käyttövoimaveroa tarvitsisi kantaa henkilöautoilta.

Ympäristömalli kohtelisi eri polttoaine- ja energiavaihtoehtoja objektiivisesti niiden ympäristövaikutusten (energiankäyttö, hiilidioksidi- ja lähipäästöt) mukaan (edellyttäen, että dieselautot on varustettu hiukkassuodattimin). Mallin ongelmana on, että se vaatisi muutoksia maakaasun ja sähkön verotusjärjestelmiin ja että dieselpolttoaineen vero nousisi merkittävästi. Lisäksi malli heikentäisi metaanin (maakaasu ja biokaasu) kilpailukykyä raskaassa kalustossa. Biokaasu on sekä CO₂- että lähipäästöjen osalta yksi parhaimmista biopolttoainevaihtoehdoista.

Sovitetussa ympäristömallissa kaasuihin ja sähkään liittyvät verotusongelmat sekä raskaan kaluston dieselpolttoaineen hintaongelma ratkaistaan porrastetun käyttövoimaveron avulla. Kaasujen ja sähkön verotusjärjestelmä säilyy entisellään. Laskuharjoituksessa dieselpolttoaineen perusvero on säilytetty nykyisellään mutta lisävero-osuus kasvaa, koska käytetään suurempaa CO₂-haitta-arvoa. Porrastettu käyttövoimaveron tarkoittaa, että *plug-in*-hybridillä, akkusähköautolla, metaanikäyttöisillä autoilla ja dieselautoilla olisi kullakin oma sovitettu käyttövoimaveronsa. Sovittaminen tehdään siten, että verotuotto (polttoaineverot ilman arvonlisäveroa ja perusosasta ja käyttövoimaverosta muodostuva ajoneuvovero) muodostuu samaksi kuin ympäristömallissa. Järjestelmä toimii tietyllä kiinteällä vuotuisella ajosuoritteella, joka laskennassa asetettiin 17 000 km:iin.

Dieselpolttoaineen vero nousee sovitetussa ympäristömallissa 0,08 €/l. Oletusarvona oli, että bensiinin verotaso pidetään muuttumattomana, minkä vuoksi dieselpolttoaineen veroa voidaan säätää ylöspäin. EU:n komissio on tasaamassa bensiinin ja dieselpolttoaineen minimiveroja ympäristö- ja kilpailusyistä.

Sovitettu ympäristömalli tasaa sekä verokertymiä että eri vaihtoehtojen kustannuksia kuluttajan näkökulmasta. Malli parantaa metsätähdepohjaisen BTL-dieselpolttoaineen kilpailukykyä oleellisesti nykytilanteeseen verrattuna, koska polttoaine saisi sekä vapautuksen CO₂-verokomponentista että laatupreemion lähipäästöjen perusteella. Malli ei kuitenkaan vielä tee etanolia eikä varsinkaan akkusähköautoa kilpailukykyiseksi. Akkusähköauton ongelmana on sen korkea hinta. Parhaimpien biopolttoaineiden kilpailukykyä voitaisiin parantaa edelleen, jos CO₂-haitta-arvona käytettäisiin esimerkiksi 100 €/tonni peruslaskennassa käytetyn 50 €/tonni asemasta.

Sovitetussa ympäristömallissa kaasut säilyisivät käytännössä verottomina raskaassa kalustossa, jolloin niiden kilpailukyky esimerkiksi bussien polttoaineena pysyisi ennallaan. Sovitetun ympäristömallin mukaan kaasukäyttöisiin henkilöautoihin kohdistuisi käyttövoimaveron, joka lisäisi näiden autojen verorasitusta nykyisestä mutta olisi veromallin mukaisesti neutraali muihin käyttövoimavaihtoehtoihin nähden. Käyttövoimaveron voitaisiin kuitenkin jättää perimättä esimerkiksi vuoteen 2015 tai 2020 asti.

Sovitetussa ympäristömallissa myös *plug-in*-hybridillä ja akkusähköautolla on käyttövoimaveron. Nykyinen hiilidioksidiperusteinen autoveromalli suosii voimakkaasti vähäpäästöisiä ajoneuvoja, kuten sähköautoja. Niistä kannettava autovero on samaa luokkaa tai jopa pienempi kuin perinteisiä käyttövoimaa käyttävien autojen. Tästä huolimatta sähköautot eivät ole tällä hetkellä kilpailukykyisiä niiden kalliista tuotantokustannuksista johtuen. Sähköautojen käytön edistämi-

8. Yhteenveto ja johtopäätökset

seen tarvittaisiin voimakkaita tukia, mutta ne tekevät sähköautot varsin kustannustehottomiksi päästöjen vähentämisessä teknisen kehityksen tässä vaiheessa. Kun sähköautojen tekniikka on kehittynyt ja hinta alentunut, nykyinen hiilidioksidiperusteinen auto- ja ajoneuvoverojärjestelmä takaisi niiden kilpailukyvyn.

Yksi perusolettamus oli myös, että veromallien tulisi olla tuotoltaan neutraaleja. Laskennassa sovitettua ympäristömallia sovellettiin eri biokomponenttiosuuksille, 5,75 %:lle (2010), 10 %:lle (2020) ja lisäksi vuoden 2020 kiihdytylle bioskenaariolle, jossa biopolttoaineiden energiaosuus olisi runsaat 30 %. Laskenta osoitti, että dieselpolttoaineen lisä- tai CO₂-veron nosto riittäisi hyvin kompensoimaan 5,75 ja 10 %:n biokomponenttiosuudet – toteutettiin ne sitten perinteisillä tai edistyksellisillä biokomponenteilla, joille annettaisiin lisäkannustimia (vapautus CO₂-verokomponentista, laatuportastus). Jos edistyksellisten kannustimien piiriin kuuluvien biokomponenttien energiaosuus olisi kiihdytetyn bioskenaarion mukaan runsaat 30 %, yhteenlaskettu sovitettun ympäristömallin verotuotto (polttoaineerot ja ajoneuvovero, jossa portastettu käyttövoimavero) pienenesi noin 6 % nykytilanteeseen verrattuna.

Sovitettu ympäristömalli on edullinen dieselhenkilöautoille. Dieselhenkilöauton päästöhaitta ei kuitenkaan saa olla suurempi kuin bensiiniauton ympäristöhaitta. Tämä toteutuu hiukkassuodattimilla varustetuissa Euro 5 -tasoisissa dieselhenkilöautoissa. Sovitettu ympäristömalli ehdottaa nykyisestä alennettua käyttövoimaveroa dieselhenkilöautoille muun muassa siksi, että dieselpolttoaineen CO₂-vero-osuus kasvaa. Dieselhenkilöautojen osalta voitaisiin käyttää käyttövoimaveron portastusta päästoluokan mukaan. Tarkastelu ja järjestelmä, jossa henkilöautojen eri polttoaineet ja tekniikkavaihtoehdot saatetaan yhteismittaisiksi, voi vaikuttaa haitallisesti tai kustannuksia korottavasti hyötyliikenteeseen, joka on käytännössä kokonaan dieselpolttoaineen varassa.

Tässä työssä ei ole mietitty verotuksen toteutettavuutta eikä valvontaa, ja eri verotusmallien toteutustavat edellyttävät jatkoselvitystä.

Bioenergian käyttö liikenteessä on yleisesti ottaen sähkön ja lämmön tuotantoa kalliimpaa. Selvitystyön lähtökohtana oli, että biopolttoaineiden määrälle asetetut tavoitteet täytettäisiin edelleen jakeluvelvoitteella. Polttoaineverotuksen portastuksella pyritäisiin edistämään hiilidioksidi- ja lähipäästöiltään edullisempien ja kustannustehokkaampien polttoaineiden käyttöä.

OSA II

9. Polttoainevaihtoehdot

9.1 Yleistä

Tässä osiossa tarkastellaan yksityiskohtaisesti eri polttoaineiden ominaisuuksia painottaen loppukäyttöä ja päästövaikutuksia lähipäästöjen osalta.

Bensiini ja diesel tulevat olemaan pääasialliset polttoainevaihtoehdot ainakin vuoteen 2020 asti. Perinteisten polttoainelaatujen koostumukseen ei ole odotettavissa mitään kovin merkittäviä päästöihin vaikuttavia muutoksia. Helpon toimipiteet pakokaasupäästöhaittojen vähentämiseksi on jo tehty: bensiinin lyijy on eliminoitu, rikki poistettu ja aromaattipitoisuutta (benssiinissä erityisesti bentseenipitoisuuden) rajoitettu. Haitallisia terveysvaikutuksia olisi edelleen mahdollista vähentää rajoittamalla dieselpolttoaineen polyaromaattisten hiilivetyjen pitoisuutta, ja näin on tehty Ruotsissa MK1-dieselpolttoaineen tapauksessa. Tässä suhteessa myös synteettiset parafiiniset dieselpolttoaineet ja vetykäsittelyllä tuotettu biopohjainen parafiininen diesel ovat hyviä vaihtoehtoja. Metaani, parafiinisista yksinkertaisin, on lähipäästöjen kannalta erinomainen polttoaine.

Polttoaineen laatudirektiivin päivittäminen rajaa jatkossa bensiinin etanolipitoisuuden 10 %:iin (til.) ja dieselin FAME-pitoisuuden (perinteinen biodiesel) 7 %:iin (til.). Etanolia ja FAMEa tullaan siis jatkossakin käyttämään seoskomponentteina tavanomaisissa polttoaineissa. Em. pitoisuuksilla voidaan kuitenkin korvata vain noin 6,5 %:n energiasta. Komissio selvittää paraikaa mahdollisuuksia käyttää 10–25 %:n etanolipitoisuutta tavanomaisissa autoissa, ja lisäksi se on velvoittanut CEN:n laatimaan EN590-standardista version, joka sallisi 10 % FAMEa dieselpolttoaineessa. Ranskassa FAMEa käytetään esimerkiksi bussikalustossa 30 %:n pitoisuutena.

Sähköautojen tarjonta on tänä päivänä hyvin rajallinen, ja hinta on pienistä sarjoista ja kalliista akuista johtuen kova. Sähköautojen (akkusähköautot ja *plug-in*-hybridit) osuus liikenteen energian käytöstä vuonna 2020 jäänee 1 %:iin tai sen alle.

9. Polttoainevaihtoehdot

Tarvitaan siis perinteisten biokomponenttien ja sähköautojen lisäksi muita vaihtoehtoja RES-direktiivin vuoden 2020 10 %:n uusiutuvan energian tavoitteen saavuttamiseksi (jos ei huomioida RES-direktiivin tuplalaskentasääntöä tietyille biokomponenteille). Dieselpolttoaineessa synteettisiä biokomponentteja, niin Fischer-Tropsch-komponentteja kuin vetykäsittelyllä tuotettuja biokomponentteja, voidaan käyttää FAMEsta poiketen myös suurempina pitoisuuksia. Bensiinikäyttöisissä henkilöautoissa yksi mahdollisuus on korkeaseosteiset alcohopolttotaineet ns. FFV-autoissa.

Vuonna 2020 energia- ja polttoainevalikoima sisältää mitä todennäköisimmin ainakin seuraavat vaihtoehdot:

”Perusvaihtoehdot”

- bensiini (maks. 10 % etanolia)
- diesel (maks. 7 % FAMEa, lisäksi parafiinisia komponentteja korkeammalla seossuhteella)
- maa- ja biokaasu erikoisrakenteisissa autoissa (määrät kuitenkin rajoitettuja).

”Mahdolliset lisävaihtoehdot”

- korkeaseosteiset etanolipolttoaineet FFV-autoissa
- sähköautot (*plug-in*-hybridit ja akkusähköautot, määrät kuitenkin rajalliset)
- parafiiniset *fleet*-polttoaineet raskaassa dieselkalustossa kuten busseissa
- uudet suurten pitoisuuksien biobensiinikomponentit.

Sen sijaan dimetyylieetterille (DME:lle) ja vedylle ei ennusteta merkittävää asemaa vielä vuoteen 2020 mennessä.

Nestekaasu on maailmalla yksi suurimmista vaihtoehtoisista polttoaineista. Se ei kuitenkaan tuota merkittäviä päästöhyötyjä bensiiniin verrattuna. Nestekaasulta myös puuttuu luontainen biovaihtoehto, joka maakaasun tapauksessa on biookaasu eli biometaani. Koska Suomessa ei ennestään ole nestekaasun tankkausjärjestelmää ja nestekaasuautoja, ei liene perusteltua ryhtyä kehittämään maahamme nestekaasun liikennekäyttöä.

9.2 Bensiini ja dieselpolttoaine

9.2.1 Perinteinen bensini ja dieselpolttoaine

Bensiini ja diesel ovat ylivoimaisesti suurimmat tieliikenteen polttoainevaihtoehdot likimain yhtä suurilla osuuksilla. Suomessa vuonna 2008 kulutettiin 1,76 miljoonaa tonnia bensiiniä ja 2,25 miljoonaa tonnia dieselpolttoainetta. Kevyttä polttoöljyä kulutettiin 1,88 miljoonaa tonnia (ÖKKL 2009). Bensiinin kulutus on lievässä laskussa ja dieselpolttoaineen kulutus lievässä nousussa (vrt. kuva 2.3).

Raakaöljyn jalostuksessa syntyy luontaisesti tietty jakauma bensiiniluokan tisleiden ja keskitisleiden välille. Muutettaessa jakaumaa merkittävästi kokonaisenergiankulutus kasvaa. Tällä hetkellä Euroopasta viedään bensiiniä Yhdysvaltoihin, ja vastaavasti Eurooppaan tuodaan keskitisleitä. Tämä ei ole erityisen järkevää.

Bensiinin ja dieselpolttoaineen koostumusta ja ominaisuuksia säädetään direktiivien ja standardien avulla. Polttoaineiden laatudirektiivi säätelee ensisijaisesti päästöjen kannalta merkittäviä polttoaineparametreja (esim. tislauksen rikkipitoisuus, setaani- tai oktaaniluku). Direktiiviä koskevasta päivityksestä on tehty päätös, jonka myötä muun muassa biokomponenttien ja eettereiden sallitut maksimipitoisuudet tulevat nousemaan. EN-standardit sisältävät lisämääreitä, jotka takaavat polttoaineiden yleisen käytettävyyden. EN 590 -standardi dieselpolttoaineelle on muutettu vastaamaan polttoaineiden laatudirektiivin päivityksiä.

Taulukossa 9.1 on esitetty bensiinin ja taulukossa 9.2 dieselpolttoaineen toiminnallisuuden ja päästövaikutusten kannalta keskeisimmät polttoaineparametrit. Taulukkoihin on sisällytetty EN-standardien (bensini EN 228, diesel EN 590) ja ruotsalaisen MK1-luokituksen mukaiset vaatimukset sekä Euroopan parlamentin 17. joulukuuta 2008 hyväksymät polttoaineen laatudirektiivin 98/70/EY päivityksen 2009/30/EY mukaiset vaatimukset.

Bensiinin joukossa käytetään yleisesti sekä etanolia että eettereitä. Metanolin käyttö bensiinin seoskomponenttina on olematonta. Eettereiden maksimipitoisuus on tällä hetkellä 15 %, mutta se nousee 22 %:iin direktiivin 2009/30/EY myötä. Sekä etanoli että eetterit ovat korkeaoktaanisia bensiinin seoskomponentteja. Dieselissä käytetään tällä hetkellä seoskomponenttina sekä perinteistä esteröityä biodieseliä (FAME), vetykäsiteltyä kasviöljyä (HVO, NExBTL) ja Keski-Euroopassa jossakin määrin maakaasupohjaista synteettistä GTL-komponenttia. Perinteisten biokomponenttien (etanoli, FAME-biodiesel) maksimipitoisuus nousee 5 tilavuus-%:sta etanolin osalta 10 tilavuus-%:iin ja FAMEn osalta 7 tilavuus-%:iin.

Parafiinisia dieselpolttoaineita käsitellään erikseen luvussa 9.6.

9. Polttoainevaihtoehdot

Taulukko 9.1. Bensiinin valikoidut polttoaineominaisuudet. Eurooppalaisen standardin EN 228 ja Ruotsin ympäristöluokan (MK1, SS 15 54 22:2006) ja Ruotsin pienkonebensiinin (SS 15 54 61:2008) vaatimukset sekä Euroopan yhteisen polttoainelaatudirektiivin 98/70/EY päivityksen 2009/30/EY mukaiset vaatimukset.

Ominaisuus	EN 228 (2008)	MK1 bensini (2006)	Pienimoottori-bensini, Ruotsi (2008)	98/70/EY päivitys 2009/30/EY	Kommentti
Oktaaniluku RON/MON, min	95,0/85,0 ^a	95,0/85,0 ^a	93,0/90,0	95/85 ^a	• kriittinen toiminnalle
Höyrynpaine, kPa	45 ^a –60/70 ^a	45–70 ^a	55,0–65,0	<60,0 lupaa ylitykselle voi hakea	• korkea höyrynpaine lisää haihtumapäästöjä • vaikuttaa ajettavuuteen
Tislauksen loppupiste, °C, maks.	210	205	200		• korkea tislauksen loppupää indikoi moottoria liikaavia yhdisteitä
Olefiinit, til-%, maks.	≤18,0	≤13,0	≤1,0	≤18,0	• liikaavat moottoria • lisäävät otsonimuodostus-potentiaalia
Aromaatit, til-%, maks.	≤35,0	≤35,0	≤1,0	≤35,0	• raskaat aromaattit liikaavat moottoria • lisäävät päästöjen haitallisuutta (karsinogeenisuus)
Bentseeni, til-%, maks.	≤1,00	≤1,00	≤0,1	≤1,0	• karsinogeeninen
Rikkipitoisuus, mg/kg, maks.	50,0/10,0 ^b	10,0	10,0	10,0	• vaikuttaa katalysaattorin toimintaan • rikkittömyys edellytys joidenkin katalysaattorien käytölle
Happipitoisuus, massa-%, maks.	2,7	2,7		3,7	• vaikuttavat mm. päästöihin
Metanoli, til-%, maks.	3,0	3,0		3,0	• erittäin korrodoiva • faasierottumisriski
Etanoli, til-%, maks.	5,0	5,0		10,0	• faasierottumisriski • vähentää monia päästökomponentteja • lisää aldehydi- ja haihtumapäästöjä
Isoprop.alkohol. til-%, maks.	10,0	10,0		12,0	• eetterit ja raskaat alkoholit sopivat paremmin bensini-komponenteiksi kuin metanoli tai etanoli
T-but.alkoholi, til-%, maks.	7,0	7,0		15,0	
Isobut.alkoh. til-%, maks.	10,0	10,0		15,0	
Eetterit, C 5+, til-%, maks.	15,0	15,0		22,0	
Muut ok-syg. mg/kg, maks.	10,0	10,0		15,0	

^a Useita laatuja. Höyrynpainerajat riippuvat vuodenajasta, tässä kesälaadun rajat. ^b Rikkipitoisuus 50,0 mg/kg oli sallittu 31.12.2008 saakka.

Taulukko 9.2. Dieselpolttoaineen valikoidut polttoaineominaisuudet. Eurooppalaisen standardin EN 590 ja Ruotsin ympäristöluokan MK1-vaatimukset sekä Euroopan yhteisön polttoainelaatudirektiivin päivityksen 2009/30/EY mukaiset vaatimukset.

Ominaisuus	EN 590 diesel (2009)	MK1 diesel (2006)	Parafiininen diesel XTL/HVO, CWA ¹³ (2009)	98/70/EY päivitys 2009/30/EY	Kommentti
Setaaniluku, min.	51,0	51,0	70,0(A) 51,0–66,0 (B)	51,0	<ul style="list-style-type: none"> kriittinen ominaisuus korkea setaaniluku laskee päästöjä
CFPP, °C, min.	vaihtelee ^a	vaihtelee ^a	vaihtelee ^a	vaihtelee ^a	<ul style="list-style-type: none"> kylmäominaisuuksien oltava riittävät, kriittinen ominaisuus
Tiheys 15 °C, kg/m ³	800–845 ^a	800–820	770,0–800,0	maks. 845,0	<ul style="list-style-type: none"> alhaisempi tiheys: vähemmän päästöjä, mutta korkeampi tilavuusperustainen polttoaineenkulutus
Tislauksen 95 % piste, °C, maks.	360	320	360	360,0	<ul style="list-style-type: none"> korkea tislauksen loppupää likaa moottoria ja lisää päästöjä
Aromaattitil-%, maks.		5	1,0		<ul style="list-style-type: none"> aromaattit lisäävät NO_x-päästöä ja hiukkasten terveyshaittoja
PAH di+, massa-% PAH tri+, vol-%, maks.	11	- 0,02 ^b	0,1	8,0	<ul style="list-style-type: none"> useat PAH-yhdisteet karsinogeenisiä
Rikkipitoisuus, mg/kg, maks.	50,0/10,0 ^c	10,0	5,0	10,0	<ul style="list-style-type: none"> vaikuttaa hiukkaspäästöihin vaikuttaa katalyysaattorin toimintaan
FAME, til-%, maks.	7,0	5		7,0	<ul style="list-style-type: none"> huono stabiiliisuus, hygroskooppinen, huonot kylmäominaisuudet, likaa moottoria, liuottaa mm. tiivisteitä vähentää mm. hiukkaspäästöä lisää NO_x-päästöä

Huom! Etanoli ei sovellu dieselpolttoaineeseen!

^a Useita laatuja ilmaston ja vuodenajan mukaan ^b Analysoidaan ennen FAME:n lisäystä, tulee olla alle määrittäjäajan

^c Rikkipitoisuus, maks. 50 mg/kg oli sallittu 31.12.2008 saakka (ks. luku 4.8.1).

¹³ CEN Workshop Agreement. CWA 15940:2009 (E), Automotive Fuels – Paraffinic diesel from synthesis or hydrotreatment – Requirements and test methods, helmikuu 2009.

9.2.2 Pienmoottoribensiini

Bensiinikäyttöisiä pienkoneita, kuten moottorisahoja ja ruohonleikkureita, on käytössä kappalemääräisesti paljon – jo Suomessa noin kaksi miljoonaa. Pienkoneet ovat halpoja eikä niissä käytetä parasta teknologiaa, esimerkiksi polttoaineen ruiskutusta tai katalysaattoria. Kevyet ja tehokkaat kaksitahtimoottorit antavat parhaan teho–paino-suhteen, mutta niiden ominaispäästöt ovat suuret. Bensiinikäyttöisten työkoneiden kokonaispäästöt verrattuna bensiinikäyttöisten henkilöautojen kokonaispäästöihin on esitetty taulukossa 9.3. (Korkki 2006.)

Pienkoneiden hiilimonoksidin, hiilivetyjen ja typen oksidien päästöjä on rajoitettu lainsäädännöllä vasta viime vuosina. Kansallisia säädöksiä ovat huviveneiden päästöjä rajoittava laki (621/2005), asetus polttomoottoreiden pakokaasu- ja hiukkaspäästöjen rajoittamisesta sisältäen työkoneiden päästöt (844/2004) sekä liikenne- ja viestintäministeriön asetus kaksi- ja kolmipyöräisten ajoneuvojen sekä nelipyöräisten rakenteesta ja varusteista sisältäen päästörajat (1250/2002). Kaikki pienmoottorit eivät ole edelleenkaan rajoitusten piirissä.

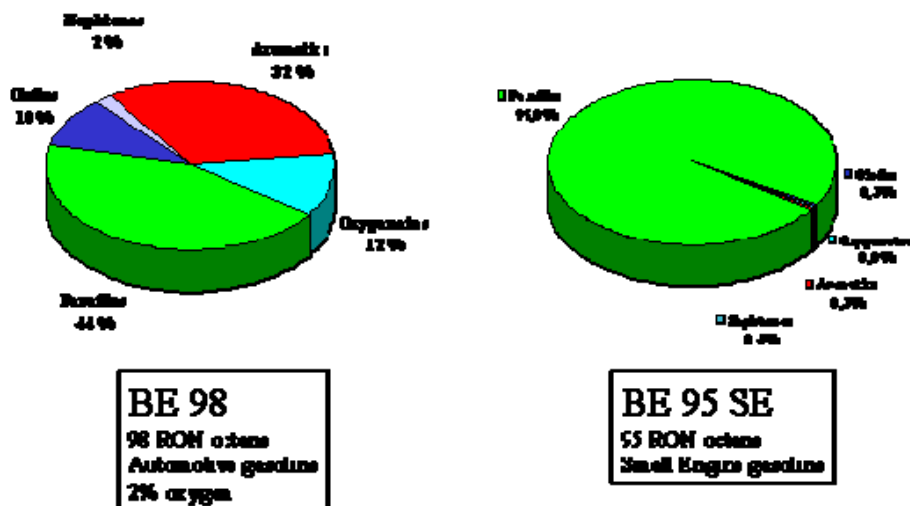
Taulukko 9.3. Pienten bensiinikäyttöisten työkoneiden ja henkilöautokannan CO-, HC-, NO_x- ja PM-päästöjen vuotuiset määrät Suomessa.

	CO (t/a)	HC (t/a)	NO _x (t/a)	PM (t/a)	Lähde
Bensiinikäyttöiset työkoneet ¹⁾	64 464	9 595	536	550	TYKO v. 2003 päästötiedot
Henkilöautot	256 339	27 022	34 200	1 418	LIISA, v. 2003 päästötiedot

¹⁾ Luvussa ovat mukana sekä ajettavat että käsikäyttöiset työkoneet eli ruohonleikkurit, moottorikelkat, moottori- ja raivaussahat, trimmerit sekä muut vastaavat pientyökoneet.

Pienkoneiden kanssa työskentelevät ihmiset altistuvat usein pakokaasuille. Tämän vuoksi on kehitetty puhtaampia bensiinilaatuja pienkonekäyttöön. Tällainen on esimerkiksi Neste Oilin pienmoottoribensiini BE95SE, joka on parafiininen alkylaattibensiini. Se ei sisällä terveydelle haitallisimpia yhdisteitä kuten bentseeniä, olefiineja ja aromaatteja. Kolmitoimikatalysaattorilla varustetussa bensiiniautossa alkylaattibensiinistä ei kuitenkaan ole vastaavaa hyötyä. Kuvassa 9.1 on esitetty tavanomaisen moottoribensiinin ja pienkonebensiinin koostumus.

Chemical Composition of Test Gasolines



Kuva 9.1. Tavallisen bensiinin (BE 98) ja pienmoottoribensiinin (BE 95 SE) koostumus (IEA AMF Annex XXV).

Pienmoottoribensiiniä on myyty Suomessa yli kymmenen vuotta, mutta myynti on edelleen alle prosentin pienmoottoreiden arvioidusta bensiininkulutuksesta. Neste Oil Oyj:n pienmoottoribensiinin tuotantokapasiteetista on käytössä noin puolet. Pienmoottoribensiiniä ei tunneta hyvin, ja sen saatavuus on huono, mutta suurimpana myynnin esteenä lienee korkea hinta. Hintaan vaikuttaa osittain se, että tuotetta myydään lähinnä kertakäyttöastioissa.

Ruotsin pienmoottoribensiinin (alkylaattibensiini) ominaisuuksia määrittelevän standardin raja-arvoja on esitetty taulukossa 9.1. Ruotsissa pienkoneisiin tarkoitettua bensiiniä vähemmän haitallisen alkylaattibensiinin veroa alennettiin 0,20 e/l vuonna 2002, mikä lisäsi myyntimääriä. Ympäristöministeriön vuonna 2006 valmistuneen esiselvityksen mukaan Suomessa pienmoottoribensiinin hintaa tulisi alentaa noin 0,50 e/l, jotta pienmoottoribensiinin hinta olisi samalla tasolla 95-oktaanisen bensiinin kanssa. (Eduskunta 2008.)

Parafiininen pienmoottoribensiini ei höyrysty yhtä helposti kuin tavalliset bensiinit, mikä helpottaa käsittelyä ja parantaa työhygieniaa. Pienmoottoribensiiniä käytettäessä koneen kuumuudesta tai polttoaineensyötön yksinkertaisesta rakenteesta johtuvat haihtumishäviöt jäävät pienemmiksi (Neste Oil, 2009).

9. Polttoainevaihtoehdot

Parafiiniset hiilivedyt palavat paremmin kuin aromaattiset hiilivedyt. Palaessaan osittain aromaattiset hiilivedyt voivat muodostaa PAH-yhdisteitä (polyaromaattisia hiilivetyjä), joista monet haisevat voimakkaasti ja ovat syöpää aiheuttavia karsinogeeneja. Pakokaasumittauksissa on havaittu, että pienmoottoribensiinillä hiilimonoksideja ja kokonaishiilivetyjä voi olla suunnilleen yhtä paljon kuin tavanomaisella bensiinillä. PAH-pitoisuudet ovat sen sijaan erittäin alhaisia: noin 85 % pienempiä kuin tavallista bensiiniä käytettäessä. (IEA AMF Annex XXV.)

Pienmoottoribensiinin koostumus yhdistettynä alhaiseen haihtuvuuteen pienentää merkittävästi käyttäjän altistusta muun muassa syöpää aiheuttaville yhdisteille tavalliseen bensiiniin verrattuna. Lisäksi pakokaasujen hiilivety päästöt eivät aiheuta käyttäjälle yhtä paljon haittaa kuin tavallista bensiiniä käytettäessä.

9.2.3 Synteettinen (bio)bensiini

Tunnetuin bensiinikomponentti on etanoli, mutta on olemassa myös muita vaihtoehtoja, kuten eetterit, korkeammat alkoholit ja hiilivety polttoaineet. Oksygenaation biobensiini voisi olla esimerkiksi Fischer-Tropsch-prosessin tai NExBTL-prosessin sivutuote.

Fischer-Tropsch-prosessilla voidaan tuottaa prosessiolosuhteista ja katalyyttistä riippuen bensiiniä, petrolityyppisiä polttoaineita, dieselpolttoainetta, oksygenaatteja ja erilaisia kemikaaleja (Sasol 2007). Fischer-Tropsch-prosessista saatavan bensiinikomponentin laatu on melko heikko: muun muassa oktaaniluvut ovat alhaisia ja olefiinipitoisuus suuri. Olefiineilla on taipumus muodostaa moottoria likaavaa karstaa. Fischer-Tropsch-prosessista saatava bensiini saattaisi vaatia jatkoprosessointia täyttääkseen bensiinille Euroopassa asetetut laatuvaatimukset. NExBTL-prosessin bensiinikomponentin ominaisuuksista ei ole toistaiseksi tietoa. Fischer-Tropsch-prosessin tai NExBTL-prosessin sivutuotteena saatavasta bensiinistä ei juuri ole päästötietoja.

9.3 Alkoholit ja alkoholijohdannaiset bensiinin korvaajina

9.3.1 Yleistä

Alkoholeja (etanoli, metanoli) voidaan käyttää joko bensiinin seoskomponenttina tai tietyin edellytyksin lähes sellaisenaan ottomoottorin polttoaineena. Etanoli on tällä hetkellä maailman yleisin biopolttoaine. Alkoholeille on ominaista, että

- sillä on korkea oktaaniluku
- se sisältää happea
 - alkoholiin sisältämä happi tehostaa palamista jossain määrin
 - lämpöarvo on 45–60 % bensiinin lämpöarvosta
- sillä suuri höyrystymislämpö ja vaikea kylmäkäynnistys
- se nostaa bensiinin höyrynpainetta pienillä pitoisuuksilla
- se on polaarinen yhdiste, saattaa aiheuttaa korroosiota metalliosissa
- se saattaa haurastuttaa tiettyjä muovi- ja kumilaatuja
- niitä voidaan käyttää lähes sellaisenaan erikoisrakenteisissa moottoreissa.

Alkoholi on luonnollinen bensiinin korvike. Tästä syystä alkoholi ei sovellu sellaisenaan tavanomaisen dieselmoottorin polttoaineeksi. Koska etanolin se-taaniluku on hyvin alhainen, joko moottoria tai polttoainetta on modifioitava toiminnan varmistamiseksi.

Etanoli on ylivoimaisesti eniten käytetty alkoholi. 1980-luvulla ja osittain vielä 90-luvulla metanolista oltiin kiinnostuneita. Käytännöllisesti metanoli on kuitenkin etanolia selvästi hankalampi vaihtoehto, mikä johtuu muun muassa voimakkaammista korroosiovaikutuksista ja suuremmasta myrkyllisyydestä.

Bensiinissä käytetään sekä etanolia että eettereitä seoskomponentteina. Polttoainedirektiivi sisältää maksimipitoisuudet yksittäisille oksygenaateille ja lisäksi happipitoisuuden enimmäisarvon. Standardin mukainen bensiini voi siten sisältää seoskomponentteina joko pelkkää etanolia, pelkkiä eettereitä tai etanolin ja eettereiden sekoituksia happipitoisuuden enimmäisrajan puitteissa.

9.3.2 Matalaseosteiset alkoholiseokset

Etanolia käytetään yleisesti bensiinin seoskomponenttina. EU:ssa pitoisuusraja on tähän asti ollut 5 % (til.), mutta rajaa nousee 10 %:iin, kuten Yhdysvalloissa on ollut pitkään. Samalla happipitoisuuden enimmäisarvo nousee 2,7 %:sta 3,7 %:iin (paino). Autoala vastustaa yli 5 %:n etanolia vanhoihin ja joihinkin 2000-luvun malleihin, sillä etanoli on aggressiivinen joillekin kumi- ja muovimateriaaleille ja polttoainejärjestelmän kevytmetalleille ja aiheuttaa siksi vuotoriskin. Meillä E10-seos (10 % etanolia bensiinin joukossa) saattaa aiheuttaa laihasta ilma-polttoaineseoksesta johtuvia ajettavuusongelmia vanhemmissa autoissa, etenkin talviaikaan. Katalyysaattoriautoissa ongelmia ei todennäköisesti esiinny. Polttoainedirektiivin päivitykseen on sisällytetty vaatimus siitä, että enintään 5 % etanolia sisältävää bensiiniä pitää olla saavilla tietyn siirtymävaiheen

9. Polttoainevaihtoehdot

ajan: ”Joissakin vanhoissa ajoneuvoissa ei saa käyttää bensiiniä, joka sisältää runsaasti biopolttoainetta. Näillä ajoneuvoilla voi matkustaa jäsenvaltiosta toiseen. Sen vuoksi on aiheellista varmistaa, että kyseisiä vanhoja ajoneuvoja varten toimitetaan siirtymäaikana jatkuvasti sopivaa bensiiniä. Jäsenvaltioiden olisi varmistettava sidosryhmiä kuulemalla asianmukainen maantieteellinen kattavuus, joka heijastelee tällaisen bensiinin kysyntää.”

Polttoainenormien antamien rajojen puitteissa happipitoisten komponenttien käytölle bensiinissä ei ole teknisiä esteitä, ja lisäksi oksygenaatit parantavat oktaanilukua. Alhaisilla seoksilla etanoli nostaa bensiinin höyrynpainetta, vaikka puhtaan alkoholin höyrynpaine on hyvin alhainen. Höyrynpainetta lisäävä vaikutus on suurimmillaan noin 5–10 %:n alkoholipitoisuudella. Höyrynpaineen kasvu lisää haihtumapäästöjä (VOC). Polttoainedirektiivin päivitykseen on sisällytetty poikkeus, jonka mukaan etanolipitoisen bensiinin (kesälaadun) maksimi-höyrynpaineeseen voidaan hakea huojennusta. Ihannetapauksessa etanoli tulisi lisätä bensiiniin jo jalostamolla, jotta höyrynpaine ja muut ominaisuudet saataisiin säädettyä halutulle tasolle. Yhdysvalloissa käytetään myös ns. *splash blendingiä*, jossa etanoli lisätään bensiiniin jakeluketjun loppupäässä ja seoksille sallitaan korkeampi höyrynpaine kuin muulle tavalliselle bensiinille. *Splash blendingin* haittana on, ettei lopputuotteen ominaisuuksia pystytä säätämään tarkasti. *Splash blending* yleistyneenä kuitenkin myös Euroopassa. Jatkossa termiinaaleissa on erikseen perusbensiiniä ilman etanolia sekä etanolia, josta sitten sekoitetaan markkinoiden tarvitsemat polttoainelaadut (EN228:n mukaiset 5 ja 10 % etanolia sisältävät laadut, korkean etanolipitoisuuden E85).

Etanolia sisältävän bensiinin tapauksessa on varmistettava, ettei polttoaine missään jakelun ja varastoinnin vaiheessa pääse kosketuksiin kosteuden kanssa. Pienetkin vesimäärät saattavat aiheuttaa bensiini-alkoholiseosten faasierottumisen kylmässä. Metanoli on erityisen herkkää, joten sen kanssa on aina käytettävä väli-liuottimia. Muutenkin metanoli on etanolia huonompi vaihtoehto (myrkyllisyys, suurempi korroosiovaikutus jne.), eikä sitä juurikaan käytetä bensiinikomponenttina. Päivitetty polttoainedirektiivi sallii kuitenkin yhä 3 % metanoliosuuden.

Oksygenaattien mukanaan tuoma happi pienentää hiilimonoksidi- ja hiilivety-päästöjä varsinkin vanhemmassa autokalustossa, näin myös 10 % etanolia sisältävällä bensiinillä (EERE 2009). Uudemmissa autoilla tämä vaikutus rajoittuu lähinnä kylmäkäynnistykseen tai raskaalla kuormalla ajoon (Environment Australia 2002). 10 % etanoliseoksen on sanottu johtavan parhaimmillaan 25–30 % CO-päästövähennykseen.

NO_x-päästö yleensä lisääntyy, kun E10-polttoainetta verrataan bensiiniin – tosin eräissä tutkimuksissa raportoitiin, että näin käy vasta yli 10 % etanolia sisältävällä bensiinillä. NO_x-päästön muutoksia on raportoitu 5 %:n vähenemästä 5 %:n kasvuun verrattaessa E10-polttoainetta bensiiniin (CRFA).

Asetaldehydipäästön on raportoitu nousevan 73 %, kun bensiinin etanolipitoisuus nousee 10 %:iin (Durbin 2006). Vanhemmissa raporteissa on referoitu 10 % etanoliseoksen aiheuttaneen jopa 150–200 % asetaldehydipäästön lisääntymisen (Environment Australia, Manitoba). Autojen katalysaattorit poistavat aldehydejä tehokkaasti, mutta kylmäkäynnistyksissä nämä päästöt voivat olla alkoholipolttoaineilla edelleen merkittäviä (CRFA). Form- ja asetaldehydi ovat karsinogeenisiä yhdisteitä. Lisäksi aldehydit ovat reaktiivisia yhdisteitä, jotka lisäävät pakokaasujen terveydelle ja kasvillisuudelle haitallisten otsonin ja peroksyasetyylinitraatin (PAN) muodostumista.

Terveydelle haitallisia sääntelemättömiä päästöjä ovat myös 1,3-butadieeni ja bentseeni. Näiden yhdisteiden osalta päästöjen on raportoitu laskevan, kun bensiiniin lisätään etanolia. (Environment Australia 2002, CRFA). Tämä lienee seurausta laimenemisvaikutuksesta, kun etanolilla korvataan bensiinin olefiineja ja aromaatteja.

E10-polttoaine verrattuna bensiiniin:

- päästöedut: CO, HC
- päästöhaitat: aldehydit (karsinogeenisuus, otsoninmuodostumispotentiaali), haihtumapäästö, NO_x
- käytettävyys: käytettävyysongelmia jakeluketjussa ja ajoneuvoissa (mm. faasierottuminen, korroosioriski).

9.3.3 Eetterit ja korkeammat alkoholit

Käyttökäytännössä eetterit ovat alkoholeja parempi vaihtoehto bensiinin seoskomponenteiksi. Eettereillä korroosion, höyrynpaineen ja kosteusongelmien hallinta on helpompaa, ja niinpä sekä öljynjalostajat että autoteollisuus suosivat eettereitä etanolin sijaan. Polttoainedirektiivin päivitys nostaa raskaiden eetterien maksimipitoisuuden 15 tilavuus-%:sta 22 tilavuus-%:iin. Onkin huomattava, että polttoainedirektiivi 2009/30/EY sallii 3,7 p-% happipitoisuuden ja erilaisia esimerkiksi etanolin ja eettereiden seoksia bensiinin seassa yksittäisille oksygenaateille asetettujen rajo-

9. Polttoainevaihtoehdot

jen puitteissa. Eettereistä käytetyimpiä ovat metanoliin pohjautuva MTBE ja etanoliin pohjautuva ETBE. Suomessa on käytössä metanolipohjaiset MTBE ja TAME sekä etanolipohjaiset ETBE ja TAE. Yhdysvalloissa MTBE on kielletty, koska se on aiheuttanut vuototapauksissa pohjaveden saastumista. Raskaampien eettereiden kuten TAE:n suhteen vastaavaa riskiä ei ole, sillä niiden vesiliukoisuus on hiilivetyjen tapainen. Eetterien valmistuksessa lähtöaineina ovat alkoholi ja hiilivety. Alkoholin osuus eetterin lämpöarvosta on 15–33 %, joka on myös eetterin biosuus biopohjaista alkoholia käytettäessä. Etanoliin pohjautuvat eetterit, ETBE ja TAE, tarjoatkin vaihtoehdoisen tavan sisällyttää etanolia bensiiniin.

Myös butanolia on suunniteltu bensiinikomponentiksi. Butanoli on etanolia pitempiketjuinen alkoholi, joka on ominaisuuksiltaan (lämpöarvo, vesitoleranssi, korroosio, polaaraisuus) lähempänä bensiiniä kuin esimerkiksi etanoli. Haittapuolena on butanolin melko alhainen oktaaniluku. BP ja DuPont tekevät yhteistyötä butanolin tuomiseksi polttoainemarkkinoille. Butanolia voidaan tuottaa niin fossiilisista kuin uusiutuvista raaka-aineista. (DuPont 2006.)

Eettereiden päästövaikutuksista tiedetään paljon 90-luvun tutkimusten perusteella, mutta uudempia tutkimuksia on vähän. ETBE:tä 12,7 % sisältävällä polttoaineella (happitaso 1,8 %) ei saavutettu merkittävää etua säänneltyjen päästöjen tai yksittäisten hiilivetyjen suhteen verrattaessa sitä nykyiseen hyvälaatuisen bensiiniin. Asetaldehydipäästöt olivat suuremmat ETBE:tä sisältävällä bensiinillä. Hiukkaspäästöön tai hiukkasten sisältämien polyaromaattisten hiilivetyjen (PAH) päästöön polttoaineella ei ollut vaikutusta. Hiukkasten mutageeninen aktiivisuus vaikutti laskevan hieman ETBE:tä sisältävällä bensiinillä. (Aakko et al. 2002, Pentikäinen & Aakko 2003.)

Vanhemmissa tutkimuksissa käytettäessä vertailukohteena vanhempaa autokantaa ja nykyistä heikkolaatuisempaa bensiiniä eettereillä saavutettiin merkittäviä CO-, HC- ja bentseenipäästövähennyksiä.

Eetterit verrattuna bensiiniin:

- päästøedut: CO, HC
- päästøohaitat: aldehydit (karsinogeenisuus, otsoninmuodostuspotentiaali), NO_x
- käytettävyyt: erinomainen.

9.3.4 Korkeaseosteinen alkoholi ottomoottorissa, E85

Modifioitu bensiinimoottori saadaan toimimaan jopa puhtaalla alkoholilla. Käynnistyvyys puhtaalla alkoholilla on kuitenkin huono alhaisen höyrynpaineen ja korkean kiehumislämpötilan takia, ja puhtaalla etanolilla käynnistyvyysraja onkin luokkaa +25 °C. Yleensä alkoholin joukossa käytetään vähintään 15 % bensiiniä kylmäkäynnistymisen parantamiseksi (E85, M85). Talviaikaan Ruotsissa käytetään polttoainetta, jossa etanolipitoisuus on noin 70 %. E85-polttoaineen esistandardin prEN15293 mukaan kesälaatuisen E85-polttoaineen etanolipitoisuus on 70–85 % ja talvilaatuisen 50–85 %.

Sähköiset moottorinohjausjärjestelmät mahdollistavat polttoainejoustop, ts. moottori voidaan sopeuttaa erilaisille polttoaineille. *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. Lämpöarvoerojen vuoksi tilavuuspohjainen polttoaineen kulutus lisääntyy 25–40 % E85-polttoaineen etanolipitoisuudesta riippuen.

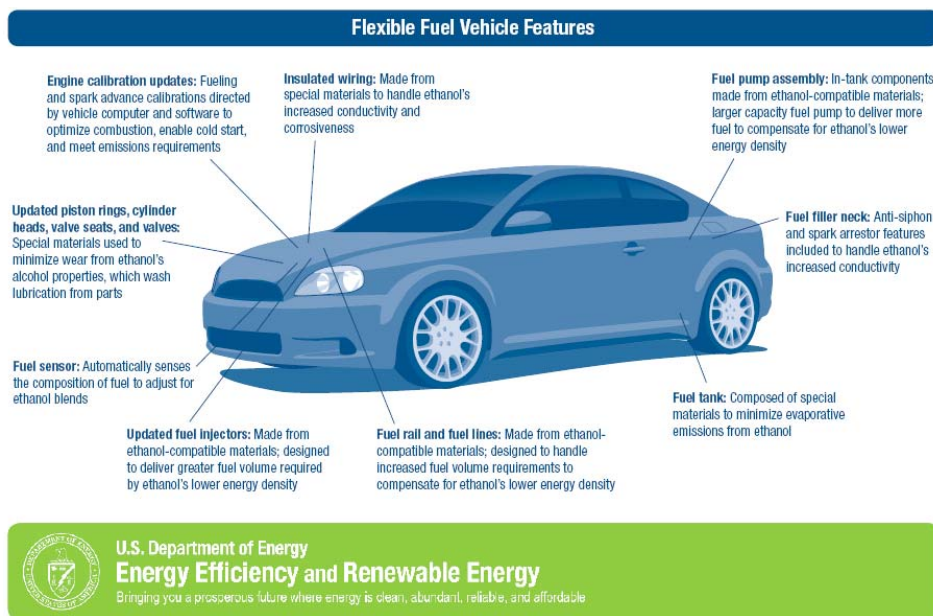
Lisäksi alkoholipolttoaine on huomioitava polttoainejärjestelmän materiaali- valinnoissa. Kuvassa 9.2 on näytetty E85-polttoaineen tarvitsemat muutokset. Alle 5 %:n etanolipitoisuudella ei tarvita muutoksia, kun taas E85 edellyttää paljon muutoksia.

FFV-autoja löytyy lähinnä Yhdysvalloista, Ruotsista ja Brasiliasta. Ruotsissa niitä oli vuoden 2008 lopulla jo noin 140 000, ja siellä niitä onkin tuettu monin eri tavoin (autojen hankinnan tuki, biopolttoaineen verottomuus, pysäköintietuisuuksia jne., www.miljofordon.se). FFV-autot eivät kuitenkaan ole parhaimmillaan kylmässä ilmalassa: kylmäkäynnistys E85-polttoaineella on vaikeaa. Ruotsissa suurin osa FFV-autoista on myyty Tukholman eteläpuolelle.

Periaatteessa FFV-tekniikka on järkevä, koska auton valmistusvaiheessa siitä aiheutuva lisäkustannus on marginaalinen. Yhdysvalloissa ja Ruotsissa FFV-autojen suosio perustuu kuitenkin tietynlaiseen määräysten kiertoön ja tukiaisiin, ei niinkään tekniikan todelliseen suorituskykyyn. Yhdysvalloissa ajoneuvojen polttoaineenkulutusta standardoiva CAFE-sääntö (*Corporate Average Fuel Economy*) antaa autonvalmistajille laskennallisen edun FFV-autojen polttoaineenkulutuksessa, vaikka autossa ei koskaan käytettäisi alkoholia sisältäviä polttoaineita.

9. Polttoainevaihtoehdot

Euroopassa FFV-autoilta ei tähän asti ole vaadittu pakokaasusertifiointia E85-polttoaineella. Tilanne muuttuu syksyllä 2009 voimaan tulevien Euro 5 -pakokaasumääräysten myötä. Bensiiniä vaaditaan testattavaksi sekä lämpimässä (noin +22 °C) että alhaisessa lämpötilassa (−7 °C). FFV-polttoaineella testausta tullaan vaatimaan vain lämpimässä, joten FFV-autot saavat jatkossakin ”tasoi-tusta” pakokaasuvaatimuksissa bensiiniautoihin verrattuna.



Kuva 9.2. Etanolikäytössä tarvittavat modifikaatiot (FFV-auto) (EERE 2008).

Suomessa St1 aloitti huhtikuussa 2009 koemielessä suuren etanolipitoisuuden Refuel-polttoaineen markkinoinnin. Polttoaineen etanolipitoisuus on 80–85 %, ja sen hiilivetyosuuden optimoinnilla tavoitellaan mahdollisimman hyvää toimintaa. Kokeilu kestää ensi vaiheessa kaksi vuotta. Valtiovarainministeriö on myöntänyt kokeilussa käytettävälle jätepohjaiselle etanolille verohuojennuksen. (St1 2009.)

Päästöt

E85-polttoainetta (85 % etanolia, 15 % bensiiniä) käyttävät FFV-autot tuottavat yleensä vähemmän tai saman verran HC- ja CO-päästöjä kuin bensiiniautot lämpimässä (Yanowitz & McCormick 2009). Suurempia HC- ja CO-päästöjä esiintyy kuitenkin kylmässä (Aakko & Nylund 2003a). FFV-autojen käynnistäminen alhai-

sisä lämpötiloissa voi olla vaikeaa, ja päästöt ovat kylmällä moottorilla suuria verrattuna bensiiniautoon. Tämä on merkittävä haitta Suomen olosuhteissa.

Haihtumapäästöt ovat E85-polttoainetta käytettäessä pienemmät kuin bensiinillä E85-seoksen alhaisemman höyrynpaineen ansiosta (Yanowitz & McCormick 2009, Westerholm et al. 2008)¹⁴. E85-polttoaineen NO_x-päästö on pienempi tai yhtä suuri kuin bensiiniautoilla. CRFA:n mukaan NO_x-päästövähennä E85:llä voi olla noin 20 % (referoitu lähteestä Aakko & Nylund 2003b). FFV/E85:llä hiukkaspäästö on alhainen, yleensä alhaisempi kuin bensiiniautoilla (Westerholm 2008).

Asetaldehydipäästö lisääntyy voimakkaasti E85-polttoaineella verrattaessa bensiiniin, erityisesti alhaisissa lämpötiloissa. Myös formaldehydipäästö on suurempi E85-polttoaineella kuin bensiinillä. Westerholm et al. (2008) raportoivat, että FFV-autolla asetaldehydipäästöt olivat 8–15-kertaa suuremmat E85-polttoaineella kuin E5-polttoaineella. Kylmässä (−7 °C) E85-polttoaineen päästötaso oli jopa satakertainen E5-polttoaineeseen verrattuna. Myös palamatonta etanolia on E85-polttoaineen pakokaasuissa runsaasti. Jacobson (2007) raportoi, että E85-polttoaineen käyttö lisää otsonin aiheuttamaa kuolleisuutta ja sairauksia Yhdysvalloissa. Lisäksi etanolin muuttuminen ilmakehässä asetaldehydiksi kasvattaa asetaldehydipäästöjä edelleen (Jacobson 2007).

1,3-butadieenin ja aromaattisten bentseenin, toluenin ja ksyleenin päästöjen onkin todettu laskevan tai olevan yhtä suuret verrattaessa E85-polttoainetta bensiiniin (Westerholm et al. 2008, Aakko & Nylund 2003a).

Westerholm et al.:n (2008) mukaan PAH-päästöt (polyaromaattiset hiilivedyt) olivat E85:llä hieman alhaisemmat tai yhtä suuret kuin E5-polttoaineella lämpimässä. Sen sijaan −7°C:n lämpötilassa hiukkasiin ja semihaihtuviin yhdisteisiin sitoutuneet PAH-päästöt sekä syöpäriski kasvoivat E85-polttoaineella verrattuna E5-polttoaineeseen.

Korkeaseosteinen etanoliseos, E85, FFV-autoissa, verrattuna bensiiniin:

- päästöedut: CO, HC, NO_x, 1,3-butadieeni, bentseeni
- päästöhaitat: aldehydit (karsinogeenisuus, otsoninmuodostuspotentiaali), mm. CO ja HC päästöt kylmissä lämpötiloissa suuremmat kuin bensiinillä
- käytettävyys: edellyttää erikoisajoneuvoja, mutta niilläkin ongelmia talvella; tilavuuspohjainen polttoaineen kulutus kasvaa.

¹⁴ E85 Handbookin vuoden 2008 painoksessa mainitaan, että Yhdysvalloissa on käynnissä laaja hanke, CRC E80, FFV-autojen pakokaasu- ja haihtumapäästöjen selvittämiseksi. Tulosten odotetaan valmistuvan vuoden 2009 aikana.

9.4 Alkoholi dieselmoottorissa

9.4.1 Etanoli dieselpolttoaineen seoskomponenttina

Brasiliassa, Ruotsissa ja Yhdysvalloissa on tutkittu myös dieselin ja etanolin emulsiopolttoaineita. Sekä Brasiliassa että Yhdysvalloissa tietyille emulsioille on myönnetty hyväksyntä erikoiskäyttöön. Dieselpolttoaineeseen lisätty etanoli alentaa hiukkaspäästöjä mutta huonontaa setaanilukua ja voitelevuutta. Lisäksi emulsion erottuminen faaseiksi on merkittävä riski. Näihin seikkoihin voidaan kuitenkin vaikuttaa lisäaineiden avulla – tosin ne eivät auta leimahduspisteongelmaan. Jo pieni määrä etanolia dieselpolttoaineen seassa laskee leimahduspistettä nimittäin niin, että seosta on syttymisvaaran kannalta käsiteltävä bensiinin tavoin. Tästä saattaa koitua merkittäviä haittoja ja vaaraa ympäristössä, jossa on totuttu dieselpolttoaineisiin, sekä muutostarpeita esimerkiksi tankkaus- ja korjaamojärjestelyihin (Nylund et al. 2005).

9.4.2 Korkeaseosteinen alkoholi dieselmoottorissa, E95

Alkoholi ei sovellu sellaisenaan tavanomaisen dieselmoottorin polttoaineeksi. Koska etanolin setaaniluku on hyvin alhainen, joko moottoria tai polttoainetta on modifioitava toiminnan varmistamiseksi. 1990-luvun alussa Detroit Diesel valmisti hehkutulppa-avusteisia kaksitahtidieselmoottoreita alkoholikäyttöön. Moottoreiden valmistus päättyi kuitenkin varsin pian. (Wuebben 2005.)

Ruotsissa valittiin toinen lähestymistapa. Siellä on käytössä etanolibusseja, joiden polttoaineena on syttyvyydenparantajalla ja voitelevuusaineella lisäainestettu etanoli. Tukholman liikennelaitos alkoi käyttää näitä autoja jo vuonna 1990, ja autoja oli käytössä Ruotsissa yhteensä 510 kappaletta vuoden 2008 lopulla. (www.miljofordon.se.) Kyseiset autot on toimittanut Scania, ja niiden moottoreihin on tehty joukko muutoksia. Puristussuhdetta ja polttoaineen ruiskutusjärjestelmän kapasiteettia on kasvatettu ja moottori on varustettu erikoiskatalyysaattorilla aldehydipäästöjen kontrolloimiseksi. Polttoaineesta käytetään nimitystä *Etamax D*. Sen koostumus on 92,2 % etanolia (sis. 5 % vettä), 5 % syttyvyydenparantaja-lisäainetta, denaturoimisaineita (2,3 % MTBE ja 0,5 % isobutanolia) sekä 90 ppm voitelevuus- ja korroosionestoainetta. (SEKAB.)

Scanian etanolibusseja on tulossa koekäyttöön muun muassa Brasiliassa, Englannissa ja Norjassa. Koska Scania on etanolibussien ainoa toimittaja, normaalisista markkinasta ei aikanaan toistaiseksi voida puhua. Vuonna 2007 Scania toi

markkinoille kolmannen sukupolven etanolimoottorin (Scania 2007). Uusin etanolimoottori on sertifioitu EEV-luokkaan.

E95-polttoaineella tilavuuspohjainen polttoaineen kulutus kasvaa tuntuvasti dieselpolttoaineeseen verrattuna (vrt. E85 henkilöautoissa).

Vanhempien etanolibussien HC- ja CO-päästöt olivat suuremmat kuin dieselbussien. Scanian mukaan uusien EEV-etanolibussien CO-päästö on kuitenkin 80 % ja HC-päästö 50 % alhaisempi kuin dieselbussilla. Scanian mukaan NO_x-päästö laskee etanolibusseilla 28 % ja hiukkaspäästö 60 % verrattuna dieselbussisiin ilman jälkikäsitelyä. (BioEthanol Fuel 2007.) Nämä edut pienenevät tulevaisuudessa, kun dieselbussien päästöt vähenevät jälkikäsitelylaitteiden ansiosta (Rehnlund 2007).

Etanolibussin aldehydipäästöt voivat olla moninkertaiset dieselbussiin verrattuna ja etanolibussin pakokaasuissa on myös palamatonta etanolia (Rehnlund 2007; Bucksch & Egebäck 1999). Formaldehydi on pääasiallinen aldehydi dieselbussin pakokaasuissa, kun taas asetraldehydi vallitsee etanolibussin päästöissä. (Rehnlund 2007). Aldehydipäästöjä voidaan pienentää tehokkaasti käyttämällä hapetuskatalyysaattoria. Tukholman liikenteessä tuntee selvästi etanolibusseista tulevan asetraldehydin hajun. Raskaan kaluston yksittäisten hiilivetyjen pitoisuudet pakokaasussa ovat erittäin alhaiset niin etanoli- kuin dieselbusseillakin (Rehnlund 2007).

Etanolibussien sääntelemättömistä päästöistä on vähän tuloksia, ja erityisesti Scanian kolmannen sukupolven etanolibussien päästöistä on saatavilla varsin vähän tietoa. Alehydeille ei ole raja-arvoja myöskään EEV- tai Euro VI -päästömääräyksissä.

Korkeaseosteinen etanoliseos, E95, dieselmoottorissa verrattuna dieseliin:

- päästöedut: PM, NO_x
- päästöhaitat: aldehydit (karsinogeenisuus, otsoninmuodostuspotentiaali)
- käytettävyys: edellyttää erikoisajoneuvoja; tilavuuspohjainen polttoaineen kulutus kasvaa.

9.5 Perinteinen biodiesel (FAME, RME)

Perinteinen biodiesel eli rasvahappojen metyyliesteri (FAME) sopii käytettäväksi dieselmootoreissa, mutta sataprosenttinen käyttö tai suuret seossuhteet dieselpolttoaineen joukossa vaatii moottorivalmistajien hyväksynnän. Tällä hetkellä biodiesel on käytetyin biopolttoaine Euroopassa. Perinteistä esteröityä biodieseliä voidaan käyttää dieselkomponenttina tai jopa dieselpolttoaineena sellaisenaan ajoneuvoissa, joiden valmistajat sen sallivat. Biodieselille on ominaista

- tavanomaista dieselpolttoainetta suurempi tiheys ja viskositeetti
- kapea, korkeaan lämpötilaan sijoittuva tislausalue
- sisältää happea ja vähentää hiukkaspäästöjä, mutta lisää NO_x-päästöjä
- huonot tai huonohkot kylmäominaisuudet
- huono varastoitavuus
- tehokkuus liuottimena; saattaa aiheuttaa materiaaliongelmiä.

Taulukossa 9.4 on FAMEn ominaisuudet verrattuna tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen ja synteettisiin polttoaineisiin. Biodiesel tehdään esteröimällä kasviöljystä (Euroopassa pääasiassa rapsi- tai rypsiöljystä), alkoholista ja metanolista. Esteröinnissä voidaan myös käyttää etanolia. Tällöin lopputuote on rasvahapon etyyliesteri (FAEE, REE), jonka käyttöominaisuudet vastaavat metyyliesteriä. Biodieselille on olemassa eurooppalainen normi EN 14214 (ks. taulukko 9.4). Tämä normi säätelee biodieselin laatua sekä sataprosenttisen biodieselin että komponenttikäytön osalta. Muun muassa jodilukua ja kylmäominaisuuksia koskevat vaatimukset ovat sellaiset, että ne täyttyvät vain, kun raaka-aineesta suuri osa on rapsi- tai rypsiöljyä. Kustannussyistä biodieselin tuottajat pyrkivät käyttämään mahdollisimman paljon halvempia kasviöljyjä laatu normin puitteissa. Perinteinen biodiesel sopii pienen mittakaavan tuotantoon, mutta silloin korkean ja tasaisen laadun ylläpitäminen voi kuitenkin olla hankalaa.

Kasviöljyestereitä käytetään dieselkomponentteina useissa Euroopan maassa. Pitoisuudet ovat tyypillisesti 5–30 % (7 %, jos toimitaan nykyisen direktiivin 2009/30/EY ja EN590-standardin puitteissa). Kasviöljyesteri toimii muun muassa voitelevuuslisäaineena suojaen ruiskutuslaitteita kulumiselta. Saksassa ja Itävallassa käytetään polttoaineena myös sataprosenttista biodieseliä. Yhdysvalloissa pääasiallinen vaihtoehto on 20 %:n soijametyyliesteri.

Taulukko 9.4. NExBTL:n, GTL:n, RME:n ja dieselpolttoaineiden tyypillisiä ominaisuuksia (Juva 2007, Kuronen 2007).

	NExBTL	GTL	FAME (RME)	EN590 (kesä)	Ruotsin MK1
Tiheys +15 °C (kg/m)	775 ... 785	770 ... 785	≈ 885	≈ 835	≈ 815
Viskositeetti +40 °C (mm/s)	2.9 ... 3.5	3.2 ... 4.5	≈ 4.5	≈ 3.5	≈ 1.8
Setaaniluku	≈ 80 ... 99	≈ 73 ... 81	≈ 51	≈ 53	≈ 53
Tislausalue (°C)	≈ 190 ... 320	≈ 190 ... 330	≈ 350... 370	≈ 180... 360	≈ 180 ... 320
Samepiste (°C)	- 5 ... - 25	- 0 ... - 25	≈ - 5	≈ - 5	≈ - 30
Lämpöarvo (MJ/kg)	≈ 44.0	≈ 44.0	≈ 37.5	≈ 42.7	≈ 43.0
Lämpöarvo (MJ/l)	≈ 34.4	≈ 34.4	≈ 33.2	≈ 35.7	≈ 35.0
Kokonaisaromaatit (p-%)	0	0	0	≈ 30	≈ 5
Polyaromaatit (di-tri) (p-%)	0	0	0	≈ 4	≈ 0
Happipitoisuus (p-%)	0	0	≈ 11	0	0
Rikkipitoisuus (mg/kg)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Voitelevuus HFRR +60 °C (µm)	< 460 *	< 460 *	< 460	< 460 *	< 460 *

* voitelevuuslisäaineen kanssa

FAME sisältää noin 10 % happea. Tilavuuspohjainen lämpöarvo on pienempi kuin perinteisellä dieselpolttoaineella, minkä vuoksi polttoaineen kulutus lisääntyy ja teho laskee pelkällä biodieselillä ajettaessa. FAMEn varastoitavuus on huono, ja se tulisi käyttää kuuden kuukauden sisällä valmistuksesta.

FAMEn kylmäominaisuudet (juoksevuus) ovat huonommat kuin tavanomaisilla Suomessa käytettävillä dieselpolttoainelaaduilla. Korkeaan lämpötilaan sijoittuva kapea tislausalue huonontaa lisäksi FAMEn ominaisuuksia kylmäkäynnistyksessä ja vaikeuttaa polttoaineen höyrystymistä ja moottorin käynnistymistä sekä lisää muun muassa moottoriöljyn polttoainelaimentuman vaaraa. Näistä syistä sataprosenttinen biodiesel ei ole parhaimmillaan kylmissä olosuhteissa.

FAME aiheuttaa ongelmia hiukkassuodattimilla varustetuissa autoissa. Saksalainen autoteollisuus onkin vastustanut voimakkaasti FAME-pitoisuuden nostamista 5 %:sta. Perusteluina se on esittänyt muun muassa sen, että FAME:n epäpuhtaudet ja yhdisteet, kuten fosfori, tukkivat uusimpien autojen hiukkassuodattimia. Lisäksi hiukkassuodattimilla varustetuissa henkilöautoissa hiukkassuodattimien regeneroinnissa käytetään pakokaasujen lämpötilan nostamista, joka saadaan aikaiseksi myöhästetyllä polttoaineen ruiskutuksella. FAME, jolla on korkea kiehumispiste, ei myöhään ruiskutettuna enää höyrysty kunnolla vaan saat-

9. Polttoainevaihtoehdot

taa aiheuttaa moottoriöljyn polttoainelaimentumaa ja siten moottorivaurioita. Muita FAMEen liittyviä ongelmia ovat sen huono varastoitavuus ja tuotannossa syntyvien sivutuotteiden käyttö ja talous. Tilanne paransi, mikäli FAMEn tuotannon sivutuotteita voitaisiin hyödyntää valmistamalla niistä korkeampiarvoisia tuotteita.

Polttoainedirektiivin 2009/30/EY ja uudistetun EN 590 -standardin mukaan jatkossa sallitaan 7 %:n FAME-pitoisuus. Direktiivin perusteluissa todetaan seuraavaa:

Dieselin rasvahapon metyyliesterin (FAME) pitoisuusraja vaaditaan teknisistä syistä. Tällaista rajaa ei vaadita kuitenkaan muilta biopolttoaineiden komponenteilta kuten puhtailta dieselin kaltaisilta hiilivedyiltä, jotka on tehty biomassasta käyttämällä Fischer–Tropsch-prosessia tai vetykäsiteltyä kasvisöljyä.

EN 590 -standardin päivitys 10 %:n FAME-pitoisuudelle on käynnistynyt CEN:ssä polttoaineiden laatudirektiivin ja komission mandaatin sanelemana. Arvion mukaan B10-spesifikaation voisi tulla voimaan 2012 tai 2013.

Kasviöljyn metyyliesterillä (FAME), kuten rypsiöljyn metyyliesterillä (RME), hiukkaspäästöt sekä CO- ja HC-päästöt tyypillisesti pienenevät mutta NO_x-päästöt lisääntyvät (EPA 2002, Aakko 2000). Absoluuttiset päästöerot tosin ovat pieniä, kun käytetään seospolttoaineita moderneissa jälkikäsitellyllä varustetuissa ajoneuvoissa.

Estereillä hiukkaspäästöjä saadaan vähennettyä merkittävästi. Sataprosenttisen FAMElla hiukkaspäästöt ovat keskimäärin 50 % alhaisemmat kuin tavanomaisen dieselpolttoaineen, ja alhaisillakin FAME-seossuhteilla saavutetaan yleensä dieselpolttoainetta vähäisempi hiukkaspäästö. Tosin estereiden korkean tislusalueen vuoksi pakokaasuissa on raskaita hiilivetyjä, jotka erityisesti pienillä kuormilla tiivistyvät hiukkasmaasiin ja saattavat jopa lisätä hiukkaspäästöä. Hapetuskatalysaattorilla voidaan vähentää tehokkaasti tällaisten ”märkien” hiukkasten massaa. Erittäin alhaiset hiukkaspäästöt saavutetaankin FAMEn ja hapetuskatalysaattorin yhdistelmällä, vaikka NO_x-päästö nousee tässäkin tapauksessa verrattaessa FAMEa dieselpolttoaineeseen. (Aakko et al. 2000.)

Formaldehydipäästöjen tai yksittäisten hiilivetypäästöjen suhteen ei yleensä ole havaittu merkittäviä eroja FAMEn ja tavallisen dieselpolttoaineen välillä. PAH-päästöjen on todettu vähenevän, kun FAMEa verrataan tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen. Samoin käy myös hiukkasten orgaanisen aineksen muta-geniselle aktiivisuudelle. (Bünger et al. 2007, Aakko et al. 2000.)

FAME biodiesel verrattuna dieselpolttoaineeseen:

- päästöedut: CO, HC, PM
- päästöhaitat: NO_x
- käytettävyysongelmia: huonohkot kylmäominaisuudet, ongelmia hiukkassuodattimien kanssa, voiteluöljyn huononeminen, materiaali-ongelmat, huono varastoitavuus.

9.6 Parafiiniset synteettiset polttoaineet dieselin korvaajina

9.6.1 Fischer-Tropsch-polttoaineet

Synteettisillä polttoaineilla tarkoitetaan ensisijaisesti synteetikaasusta (hiilimonoksidin ja vedyn seos) Fischer-Tropsch-prosessin avulla tuotettuja polttoaineita. Tekniikka kehitettiin alkujaan Saksassa 1920-luvulla. Synteetikaasua taas valmistetaan kaasutuoksella (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 kierätyspolttoaineet. Kaikkien näiden tuotantoprosessien tuotteista käytetään merkintää *XTL*. Lopputuotteen ominaisuudet eivät ole sidoksissa prosessin raaka-aineeseen, koska kaikkien vaihtoehtojen välivaiheena on synteetikaasu. Elinkaaren kasvihuonekaasupäästöt taas vaihtelevat huomattavasti raaka-aineen mukaan (ks. luku 4.2).

Fischer-Tropsch-synteesi tuottaa synteettistä raakaöljyä, josta öljynjalostuksen normaaleilla prosesseilla jalostetaan dieseljakeisiin painottuvia lopputuotteita. Esimerkiksi FT-raakaöljyn sisältämät vahat pilkotaan vetykrakkauksella. Synteettiset hiilivety-polttoaineet sopivat olemassa oleviin jakelujärjestelmiin ja ajoneuvoihin ilman muutostarpeita.

Eteläafrikkalainen Sasol on valmistanut synteettisiä polttoaineita ja kemikaaleja hiilestä 1950-luvulta lähtien ja on nyt viemässä teknologiaansa muun muassa Kiinaan. Sasolin Fischer-Tropsch-tekniikalla valmistettujen tuotteiden kirjo on varsin laaja. (Sasol 2007.)

Maakaasupohjaisen GTL:n tuotannon ennustetaan lisääntyvän lähivuosina merkittävästi. Biopohjaisista synteettisistä polttoaineista ei ole maailmalla vielä kaupallisia kokemuksia. CHORENin vuonna 2009 valmistunut BTL-laitos tulee

9. Polttoainevaihtoehdot

olemaan ensimmäinen kaupallinen laitos, joskin varsin pienessä kokoluokassa (15 000 t/a, Blades 2008). Laitoksen käynnistäminen on myöhästynyt useita vuosia. Suomessa BTL-tekniikkaa kehittävät Neste Oilin ja Stora Enson yhteisyritys, UPM ja VAPO.

Synteettinen (hiilivety-) polttoaine (XTL) on tyypillisesti korkealaatuista ja aromaattivapaata korkean setaaniluvun omaavaa dieselpolttoainetta. Vetykäsitteilyllä saadaan aikaan parafiinisia hiilivetyjä. Korkea setaaniluku ja rikittömyys tuovat lisäarvoa pelkkään lämpöarvoon verrattuna.

Synteettisen XTL-polttoaineen vety–hiili-suhde on suurempi kuin perinteisellä dieselpolttoaineella. Siten myös massaperustainen lämpöarvo on parempi, mikä johtaa dieselpolttoainetta alhaisempiin CO₂-päästöihin (–2...–6 %) ja massaperustaiseen polttoaineenkulutukseen (–1...–4 %) Pienemmän tiheyden vuoksi synteettisen dieselpolttoaineen tilavuuspohjainen polttoaineenkulutus on kuitenkin dieselpolttoainetta suurempi (+3...+6 %), ja moottorista saatava maksimiteho laskee lievästi, samalla tavalla kuin FAMElla. (Murtonen & Aakko 2009.)

Polttoainedirektiivi sisältää dieselpolttoaineen tiheyden maksimiarvon (845 kg/m³) mutta ei minimirajaa. EN 590 -standardissa sen sijaan on tiheyshaarukka, kesälaatuisele polttoaineelle 820–845 kg/m³ ja talvilaaduille 800–845 tai 800–840 kg/m³ luokasta riippuen. Jos synteettistä, 785 kg/m³ tiheyden omaavaa komponenttia sekoitetaan tiheydeltään 845 kg/m³ olevaan dieselpolttoaineeseen, tiheysraja 820 kg/m³ tulee vastaan noin 40 %:n sekoitussuhteella. Raskaampaa dieselkomponenttia käytettäessä sekoitussuhde voi olla jopa suurempi. Direktiivi ja normi määrittelevät lopputuotteen arvot, eivät yksittäisen komponentit tiheysarvoja. Muut polttoaineparametrit, mahdollisesti kylmäominaisuuksia lukuun ottamatta, eivät rajoita synteettisten komponenttien sekoittamista. Näin ollen EN590-vaatimukset voidaan täyttää jopa 40 %:n XTL-biokomponenttipitoisuudella.

Polttoainedirektiivi koskee vain polttoaineita, joiden mineraaliöljyosuus on yli 70 %. Jos tämä otetaan huomioon, kaikki direktiivin ja EN590-standardin vaatimukset voidaan täyttää 30 %:n XTL-pitoisuudella. Tosin 70 %:n raja on tulimääräyksissä erilaisia poikkeuspykälää, jotka mahdollistavat pienemmänkin mineraaliöljyosuuden.

Käytännössä mitkään tekijät eivät estä jopa sataprosenttisten synteettisten polttoaineiden käyttämistä sellaisenaan. Rikittömät alhaisen tiheyden parafiiniset polttoaineet edellyttävät kuitenkin kulumisenestolisäaineen käyttöä ruiskutuslaitteiden suojelemiseksi. Vastaavaa lisäaineistusta käytetään nykyään kaikissa tavanomaisissakin dieselpolttoaineissa.

Shellillä on toimiva GTL-tuotantolaitos Malesiassa. Shell käyttää GTL-komponenttia dieselpolttoaineessa muun muassa Alankomaissa, Italiassa, Itävallassa, Kreikassa, Saksassa, Sveitsissä ja Thaimaassa. Tuotenimiä ovat muun muassa *Shell V-Power Diesel* ja *Shell Pura Diesel*. Euroopassa V-Power Dieseliä 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. CHORENin mukaan SunFuel-dieselpolttoaineella on seuraavat edut:

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

Synteettinen dieselpolttoaine on selvästi parempilaatuista kuin perinteinen dieselpolttoaine, mutta synteettisen bensiinin osalta vastaavaa etua ei ilmeisesti ole. Näin ollen synteettisten polttoaineiden painopiste on ainakin toistaiseksi dieselpolttoaineissa.

9.6.2 Vetykäsitelty kasviöljy

Vetykäsittelyllä kasviöljyistä ja eläinrasvoista voidaan valmistaa korkealaatuista dieseliä. Yleisnimi tällaiselle tuotteelle on HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*) siitäkin huolimatta, että raaka-aine voi olla joko kasvi- tai eläinperäistä öljyä. Lopputuotteina syntyy parafiinihiilivetyjä, joiden ominaisuudet vastaavat pitkälti synteettisiä dieselpolttoaineita (taulukko 9.4). Lopputuote on väritön ja lähes hajuton neste. Muun muassa Neste Oil, Nippon Oil ja UOP ovat kehittäneet vetykäsittelytekniikoita. Neste Oil on ainoana yhtiönä vienyt sataprosenttisen HVO:n tuotantomittakaavaan. Muualla maailmassa on käytössä ns. *co-feed*-ratkaisuja, joissa syöttö on fossiilisen öljyn ja kasviöljyn seos.

Neste Oilin mukaan NExBTL-dieseliä voidaan käyttää synteettisten dieselkomponenttien tapaan joustavammin ja ilman tiettyjä tavanomaiseen FAME -polttoaineeseen liittyviä rajoitteita. Tähän on viittaus myös polttoainedirektiivin päivi-

9. Polttoainevaihtoehdot

tyksessä. Prosessissa ei myöskään synny ei-toivottuja sivutuotteita. Jalostamopohjainen prosessi mahdollistaa laajemman raaka-ainepohjan ja paremman tuoteoptimoinnin verrattuna perinteiseen menetelmään, jossa valmiiseen dieselpolttoaineeseen lisätään FAMEa. NExBTL-prosessissa syntyy myös pieni määrä biobensiiniä: noin 5 % lopputuotteesta on bensiinijakeita.

Ensimmäinen tuotantolaitos (170 000 t/a) käynnistyi Porvoon jalostamolla keuhällä 2007, ja toinen vastaavan kokoinen yksikkö otettiin käyttöön vuonna 2009. Rotterdamiin ja Singaporeen on rakenteilla selvästi suuremmat laitokset. Neste Oil tuo siis markkinoille ensimmäisenä maailmassa merkittäviä määriä edistyksestä biopolttoainetta, jossa yhdistyy perinteisen biodieselin raaka-ainepohja ja synteettisten polttoaineiden tuoteominaisuudet. Myös muut öljynjalostajat ovat osoittaneet mielenkiintoa kasviöljyjen hydrausta kohtaan (AMFI Newsletter 3/2007). Vetykäsittelystä kasviöljystä käytetään yleisesti lyhennystä HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*).

Pääkaupunkiseudulla on käynnissä laajamittainen NExBTL-kokeilu busseissa. Vuodet 2007–2010 kattavassa hankkeessa tutkitaan erityisesti suuria biokomponenttipitoisuuksia (30–100 %) ja näillä pitoisuuksilla saavutettavia ympäristöhyötyjä. Hanke toteutetaan HKL:n, YTV:n, Neste Oilin ja Proventian yhteistyönä. Syksyllä 2008 kokeilussa on mukana noin 300 bussia. (Nylund 2009.)

CEN julkaisi helmikuussa 2009 standardin esiasteen, Workshop Agreement CWA 15940:n¹⁵, parafiiniselle dieselpolttoaineelle, joka on valmistettu biomassasta synteetisikaasureittia tai öljyjen ja rasvojen vetykäsittelytekniikalla. CWA ei ole virallinen standardi vaan teollisuusosapuolten ja muiden kiinnostuneiden (Workshop 38) sopimus suositelluista laatuvaatimuksista (ks. taulukko 9.2 ja luku 9.8). CWA on voimassa enintään 3 + 3 vuotta. Viimeistään kuuden vuoden jälkeen CWA päivitetään varsinaiseksi standardiksi tai vaihtoehtoisesti lopetetaan tarpeettomana.

Biodieseliin ja synteettisiin dieselpolttoaineisiin, toisin kuin esimerkiksi kaasumaisiin ja alkoholia sisältäviin polttoaineisiin, ei liity mitään erityisiä turvallisuusriskejä, ja näitä polttoainelaatuja voidaan käsitellä kuten tavanomaista dieselpolttoainetta.

¹⁵ CWA 15940: Automotive fuels – Paraffinic diesel from synthesis or hydrotreatment – Requirements and test methods.

9.6.3 Parafiinisten dieselpolttoaineiden lähipäästöt

Tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen verrattuna parafiinisella synteettisellä dieselpolttoaineella voidaan vähentää yhtäaikaaisesti kaikkia merkittäviä päästökomponeentteja: niin NO_x- ja hiukkaspäästöjä kuin dieselpakokaasujen toksisuuttakin.

Parafiiniset XTL- tai HVO-tyyppiset polttoaineet vähentävät sellaisenaan 5–19 % NO_x-päästöä verrattuna dieselpolttoaineeseen raskaalla kalustolla, esimerkiksi Euro III -luokan raskaan kaluston ajoneuvoilla (ASFE 2007, Kuronen et al. 2007). Pääkaupunkiseudun Optibio-hankkeessa 11 Euro II – EEV -sertifioidulla kaupunkibussilla keskimääräinen NO_x-vähenemä sataprosenttisella NExBTL-polttoaineella oli 9–12 % (Nylund & Erkkilä 2009). Kevyellä kalustolla vähenemä ei ole yhtä selvä ja muutokset ovat pienempiä: –5...+5 % (Rantanen et al. 2005; ASFE 2007).

Hiukkaspäästöt ovat NO_x-päästöjen lisäksi dieselmoottoreiden suuri ongelma. Parafiiniset dieselpolttoaineet vähentävät hiukkaspäästöjä verrattuna tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen. ASFE:n (2007) mukaan vähenemä on noin 25 % kevyellä kalustolla, mikä vastaa hyvin suomalaisen tutkimuksen NExBTL:lle saamia tuloksia (Rantanen et al. 2005). ASFE:n (2007) mukaan raskaalla kalustolla Euro III -tekniikalla hiukkaspäästö laskee 10–34 % parafiinisella dieselpolttoaineeseen verrattuna (ASFE 2007). Suomalaisissa tutkimuksissa on havaittu suurempia vähenemiä (Kuronen et al. 2007: 30–45 %, Nylund & Erkkilä 2009: 27–37 %). Tulevaisuudessa hiukkassuodattimia käytetään yhä enemmän, mikä pienentää parafiinisella polttoaineilla saavutettavaa absoluuttista hiukkaspäästöetua.

Parafiininen dieselpolttoaine (esim. NExBTL) vähentää HC- ja CO -päästöjä kevyellä kalustolla noin 45 % sekä raskaalla kalustolla 9–16 % verrattaessa tavalliseen dieselpolttoaineeseen (ASFE 2007). Samansuuruisia tai suurempia päästövähenemiä on raportoitu suomalaisessa tutkimuksessa NExBTL-polttoaineella (Rantanen et al. 2005, Kuronen et al. 2007, Nylund & Erkkilä 2009).

Rantanen et al. (2005) mukaan henkilöautoilla 1,3-butadieeni- ja bentseenipäästöt olivat 30–50 % alhaisempia 85 %:n NExBTL-seoksella kuin dieselpolttoaineella. Formaldehydi- ja asetalddehydipäästöt vähenivät 30–40 %.

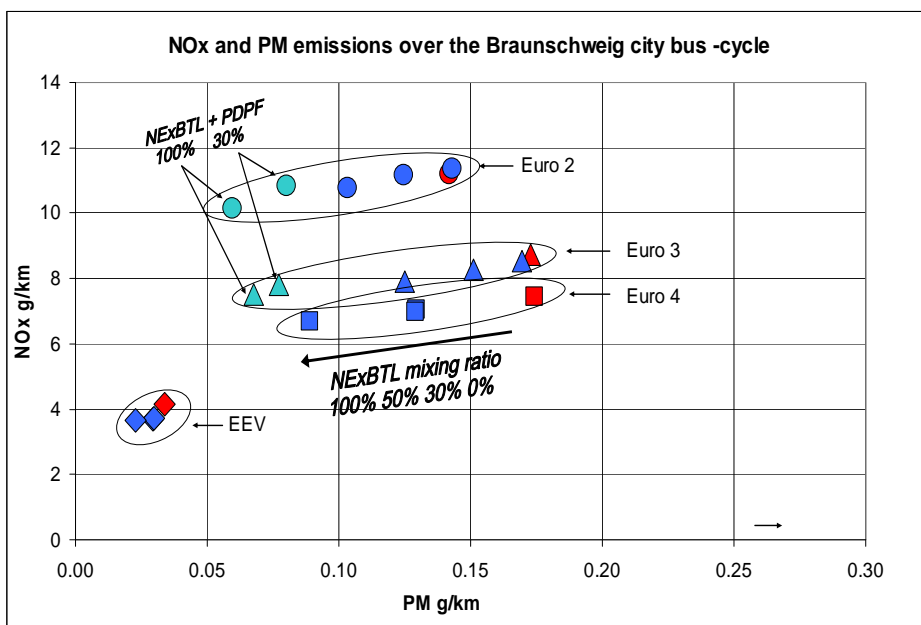
Kuronen et al. (2007) havaitsivat raskaalla kalustolla vain hienoisen PAH-päästöedun käytettäessä NExBTL-polttoainetta dieselpolttoaineen sijaan, mutta Optibio-hankkeessa havaittiin jopa 85 %:n vähenemiä PAH-päästöissä (Nylund & Erkkilä 2009).

Aatola et al. (2008) tutkivat *common-rail*-dieselmoottorin optimointia NExBTL-dieselille. Moottorin säätöjä muuttamalla moottori voidaan optimoida

9. Polttoainevaihtoehdot

niin, että jokin päästökomponentti vähenee vielä enemmän perustapaukseen verrattuna, tai vaihtoehtoisesti esimerkiksi siten, että NO_x-päästö vakioidaan, jolloin polttoaineen kulutus pienenee merkittävästi.

Kuvassa 9.6 on esimerkki NO_x- ja hiukkasvähennemistä NExBTL-polttoaineella. Kuvassa on tuloksia Euro II-, Euro III-, Euro IV- ja EEV-luokkien autoille. Kaikissa autotyypeissä nähdään sama trendi: NO_x-päästöt vähenevät noin 30 % ja hiukaspäästöt noin 30 % siirryttäessä tavanomaisesta dieselpolttoaineesta 100 %:n NExBTL:ään.



Kuva 9.6. NExBTL:n päästövaikutukset eri tekniikkaa edustavissa dieselbussissa (Nylund & Erkkilä 2009).

Parafiininen, synteettinen dieselpolttoaine (100 %) verrattuna perinteiseen dieselpolttoaineeseen:

- päästöedut: CO, HC, PM, NO_x, PAH
- päästöhaitat: ei päästöhaittoja
- käytettävyys: pääsääntöisesti erinomainen, kylmäkäyttöominaisuuksissa saattaa olla rajoitteita, antaa mahdollisuuden moottorin optimointiin joko päästöjen tai polttoaineen kulutuksen kannalta.

9.7 Kaasumaiset polttoaineet

9.7.1 Yleistä

Moottoripolttoaineeksi kelpaavien kaasujen kirjo on laaja. Varsinkin paikallismootoreissa, kuten voimalaitosmootoreissa ja aggregaateissa, käytetään mitä erilaisimpia kaasuja. Ajoneuvokäytössä valikoima on kuitenkin suppeampi, koska polttoaine on myös voitava varastoida järkevällä tavalla.

Kaasumaiset polttoaineet edellyttävät aina infrastruktuurimuutoksia, sekä tankkausjärjestelmissä että ajoneuvoissa. Usein riittävän suuren polttoainevärsäntön mahdollistaminen ajoneuvoon tuottaa ongelmia. Suurin osa maa- ja nestekaasuautoista on toteutettu kaksoispolttoainejärjestelmillä siten, että autoja voidaan käyttää myös bensiinillä. Moottoriteknisesti bensiinimoottorin muuttaminen esimerkiksi maa- tai nestekaasulle on suhteellisen helppoa.

9.7.2 Maa- ja biokaasu (metaani)

Metaani (CH_4) on väritöntä, myrkytöntä ja ilmaa lähes puolet kevyempää kaasu. 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 typeä. Myös propaania, hiilidioksidia ja happea on hyvin pieniä pitoisuuksia. Rikkiä Länsi-Siperian maakaasussa ei ole käytännössä lainkaan. (Gasum 2009.)

Biomassasta voidaan valmistaa metaania anaerobisesti mädättämällä tai kaasutusreittein kautta. Mädätyksessä biomassaa hajotetaan mikro-organismien hapettomassa tilassa. Metaanin lisäksi lopputuotteena on kiinteää ja nestemäistä mädätettä, hiilidioksidia, typeä, hiukkasia, rikkivetyä ja siloksaaneja. Mädätettä voidaan kompostoinnin jälkeen käyttää lannoitteena. Liikennekäyttöä varten biokaasu on puhdistettava siten, että metaanipitoisuus on yli 97 % eli kaasu vastaa hyvälaatuista maakaasua (Riikonen 2006). Biokaasun puhdistukseen on tarjolla erilaisia kaupallisia tekniikoita, joista käytetyin on vesipesu.

Termisellä kaasutuksella biomassasta valmistetusta kaasusta voidaan puhdistuksen jälkeen valmistaa metaania ns. metaanisynteesissä. Kyseessä on samankaltainen prosessi kuin nestemäisten synteettisten polttoaineiden valmistus biomassasta. Metaanin valmistuksessa kaasutuksen kautta saadusta synteetikaasusta

9. Polttoainevaihtoehdot

edetään metaanisynteesiin, kun taas dieselpolttoainetta valmistettaessa esimerkiksi Fischer-Tropsch-synteesiin. Raaka-aineena voi olla mikä tahansa hiiltä ja vetyä sisältävä raaka-aine, siis myös öljy tai kivihiihi. Termisen kaasutuksen ja metaanisynteesin kautta valmistettua metaania kutsutaan yleisesti synteettiseksi maakaasuksi.

Jatkossa tässä luvussa käsitellään maakaasua. Ajoneuvon kannalta maakaasu ja puhdistettu biokaasu ovat yhdenvertaisia. Ainoa seikka, jonka osalta ne eroavat toisistaan, on CO₂-tase. Maakaasu on fossiilinen polttoaine, kun taas biokaasu on nimensä mukaisesti uusiutuva polttoaine. Biokaasun puhdistuskin huomioiduna sen CO₂-tase on varsin edullinen.

Maakaasun tehollinen lämpöarvo on 36 MJ/m³. Näin ollen yksi kuutiometri maakaasua vastaa lämpöarvoltaan varsin tarkkaan yhtä litraa dieselpolttoainetta. Ajoneuvoissa maakaasua käytetään pääasiassa paineistettuna (*Compressed Natural Gas*, CNG) noin 200 barin paineeseen. Maakaasu voidaan myös nesteyttää -162 °C:ssa (*Liquidified Natural Gas*, LNG), jolloin sitä voidaan kuljettaa suurilla LNG-tankkereilla ja säiliöautoilla. Esimerkiksi Japaniin maakaasu viedään nesteytettynä.

Maakaasukäyttöisten ajoneuvojen käyttöä ei pääsääntöisesti rajoiteta Euroopassa turvallisuuskysymysten vuoksi. Helsingin Kampin maanalaiseen linja-autoterminaaliiin maakaasubussit eivät kuitenkaan saa ajaa. Maakaasubusseja ei huomioitu Kampin terminaalien rakennusvaiheessa, joten rakenteisiin jäi kohtia, joihin kaasu voi kerääntyä.

Suomessa maa- ja biokaasuautot ovat verotuksellisesti edullisia. Henkilöautojen CO₂-päästöihin perustuva autoverotus tuo etua kaasuautoille. Maa- ja biokaasuautot on vapautettu käyttövoimaverosta, ja polttoaineeseen kohdistuu nestemäisiin polttoaineisiin verrattuna alhainen vero. Tästä huolimatta maakaasuautot eivät ole yleistyneet Suomessa merkittävästi.

Bensiinin korvaus

Maakaasu sopii hyvin kipinäsytytteisissä moottoreissa käytettäväksi. Se on erinomainen bensiinin korvike, ja bensiinimoottori saadaan joko tehdasvalmistuksessa tai jälkiasennuksessa toimimaan maakaasulla varsin vähäisillä muutoksilla. 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 ai-noastaan vaihdetaan polttoaineeksi maakaasu. Tehohäviötä voidaan kuitenkin kompensoida kasvattamalla moottorin puristussuhdetta. Puristussuhteen lisäyksen mahdollistaa metaanin oktaaniluku, joka on noin 120, kun bensiinillä luku on 95–99. Maakaasumoottori voidaan myös ahtaa, jolloin tehohäviötä ei esiinny. Sekä Mercedes-Benzillä, Opelilla että Volkswagenilla on tarjolla ahdettuja maakaasuautoja, joiden teho vastaa bensiinimallien tehoja.

Useimmissa henkilöautoissa on käytössä kaksoispolttoainejärjestelmä, joka mahdollistaa ajon joko bensiinillä tai kaasulla ja kasvattaa siten toimintasädettä. 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. Tällainen maakaasulle optimoitu moottori on esimerkiksi Opel Zafirana vapaasti hengittävä moottoriversio, jossa puristussuhde on 12,8:1 (Opel 2009 a).

Maakaasun ominais-CO₂-päästö on 56 g/MJ, kun se bensiinillä ja dieselillä on noin 70 g CO₂/MJ. Bensiiniä korvattaessa CO₂-päästö pienenee noin 20 %. Metaani on voimakas kasvihuonekaasu. Niinpä kasvihuonekaasutarkasteluissa tulisi huomioida polttoaineketjun mahdolliset metaanipäästöt ja lisäksi autojen pakoputkesta mahdollisesti tuleva palamaton metaani.

Kemiallisesti yksinkertaisen polttoaineen ansiosta maakaasulla pakokaasujen koostumus ei ole yhtä haitallinen kuin bensiinillä. Kehittyntä moottoritekniikkaa käytettäessä bensiini- ja maakaasuauton säännellyissä päästöissä ei välttämättä ole merkittäviä eroja.

Kuvassa 9.7 on esitetty läpileikkaus maakaasukäyttöisestä Opel Zafirasta. Muiden modernien maakaasuautojen tapaan Zafirassa maakaasusäiliöt on sijoitettu auton alustaan siten, etteivät ne vie tilaa matkustamosta tai tavaratilasta.



Kuva 9.7. Maakaasukäyttöinen Opel Zafira (Opel 2009a).

Raskaan kaluston kaasumootorit

Lähes kaikki nykyiset raskaan kaluston kaasumootorit perustuvat muunnettuihin dieselmoottoreihin. Maakaasu ei syty itsestään puristussytytteisessä moottorissa (dieselmoottorissa), joten kaasumootori on muutettava ottomoottoriksi. Kaasumootorissa ruiskutussuutin on korvattu sytytystulpalla, ja männässä olevaa palotilaa on suurennettu puristussuhteen alentamiseksi. Kaasumootori on luonnollisestikin varustettava kaasun syöttölaitteilla. Nykymoottoreissa käytetään sähköisesti ohjattua takaisinkytkettyä polttoaineen suihkutusta – joko imukanavakoh- taista syöttöä tai keskitettyä ns. yksipistesuihkutusta.

Raskaissa ajoneuvoissa maakaasu saa aikaan merkittäviä päästövähennyksiä perinteisiin dieselmoottoreihin verrattuna niin säänneltyjen kuin ei-säänneltyjen päästöjen osalta. Tyypillistä kaikenikäisille kaasumootoreille on erittäin alhaiset hiukkaspäästöt. Varsinkin laihaseosmoottoreissa palamattoman metaanin päästö saattaa nousta korkeaksi, koska metaani on stabiili molekyyli ja vaikeasti hape- tettavissa katalysaattorissa. Metaani ei ole myrkyllistä, mutta koska se on voi- makas kasvihuonekaasu, päästöjä halutaan rajoittaa.

Kaasumootori toimii bensiinimoottorin tavoin ottomoottorina. Koska ki- pinäsytytteisen ottomoottorin hyötysuhde on noin 25 % (suht.) dieselmoottorin hyötysuhdetta huonompi, polttoaineen kemiallisesta koostumuksesta johtuva CO₂-etu kumoutuu huonomman hyötysuhteen myötä. Niinpä dieselmoottorin ja

raskaan maakaasumoottorin CO₂-päästöt ovat likimain yhtä suuret. Sama pätee koko polttoaineketjun CO₂-ekvivalenttipäästöihin. Kipinäsytytyksestä taas on etua alhaisen melutason muodossa.

Caterpillar valmisti yhdessä vaiheessa ns. *dual-fuel*-moottoreita, joissa imusarjaan imuilman joukkoon syötetty kaasu sytytettiin dieselruiskutuksella. Tämän konseptin etuna on parempi hyötysuhde ja polttoainejousto, tosin päästöjen kustannuksella. Wärtsilä käyttää konseptia menestyksekkäästi suurissa kaasumoottoreissa. Viime aikoina on ollut merkkejä siitä, että raskaiden ajoneuvojen valmistajien kiinnostus *dual-fuel*-ratkaisuja kohtaan olisi heräämässä uudelleen.

Kanadalainen Westport Innovations on jo pitkään kehittänyt maakaasun suoraruisikutusta. Myös tässä järjestelmässä kaasu sytytetään dieselpolttoaineen avulla, ja moottorin hyötysuhde vastaa dieselmoottorin hyötysuhdetta. Westport on kertonut tekevänsä yhteistyötä muun muassa Cumminsin, Isuzun ja MANin kanssa. Westportin HPDI-tekniikka on nyt kaupallistumassa raskaissa amerikkalaisissa Kenworth-rekkavetureissa (Westport Innovations 2008).

Moottorin lisäksi maakaasuautoerot eroavat dieselautoista polttoainesäiliöiden osalta. Dieseliin verrattuna maakaasu vaatii noin kuusinkertaisen säiliötilavuuden samaa ajomatkaa varten. Matalalattiaisissa busseissa kaasusäiliöt voidaan käytännössä sijoittaa vain auton katto-osaan joko pitkittäin tai poikittain. Maakaasubussin säiliötilavuus on tyypillisesti 1 000–17 00 l. Kaasun paineen ollessa 200 bar polttoainemäärä vastaa 200–340 litraa dieselpolttoainetta. Kaasusäiliöitä ei voida tyhjentää täysin, ja näin ollen noin 10 % polttoainemäärästä jää hyödynnettämättä. Näin maakaasubussin toimintamatka on enimmillään 400–450 km.

Kuorma-autoissa säiliötilavuus on yleensä selvästi pienempi, noin 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). Kenworth-rekkavetureissa on käytössä LNG-säiliöt.

Maa- ja biokaasun lähipäästöt henkilöautokalustossa ja raskaassa kalustossa

Maakaasun suhteellista puhtautta on hyödynnetty kehittyvillä markkinoilla, muun muassa Etelä-Amerikassa, jossa on käytössä paljon yksinkertaisella muunnostekniikalla toteutettuja kaasuautoja. Kehittynyttä moottori- ja puhdistintekniikkaa käytettäessä erot bensiinin ja maakaasun välillä ovat varsin pienet. Mainittakoon kuitenkin, että US EPA on nimennyt pelkällä maakaasulla toimivan Honda Civic GX NGV maakaasuauton maailman puhtaimmaksi polttomoot-

9. Polttoainevaihtoehdot

torikäyttöiseksi autoksi jo kymmenenä peräkkäisenä vuotena. Auto käyttää polttoaineenaan pelkkää maakaasua (Honda 2009a).

Euroopassa tarjolla olevat maakaasuautot ovat lähes poikkeuksetta kaksoispolttoaineautoja, joissa käynnistys tapahtuu bensiinillä. Bensiinikäynnistyksellä taataan, että bensiinin suihkutusjärjestelmä säilyy toimintakunnossa. Koska valtaosa päästöistä syntyy heti käynnistuksen jälkeen ennen kuin pakokaasujen puhdistusjärjestelmä alkaa toimia, ei bensiini- ja kaksoispolttoaineauton päästöprofiileissa ole juurikaan eroja.

Volkswagenin uusi VW Passat 1.4 TSI EcoFuel -maakaasuauto sai kuitenkin äskettäin ensimmäisenä auton maksimaaliset viisi ”ekotähteä” (92 pistettä 100 pisteen maksimimäärästä) saksalaisen ADAC-autojärjestön arvioinnissa. Auto on ADACin mukaan ympäristöystävällisin tähän asti arvioiduista 893 autosta. Malli on energiatehokas ja tuottaa dieselautoa vähemmän CO₂-päästöjä, ilman dieselin haitallisia hiukkasia (ADAC 2009).

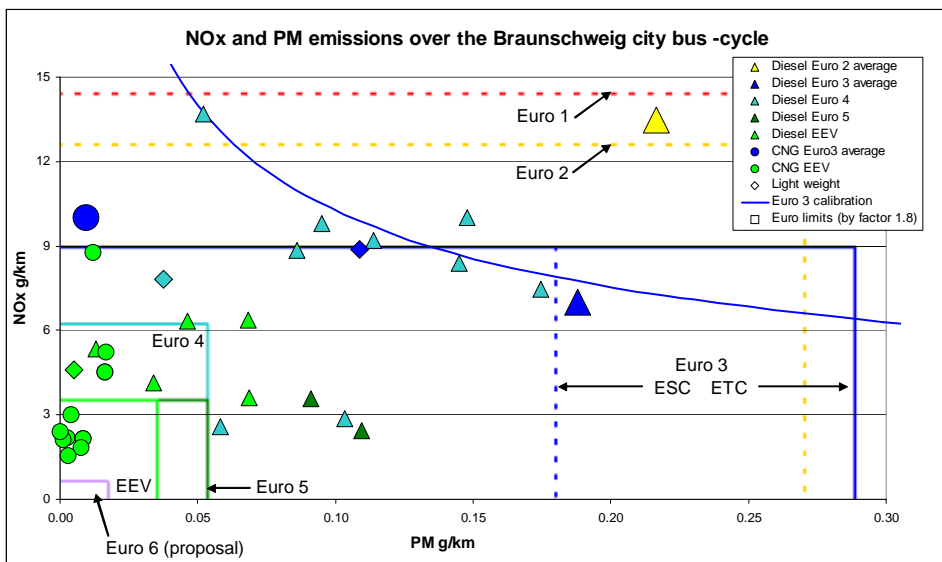
VTT on vuodesta 2002 lähtien tehnyt pakokaasulaboratoriossaan mittauksia yli sadalle erilaiselle bussille todellisuutta vastaavissa kuormitustilanteissa. Kaasubussit ovat olleet erityisen mielenkiinnon kohteena. Iästä riippumatta kaasubussien hiukkaspäästöt ovat hyvin alhaiset, parhaimpien hiukkassuodattimella varustettujen dieselbussien tasoa. NO_x-päästöt vaihtelevat auton tekniikan mukaan. Stoikiometrisella seoksella toimivat kolmitoimikatalysaattorilla varustetut bussit saavuttavat hyvinkin alhaisen NO_x-tason, kun taas laihaseostekniikka tuottaa dieseltasoa olevan NO_x-päästön.

Kuvassa 9.8 on esitetty uusimpien Euro IV, Euro V ja EEV-tasoisten bussien NO_x- ja hiukkaspäästöt Braunschweig-kaupunkisyklissä. Kuvaan on merkitty myös Euro II ja Euro III -autojen keskimääräiset arvot ja eri päästöluokkia vastaavat ”laatikot”. Kuvasta nähdään, että suurin osa EEV-kaasubusseista (vihreät ympyrät) antaa todellisuudessaakin EEV-tason suorituskyvyn. Euro IV, V ja EEV-luokkia edustavien dieselbussien tuloksissa sen sijaan on merkittävää hajontaa. Yksikään EEV-diesel ei todellisuudessa yllä EEV-päästötasoon, ja Euro IV -autot ovat keksimäärin vain Euro III -tasoa.

Vuonna 2004 VTT teki perusteellisen tutkimuksen diesel- ja kaasubussien säännellyistä ja sääntelemättömistä päästöistä. Tutkimuksen tulokset tiivistettiin seuraavasti:

Tulokset osoittavat että hiukkaspäästöjen suhteen, sekä massan että hiukkasten lukumäärän osalta, maakaasuautot vastaavat CRT-hiukkassuodattimella varustettua autoa. Molemmilla tekniikoilla hiukkasten lukumäärät ovat kaksi

kertaluokkaa pienemmät verrattuna dieselmoottoriin ilman pakokaasujen jälkikäsitelyä. Maakaasuautojen hiukkaslukumäärissä ei havaittu mitään poikkeavuuksia. Katalysaattoreilla varustettujen kaasuautojen formaldehydipäästöt olivat alhaiset, samaten PAH-päästöt. Maakaasuautojen pakokaasujen genotoksisuus Ames-testillä mitattuna oli erittäin alhainen. Sertifiointiluokasta riippuen maakaasuautot tarjoavat joko vastaavat tai huomattavasti alhaisemmat NO_x -päästöt Euro 3 -dieselautoihin verrattuna. (Nylund et al. 2004.)



Kuva 9.8. Kaupunkibussien todelliset NO_x - ja hiukkaspäästöt (VTT 2009).

Maa- ja biokaasu verrattuna bensiiniin ja dieselpolttoaineeseen:

- päästöedut: PM, NO_x (stoikiometrisillä moottoreilla), pakokaasujen alhainen reaktiivisuus
- päästöhaitat: suuret kokonaishiilivetyypäästöt ovat pääasiassa metaania, joka ei aiheuta terveyshaittoja mutta joka on voimakas kasvihuonekaasu
- käytettävyys: vaatii erikoisajoneuvoa.

9.7.3 Nestekaasu

Nestekaasun (LPG) pääkomponentit ovat propaani ja butaani. Lämpimissä maisissa käytetään suhteessa enemmän butaania ja 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.

Nestekaasua syntyy toisaalta öljyn jalostuksessa (öljyn keveimmät jakeet) ja toisaalta maakaasun puhdistuksessa (kaasun raskaimmat jakeet). Näin ollen nestekaasu on fossiilinen polttoaine, eikä sen ominais-CO₂-päästö juurikaan poikkea nestemäisistä hiilivetyypolttaineista. Nestekaasulle ei ole samanlaista luonnollista biovaihtoehtoa kuin biokaasu on maakaasulle, ja tästäkään syystä nestekaasu ei ole prioriteettilistalla kovin korkealla.

Moottoriteknisesti nestekaasu vastaa varsin pitkälti maakaasua tai metaania. Tosin joitain erojakin löytyy. Nestekaasulla on maakaasua alhaisempi oktaaniluku, mutta se saattaa sisältää moottoria likaavia ja oktaanilukua alentavia olefiinejä. Toisaalta nestekaasu on helpompi hapettaa katalysaattorissa kuin metaani, ts. nestekaasulla kokonaishiilivetyypäästö on alhaisempi kuin maakaasulla.

Nestekaasua käytetään pääasiassa henkilöautoissa, jotka jälkikäteen on muutettu kaksoispolttoainekäyttöön soveltuviksi. Säännelyihin päästöihin pätee sama kuin kaksoispolttoaine-maakaasuautoihin: päästöprofiili ei juuri poikkea bensiinistä.

Cummins ja MAN tekevät myös nestekaasukäyttöisiä raskaita ajoneuvoja ja moottoreita. DAF on jo lopettanut raskaan kaluston kaasumoottoreiden valmistuksen. Myös Suomessa tehtiin 90-luvun alkupuolella esisarja nestekaasukäyttöisiä raskaita ajoneuvoja. Nestekaasulla ei voi käyttää merkittävästi korotettua puristussuhdetta kuten maakaasulla, ja niinpä raskaassa kalustossa nestekaasun hyötysuhde on huono ja polttoaineen kulutus suuri. (Nylund 1995.)

Turvallisuusmielessä nestekaasun perusongelma on se, että kaasu on ilmaa raskaampaa. Näin ollen mahdollisesti vuotava kaasu voi kerääntyä esimerkiksi lattiakaivoihin. Niinpä Euroopassa on yleisesti kielletty nestekaasuautoilla ajo muun muassa pysäköintitaloihin ja liikennetunneleihin.

9.7.4 Dimetyylieetteri DME

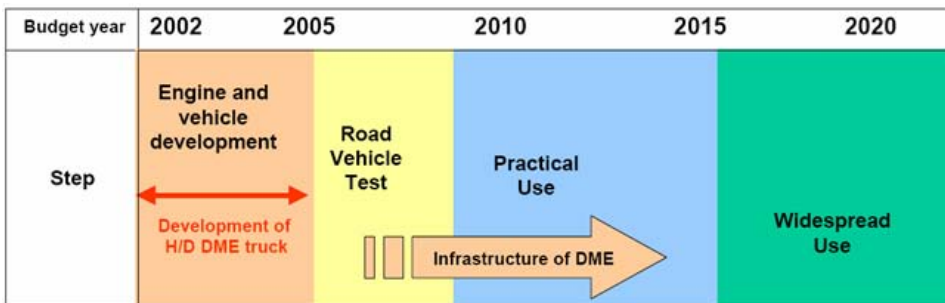
DME:tä voidaan valmistaa synteetikaasun ja metanolivälvaiheen kautta useista eri lähtöaineista, kuten biomassasta ja kivihielestä. DME:tä voidaan valmistaa myös maakaasusta suoraan tai metanolivälvaiheen kautta. DME muistuttaa ominaisuuksiltaan nestekaasua ja vaatii paineistetun varastoinnin. DME:tä on ajateltu käytettävän niin nestekaasun korvikkeena kotitalouskäytössä, voimantuotannon polttoaineena (kaasuturbiinit) kuin liikennepolttoaineenakin. Yksi DME:n eduista on selektiivinen ja energiatehokas synteesi. Tässä suhteessa metanoli on likimain samanarvoinen vaihtoehto.

DME:llä on, toisin kuin maa- ja nestekaasulla, korkea setaaniluku. Kyse on siis dieselpolttoaineen korvikkeesta. DME ei kuitenkaan ole kovin käytännöllinen moottoripolttoaine, koska sillä on erittäin alhainen viskositeetti, heikko voitelevuus ja korkea haihtuvuus. Näistä syistä tarvitaan muun muassa kokonaan uusi korkeapaineinen polttoaineen ruiskutusjärjestelmä, ja esimerkiksi polttoaineen siirtopumput on sijoitettava polttoainesäiliöihin kavitaation estämiseksi. DME:n käyttö teliikenteen polttoaineena edellyttäisi investointeja tuotantolaitoksiin, uuteen jakeluinfrastruktuuriin sekä ajoneuvoihin.

Haasteista huolimatta Volvo Group pitää DME:tä lupaavimpana vaihtoehtopolttoaineena. Volvon mukaan kaikista biopolttoaineista mustalipeästä kaasutamalla tehdyllä DME:llä saavutetaan suurin 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, johon osallistuu 14 raskasta kuorma-autoa neljällä paikkakunnalla Ruotsissa. (Röj 2008.)

Myös muun muassa AVL, Denso, Nissan Diesel ja TNO ovat kiinnostuneita DME:stä moottoripolttoaineena (Oikawa et al. 2005). Tästä huolimatta on epätodennäköistä, että DME saavuttaisi kaupallisen asteen vuoteen 2015 mennessä. Kuvassa 9.9 on Oikawan vuonna 2005 esittämä näkemys DME:n mahdollisen kaupallistumisen aikataulusta.

9. Polttoainevaihtoehdot



Kuva 9.9. DME:n mahdollinen kaupallistuminen liikennepolttoaineena (Oikawa et al. 2005).

9.7.5 Vety

Vety mainitaan usein tulevaisuuden polttoaineena, ja polttokenno tulevaisuuden voimanlähteenä. Tässä keskustelussa on kuitenkin usein unohdettu, että vety on sähkön tapaan energian kantaja, ei sen lähde. Tällä hetkellä maailman vetytuotanto perustuu yli 95-prosenttisesti maakaasuun. Vedyn suurin käyttäjä on öljynjalostusteollisuus, joka hyödyntää sitä polttoaineiden laadun parantamisessa (mm. erilaiset krakkausprosessit ja rikinpoisto).

Vety kuitenkin mahdollistaa osittain tai kokonaan CO₂-vapaan energijärjestelmän toteuttamisen – joko ydinenergian tai uusiutuvasta energiasta tuotettuna tai käytettäessä hiilidioksidin talteenottoa fossiilisilla polttoaineilla. Mahdollinen vetytalouteen siirtyminen vie kuitenkin aikaa ja vaatii merkittäviä investointeja. Ehkä suurimpana ongelmana on vedyn laajamittainen hankinta ja sen infrastruktuuri.

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

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

Vety polttomoottorissa

BMW on ilmoittanut harkitsevansa polttomoottorilla varustetun vetyauton sarjatuotantoa. Mistään pikkuautosta ei ole kyse, sillä vetyauto perustuu 7-sarjaan. Autossa on 6-litrainen V12-moottori. Auto voi käyttää joko bensiiniä tai vetyä; kummankin polttoaineen teho on 191 kW. Vety varastoidaan nesteytettynä. Toimintamatka vedyllä on 200 km, ja lisäksi autossa on 500 km:n matkan mah-

dollistava bensiinisäiliö (BMW 2007). Aiemmin BMW kokeili vetyautossa myös PEM-tyyppistä polttokennoyksikköä, ns. APUa (*Auxiliary Power Unit*), ilmaston ja muiden apulaitteiden tarvitseman sähkön tuottamiseen polttomoottorin ollessa pysäytettynä.

Muita vetypolttomoottorista kiinnostuneita autonvalmistajia ovat Ford ja sen kanssa samaan ryhmään kuuluva Mazda. Molemmat ovat rakentaneet pieniä, muutamien kymmenien autojen sarjoja. Ford on valmistanut sarjan ahdetulla vetymoottorilla varustettuja pienikokoisia busseja, joita on käytössä muun muassa Las Vegasissa. (News.com 2007.)

MAN on puolestaan rakentanut vetykäyttöisiä täysikokoisia busseja. Vuodesta 2005 lähtien Münchenin lentokentällä on ollut koekäytössä kaksi autoa, toinen polttokennolla ja toinen polttomoottorilla varustettuna. Vetymoottorin pohjana on MANin maakaasumoottori. Kokeilu on saanut jatkoa Berliinissä, jossa ensimmäiset polttomoottoribussit tulivat liikenteeseen kesällä 2006. Kahden vuoden sisään autoja on liikenteessä yhteensä neljätoista. MAN on kehittämässä myös uutta ahdettua laihaseosperiaatteella toimivaa moottoria, jossa vety syötetään suoraan palotilaan. Moottorin teho on 200 kW ja maksimihyötysuhde 40 % (MAN 2007).

Polttomoottorissa käytettynä vety kehittää jonkin verran typenoksidipäästöjä. Lisäksi voiteluaineesta saattaa syntyä hiukkaspäästöjä. MAN ilmoittaa vetykäyttöiselle polttomoottorille seuraavat päästöarvot ESC-testissä mitattuna (MAN 2007):

- NO_x 0,2 g/kWh
- HC 0,04 g/kWh
- CO alle määräysrajan
- PM alle 0,005 g/kWh.

Vetykäyttöisten polttokennoajonevojen päästöt on helppo raportoida, koska lopukäytön päästöt ovat käytännössä nolla. Esimerkiksi Mercedes-Benz Citaro FC -polttokennobussin teknisiin spesifikaatioihin emissioriveille on merkitty 0,000 (CUTE 2004). Polttokennoautoja käsitellään tarkemmin luvussa 11.7.

9.8 Polttoainestandardit

9.8.1 Yleistä

Polttoainestandardit rajoittavat polttoaineiden tai niiden komponenttien ominaisuuksia. Tällä pyritään turvaamaan hyvä käytettävyyden moottorissa sekä alhaiset

9. Polttoainevaihtoehdot

pakokaasupäästöt. Polttoaineiden laatuvaatimuksia koskevaa lainsäädäntöä on käsitelty luvussa 3.2.

Euroopassa polttoaineiden standardeja kehittää CEN (*European Committee for Standardization*). Dieselöljyn laatuominaisuuksien standardi on EN 590 ja bensiinin EN 228 (ks. luku 9.2.1). Auto- ja moottorivalmistajat ovat laatineet oman suosituksensa polttoaineille, nk. *World Wide Fuel Charterin* (WWFC).

9.8.2 Matalaseosteiset alkoholiseokset

Euroopassa etanolia on voitu lisätä bensiiniin enintään 5 tilavuus-% direktiivin 98/70/EY ja sen päivityksen 2003/17/EY mukaan. Joulukuussa 2008 hyväksytyssä direktiiviehdotuksessa etanolin raja-arvo nousee 10 %:iin 1.1.2011 alkaen (ks. luku 4.2).

Euroopassa CEN on laatinut standardin EN 15 376:2007 polttoaine-etanolille, jota käytetään korkeintaan 5 % etanolia sisältävälle bensiinille (taulukko 9.5). Standardia päivitetään kattamaan 10 %:n seokset.

Taulukko 9.5. Esimerkkejä laatuvaatimuksista standardissa EN 15 376:2007 (Automotive Fuels – Ethanol as a blending component for petrol – Requirements and test methods).

Ominaisuus	Arvo
Etanoli ja korkeammat alkoholit, min.	98,7 p-%
Korkeammat alkoholit, C3-C5, maks.	2,0 p-%
Metanoli, maks.	1,0 p-%
Vesipitoisuus, maks.	0,300 p-%
Epäorgaaninen kloridi, maks.	20,0 mg/l
Kupari, maks.	0,100 mg/kg
Fosfori, maks	0,50 mg/l
Rikki, maks.	10,0 mg/kg
Happamuus (etikkahappona), maks.	0,007 p-%

Auto- ja moottorivalmistajat ovat laatineet polttoaine-etanolille oman suosituksensa, *WWFC Ethanol Guidelinesin* (luonnos) (ACEA 2008). Suosituksessa määritellään laatuvaatimukset sataprosenttiselle etanolille, jota käytetään korkeintaan 10 % etanolia sisältävässä bensiinissä. (www.acea.be.)

9.8.3 Korkeaseosteinen alkoholi ottomoottorissa, E85

Viimeisten vuosien aikana nk. FFV-ajoneuvot (*Flexible Fuel Vehicles*) ovat tulleet Euroopassa markkinoille ja kasvattaneet suosiotaan erityisesti Ruotsissa. Nämä autot voivat käyttää etanolin ja bensiinin seoksia 85 %:n etanolipitoisuuteen saakka (E85).

CEN-työryhmä CEN/TC 19/WG 21/TF on valmistellut standardiehdotuksen prEN 15293:2009, *Automotive fuels – Ethanol (E85) automotive fuel – Requirements and test methods*, joka on parhaillaan hyväksyttävänä (taulukko 9.6).

Taulukko 9.6. Esimerkkejä E85-“esistandardista”. CEN Workshop Agreement CWA 15293 (Automotive fuels – Ethanol E85).

Ominaisuus	Luokka a	Luokka b	Luokka c	Luokka d
Etanoli ja korkeammat alkoholit, til-%	75–85	70–85	60–85	50–85
Höyrynpaine, kPa	35,0–60,0	50,0–80,0	55,0–80,0	min. 60,0

Ominaisuus	Arvo
Oktaaniluku (RON), min	104,0
Oktaaniluku (MON), min	88,0
Korkeammat alkoholit (C3-C5), maks.	6,0 til-%
Metanoli, maks.	1,0 til-%
Eetterit (C5 +), maks.	7,7 til-%
Vesi, maks.	0,400 p-%
Epäorgaaniset kloridit, maks.	6,0 mg/kg
Kupari, maks.	0,10 mg/kg
Fosfori, maks.	0,15 mg/kg

9.8.4 Alkoholi dieselmoottorissa

Ruotsissa etanolia (E95) käytetään syttyvyydenparantajan kanssa dieselbusseissa. Tätä varten Ruotsissa on standardi SS 155437 *Motor Fuels – Fuel Alcohols for high-speed diesel engines* (taulukko 9.7).

9. Polttoainevaihtoehdot

Taulukko 9.7. Esimerkkejä ruotsalaisen standardin laatuvaatimuksista E95-polttoaineelle (SS 155437 Motor Fuels – Fuel Alcohols for high-speed diesel engines).

Ominaisuus	Arvo
Etanolipitoisuus, min.	92,4 p-%
Tiheys 15 °C	805 ± 10 kg/m ³
Happamuus (etikkahappona), maks.	0,0025 p-%
Asetaldehydi, maks.	0,0025 p-%
Rikki, maks.	10 mg/kg

9.8.5 Biodiesel – kasviöljjen metyyliesterit

Euroopassa on ollut jo pitkään kansallisia FAME-standardveja, muun muassa Ruotsissa, Saksassa ja Itävallassa. Nykyään ne on korvattu CEN:in standardilla EN 14214 rasvahappojen metyyliesterille, FAMElle *Biodiesel: Automotive fuels – Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines – Requirements and test methods* (taulukko 9.8). EN 14214 on laadittu sataprosenttiselle FAMElle, jota voidaan käyttää EN590-seoksissa tai sellaisenaan. Standardin kylmäominaisuusvaatimukset eivät sen sijaan päde FAMElle, jota käytetään dieselpolttoaineen seoskomponenttina.

FAMEn määrä dieselpolttoaineessa on aiemmin rajoitettu laatustandardissa enintään 5 %:iin, mutta uudessa laatudirektiivissä ja päivitetystä EN590-standardissa sallittu maksimipitoisuus on 7 % (ks. luku 4.2). Lisäksi jäsenvaltiot saavat sallia 7 %:a suurempia FAME-pitoisuuksia dieselpolttoaineessa.

Taulukko 9.8. Esimerkkejä Eurooppalaisen standardin laatuvaatimuksista kasviöljyjen metyyliestereille, FAMElle (EN 14214:2008).

Ominaisuus	Arvo
Esteripitoisuus, min.	96,5 p-%
Tiheys, 15 °C	860–900 kg/m ³
Viskositeetti 40 °C	3,50–5,00 mm ² /s
Leimahduspiste, min.	101 °C
Rikkipitoisuus, maks.	10,0 mg/kg
Setaaniluku, min.	51,0
Tuhka, maks.	0,02 p-%
Vesipitoisuus, maks.	500 mg/kg
Hapetuskestävyys 110 °C, min.	6,0 tuntia
Happoluku, maks.	0,5 mg KOH/g
Jodiluku, maks.	120 g jodi/100 g
Metanolipitoisuus, maks.	0,20 p-%
Monoglyseroli, maks.	0,80 p-%
Diglyseroli, maks.	0,20 p-%
Triglyseroli, maks.	0,20 p-%
Kokonaisglyseroli, maks.	0,25 p-%
Ryhmän I metallit (Na+K), maks.	5,0 mg/kg
Ryhmän II metallit (Ca+Mg), maks.	5,0 mg/kg
Fosforipitoisuus, maks.	4,0 mg/kg

9.8.6 Synteettiset polttoaineet

Synteettisiä polttoaineita voidaan valmistaa synteetikaasusta käyttämällä muun muassa Fischer-Tropsch-synteesiä. Ominaisuuksiltaan samantapaisia polttoaineita voidaan valmistaa monella tavalla, esimerkiksi dieselöljyn osalta kasviöljyjä hydraamalla (ks. luku 7.6).

Etelä-Afrikka on valmistanut pitkään synteettisiä polttoaineita, pääasiassa bensiiniä kivihiilestä mutta nykyisin myös dieselöljyä kivihiilestä ja maakaasusta. Etelä-Afrikassa ei kuitenkaan ole standardeja synteettisille polttoaineille, vaan niiden edellytetään täyttävän normaalit bensiini- ja dieselöljystandardit.

CEN käynnisti työn parafiinisten dieselpolttoaineiden standardin kehittämiseksi syksyllä 2007 työryhmässä CEN Workshop 38, *XTL Gasoil for use in automotive diesel engines*. Työ kattaa niin synteetikaasusta valmistetut polttoaineet (raaka-aineena maakaasu, hiili tai biomassa) kuin vetykäsitellyt kasvi- ja eläinrasvapohjaiset polttoaineet. Helmikuussa 2009 julkaistiin standardin esiaoste numerolla CWA 15940: *Automotive fuels – Paraffinic diesel from synthesis or hydrotreat-*

9. Polttoainevaihtoehdot

ment – Requirements and test methods. Tämän dokumentin vaatimukset polttoaineminaisuuksille on esitetty taulukossa 9.2.1.

CWA:ssa todetaan, ettei parafiininen dieselpolttoaine täytä nykyistä EN590-spesifikaatiota. Parafiinisten polttoaineiden tiheys on pienempi kuin EN590-standardi vaatii. Parafiinisten polttoaineiden ominaisuudet poikkeavat perinteisestä dieselpolttoaineesta myös muun muassa setaaniluvun, rikkipitoisuuden, aromaattipitoisuuden ja tislausalueen suhteen.

CWA:ssa on määritelty kaksi luokkaa: luokka A, jonka setaaniluku on yli 70,0 (korkea setaaniluku), ja luokka B, jossa setaaniluku on 51,0–66,0 (väliä 66–70 ei ole määritelty, kirjoittajan huomautus). CWA toteaa lisäksi, että ympäristön kannalta parafiininen diesel on korkealuokkainen, puhtaasti palava polttoaine. Sitä voidaan käyttää olemassa olevissa moottoreissa, ja se alentaa päästöjä merkittävästi. Lisähuomautuksena on, että ympäristöhyötyjen maksimointi saattaa edellyttää moottorien uudelleen kalibrointia.

9.8.7 Maakaasu ja ”metaani”-polttoaineet

Maakaasu (CNG) on paljon käytetty polttoaine. Sen käyttö kuitenkin edellyttää erikoisvalmisteisia autoja. Maakaasun koostumus vaihtelee suuresti eri puolilla maailmaa, ja siksi yhteisestä standardista on vaikea sopia. Maakaasulle on silti olemassa kansainvälinen standardi ISO 15403, *Natural Gas – Designation of the quality of natural gas for use as a compressed fuel for vehicles*. Suomessa käytetään venäläistä maakaasua, jonka metaanipitoisuus on suuri verrattuna eurooppalaiseen maakaasuun.

Biokaasun tuotanto lisääntyy. Sitä käytetään polttoaineena muun muassa Ruotsissa, Ranskassa ja Italiassa. Ruotsissa biokaasulle on kansallinen standardi, SS 15 54 38.

Taulukko 9.9. Esimerkkejä Ruotsin biokaasustandardista, SS 15 54 38.

Ominaisuus	Biokaasu B (stökiometriselle moottorille)
Wobbe indeksi	43,9–47,3 MJ/Nm ³
Metaani (273.15 K ja 101.325 kPa)	97 ± 2 til-%
Vesi, maks.	32 mg/Nm ³
CO ₂ + O ₂ + N ₂ , maks., josta maks. O ₂	5,0 til-% 1,0 til-%
Rikki, maks.	23 mg/Nm ³
Typpiyhdisteet (paitsi N ₂), laskettu NH ₃ :ksi, maks.	20 mg/Nm ³
Hiukkaskoko, maks.	1 µm

9.9 Yhteenveto polttoainevaihtoehdoista

Polttoainevaihtoehtoja tarkasteltaessa tulee huomioida niin käytettävyyteen kuin ympäristöönkin liittyvät näkökulmat paitsi paikallisten (lähipäästöt) myös globaalien (kasvihuonekaasupäästöt) vaikutusten kannalta. Kokonaiskuvaa luotaessa on tärkeää huomata, ettei biopohjainen polttoaine automaattisesti vähennä lähipäästöjä. Lisäksi moottori- ja pakokaasujen jälkikäsittelytekniikka kehittyi jatkuvasti vähäpäästöisempään suuntaan, jolloin polttoaineen kemiallisen koostumuksen merkitys vähenee. Käytettävyys säilyy tärkeänä valintakriteerinä, ja kehittyneet polttoainejärjestelmät ja pakokaasujen jälkikäsittelylaitteet asettavat jatkossa entistä tiukempia rajoja polttoaineen epäpuhtauksille kuten tuhkalta ja fosforille.

Taulukossa 9.10 näkyy yhteenveto valittujen polttoaineiden vaikutuksesta lähipäästöihin verrattuna bensiiniin ja dieselpolttoaineeseen. Lisäksi taulukkoon on sisällytetty mainintoja erityisistä käytettävyyteen vaikuttavista tekijöistä. Lähipäästöjen arvotuksessa pyrittiin painottamaan uusimmalla ajoneuvo- tai jälkikäsittelytekniikalla saavutettuja tuloksia, mikäli niitä oli saatavilla. Lähipäästöjen kannalta tarkasteltavat polttoaineet on ryhmitelty siten, että päästövaikutuksiltaan samanarvoiset bensiiniä ja dieselpolttoainetta korvaavat polttoaineet ovat samassa ryhmässä. Seuraavassa on lyhyt yhteenveto eri polttoainevaihtoehdoista.

Pienmoottoribensiini – Pienkoneiden kanssa työskentelevät ihmiset altistuvat suoraan pakokaasuille, joten heille puhtaammasta polttoaineesta on paljon hyötyä. Pienkoneissa ei käytetä parasta teknologiaa, joten ominaispäästöt ovat suu-

9. Polttoainevaihtoehdot

ret. Parafiininen alkylaattibensiini ei sisällä terveydelle haitallisimpia yhdisteitä kuten bentseeniä, olefiineja ja aromaatteja. Se ei myöskään höyrysty yhtä helposti kuin tavalliset bensiinit. Pienmoottoribensiini vähentää merkittävästi käyttäjän altistusta muun muassa syöpää aiheuttaville yhdisteille verrattuna tavalliseen bensiiniin.

Synteettinen (bio)bensiini – Synteettistä (bio)bensiiniä voitaisiin valmistaa esimerkiksi Fischer-Tropsch- tai NExBTL-prosessilla. Näistä bensiinivaihtoehdoista tai niiden lähipäästöistä ei ole juurikaan tietoja.

Alkoholit bensiinin korvaajina – Etanoli on tällä hetkellä maailman yleisin biopolttoaine. Etanoli sopii sellaisenaan bensiiniautoihin. Kun sitä sekoitetaan bensiiniin korkeintaan noin 10 til-% ja kun moottoriin tehdään tiettyjä muutoksia, jopa noin 20 % etanolia sisältävää bensiiniä voidaan käyttää tavallisessa bensiinimoottorissa. FFV-autoissa voidaan käyttää korkeaseosteisia etanolipolttoaineita.

Matalaseosteinen etanoli – Autoala vastustaa yli 5 %:n etanolin käyttämistä vanhoissa ja joissakin 2000-luvun malleissa, koska etanoli on aggressiivinen joillekin kumi- ja muovimateriaaleille ja polttoainejärjestelmän kevytmetalleille ja aiheuttaa siksi vuotoriskin. 10 % etanolia bensiinin joukossa (päivitetyn polttoaineiden laatudirektiivin mukainen yläraja) saattaa aiheuttaa ajettavuusongelmia vanhemmissa autoissa etenkin talviaikaan. Pienetkin vesimäärät saattavat aiheuttaa bensiini-alkoholiseosten faasierottumisen kylmässä. Matalaseosteinen etanoli nostaa bensiinin höyrönpainetta vaikutuksen ollessa suurimmillaan noin 5–10 %:n alkoholipitoisuudella, mikä johtaa haihtumapäästöjen kasvuun. Oksygenaattien mukanaan tuoma happi alentaa CO- ja HC-päästöjä varsinkin vanhemmassa autokalustossa, mutta NO_x-päästö yleensä hieman lisääntyy. Asetaldehydipäästö lisääntyy voimakkaasti polttoaineen sisältäessä etanolia, erityisesti kylmäkäynnistyksissä. Useiden muiden terveydelle haitallisten päästöjen on raportoitu vähenevän, kun etanolipitoisuus kasvaa.

Eetterit ja korkeammat alkoholit – Käyttöteknisesti eetterit (MTBE, ETBE, TAME, TAEE) ja korkeammat alkoholit (esim. butanoli) ovat etanolia parempi vaihtoehto bensiinin seoskomponenteiksi. Korroosion, höyrönpaineen ja kosteusongelmien hallinta on helpompaa. Polttoainedirektiivin päivitys nostaa raskaiden eettereiden maksimipitoisuuden 15 %:sta 22 %:iin (til.). Vanhemmilla autoilla eettereillä saavutetaan CO-, HC- ja bentseenipäästövähenemisiä, mutta uusilla autoilla – vertailukohdan ollessa nykyinen hyvälaatuinen bensiini – ei välttämättä saavuteta suuria päästöetuja. ETBE:tä sisältävällä bensiinillä asetaldehydipäästöt ovat suuremmat kuin bensiinillä.

Korkeaseosteinen alkoholi ottomoottorissa, E85 – Modifioiduissa *Fuel Flexible Vehiche* (FFV) -autoissa voidaan käyttää korkeaseosteisia alkoholipolttoaineita. Käynnistyvyyden parantamiseksi seoksessa käytetään vähintään 15 % bensiiniä (haarukka 15–50 %). Alkoholi on huomioitava polttoainejärjestelmän materiaalivalinnoissa. E85-seoksella haihtumapäästöt ovat bensiiniä alhaisemmat. HC-, CO-, NO_x- ja hiukkas-, 1,3-butadieeni-, bentseeni- ja PAH- päästöt ovat yleensä lämpimässä yhtä suuret tai alhaisemmat kuin bensiinillä, mutta suurempia päästöjä esiintyy kylmässä. Asetaldehydipäästö lisääntyy voimakkaasti E85-polttoaineella, kun vertailukohtena on bensiini, erityisesti alhaisissa lämpötiloissa. Tilavuuspohjainen polttoaineen kulutus kasvaa merkittävästi bensiinikäyttöön verrattuna.

Alkoholiseospolttoaineet dieselmoottorissa – Etanoli ei sovi matalina seoksina dieselmoottoriin, vaikka joissain maissa tätä tutkitaankin. Dieselpolttoaine-etanolimulsiota on alhaisen leimahduspisteen kannalta käsiteltävä bensiinin tavoin, mikä on vaikeaa ympäristössä, jossa on totuttu dieselpolttoaineisiin (muutostarpeita tankkaus- ja korjaamojärjestelyihin).

Korkeaseosteinen alkoholi dieselmoottorissa, E95 – Alkoholi ei sovellu sellaisenaan tavanomaisen dieselmoottorin polttoaineeksi, vaan joko moottoria tai polttoainetta on modifioitava. Ruotsissa on käytössä etanolibusseja, joiden polttoaineena on syttyvyydenparantajalla ja voitelevuuslisäaineella lisääineistettu etanoli. Vuonna 2007 Scania toi markkinoille kolmannen sukupolven etanolimoottorin (EEV-luokka). Uusien moottoreiden päästöt ovat Scanian mukaan alhaisemmat kuin dieselbussien. Etanolibussin aldehydipäästöt ovat perinteisesti olleet moninkertaiset dieselbussiin verrattuna. Tilavuuspohjainen polttoaineen kulutus kasvaa merkittävästi dieselkäyttöön verrattuna.

Perinteinen biodiesel (FAME, RME) – Perinteinen biodiesel eli rasvahappojen metyyliesteri (FAME) sopii käytettäväksi dieselmoottoreissa. Perinteistä esteröityä biodieseliä voidaan käyttää joko dieselkomponenttina ja tietyin rajoituksin jopa dieselpolttoaineena sellaisenaan. FAMElla on monia käytettävyyteen liittyviä ongelmia, muun muassa huonot kylmäominaisuudet, huono varastoitavuus sekä materiaaliongelmia. FAMElla on havaittu myös ongelmia hiukkas-suodattimien yhteydessä. Ongelmia saattaa syntyä jopa EN590-standardin vaatimukset täyttävillä seoksilla (maks. 7 % FAME). Pelkällä FAMElla tilavuuspohjainen polttoaineen kulutus on dieselpolttoainetta hieman suurempi ja teho pienempi. FAMElla CO-, HC-, hiukkas- ja PAH-päästöt tyypillisesti pienenevät mutta NO_x-päästöt nousevat. Formaldehydipäästöjen tai yksittäisten hiilivety-

9. Polttoainevaihtoehdot

päästöjen suhteen ei yleensä ole havaittu merkittäviä eroja dieselpolttoaineeseen verrattuna.

Parafiiniset synteettiset polttoaineet dieselin korvaajina – Synteettinen (XTL) tai vetykäsitelty (HVO) polttoaine on tyypillisesti korkealaatuista, parafiinista, aromaattivapaata, korkean setaaniluvun omaavaa dieselpolttoainetta. Polttoaineen edullisemman vety–hiili-suhteen ansiosta CO₂-päästö on hieman alhaisempi kuin perinteisellä dieselpolttoaineella. Alhaisemman tiheyden vuoksi tilavuuspohjainen polttoaineenkulutus on kuitenkin hieman suurempi ja maksimiteho pienempi 100 %:n parafiinisella polttoaineella. Parafiininen polttoaine vähentää HC-, CO-, NO_x- ja hiukkaspäästöjä verrattaessa sitä tavalliseen dieselpolttoaineeseen. Myös muiden haitallisten päästöjen kuten 1,3-butadieeni- ja bentseeni- ja PAH-päästöt vähenevät merkittävästi.

Ma- ja biokaasu (metaani) – Kaasumaiset polttoaineet edellyttävät aina infrastruktuurimuutoksia sekä tankkausjärjestelmiin että ajoneuvoihin. Maakaasu on lähes kokonaan metaania, samoin kuin liikennekäyttöön puhdistettu biokaasu. Maakaasu sopii kipinäsytytteisissä moottoreissa käytettäväksi. Bensiiniä korvattaessa CO₂-päästö pienenee noin 20 %. Kemiallisesti yksinkertaisen polttoaineen ansiosta maakaasun pakokaasujen koostumus on vähemmän haitallinen kuin bensiinillä. Bensiini- ja maakaasuauton säännellyissä päästöissä ei välttämättä ole merkittäviä eroja.

Lähes kaikki nykyiset raskaan kaluston kaasumoottorit perustuvat muunneltuihin dieselmootteihin. Raskaiden ajoneuvojen osalta maakaasu tarjoaa merkittäviä päästövähennyksiä perinteisiin dieselmootteihin verrattuna niin säännellyissä kuin ei-säännellyissä päästöissä (hiukkaspäästöt, formaldehydi, PAH-päästöt). Metaanipäästö saattaa nousta suureksi. Metaani ei ole myrkyllistä, mutta se on voimakas kasvihuonekaasu. Dieselmoottorin ja raskaan maakaasumoottorin CO₂-päästöt ovat likimain yhtä suuret.

Muut vaihtoehdot – Nestekaasua voidaan käyttää myös moottoripolttoaineena. Nestekaasulla ei kuitenkaan ole luonnollista biovaihtoehtoa, joten sitä ei otettu tarkemman tarkastelun piiriin. Päästötarkasteluun ei ole myöskään sisällytetty DME-ajoneuvoja, jotka eivät ole vielä teknisesti valmiita.

Vety on energian kantaja sähkön tapaan. Se mahdollistaa joko osittain tai kokonaan CO₂-vapaan energiajärjestelmän toteuttamisen. Polttomoottorissa käytettynä vety aiheuttaa jonkin verran typenoksidipäästöjä, ja lisäksi voiteluaineesta saattaa syntyä hiukkaspäästöjä. Vetykäyttöisten polttokennoajoneuvojen päästöt ovat loppukäytössä käytännössä olemattomat.

Sähköautojen tarjonta on tänä päivänä hyvin rajallista, ja niiden hinta on kova. Sähköautojen (akku sähköautot ja *plug-in*-hybridit) osuus liikenteen energian käytöstä vuonna 2020 jäänee 1 %:n tasolle tai jopa sen alle.

Johtopäätökset

Käytännössä bensiini ja diesel tulevat olemaan pääasialliset polttoainevaihtoehdot ainakin vuoteen 2020 saakka. Kovin merkittäviä päästöihin vaikuttavia koostumusmuutoksia ei niiden osalta ole odotettavissa, sillä suurimmat askeleet on jo otettu. Dieselpolttoaineissa olisi mahdollista vähentää haitallisia terveysvaikutuksia rajoittamalla polyaromaattisten hiilivetyjen pitoisuutta Ruotsin tapaan.

Polttoaineen laatudirektiivin päivitys rajaa jatkossa bensiinin etanolipitoisuuden 10 til-%:iin ja FAME-pitoisuuden dieselpolttoaineessa 7 til-%:iin. Etanolia ja FAMEa tullaan siis jatkossakin käyttämään seoskomponentteina, mutta näillä pitoisuuksilla saavutetaan vain noin 6,5 %:n energiaosuus. Lisäksi molempiin vaihtoehtoihin liittyy ongelmia käytettävyyden ja lähipäästöjen kannalta, joten tulevaisuudessa tarvitaan muitakin ratkaisuja. Kansallisilla päätöksillä voidaan jo nyt käyttää suurempia FAME-pitoisuuksia erikseen merkityissä jakelumittareissa. Haasteista huolimatta komissio selvittää paraikaa mahdollisuuksia käyttää 10–25 %:n etanolipitoisuutta tavanomaisissa autoissa. Lisäksi se on velvoittanut CENin laatimaan EN590-standardista version, joka sallisi 10 % FAMEa dieselpolttoaineessa.

Parafiiniset dieselpolttoaineet, eli synteettinen Fischer-Tropsch-diesel tai vetykäsittelyllä tuotettu kasviöljy- tai eläinrasvapohjainen diesel, ovat hyviä niin käytettävyyden kuin lähipäästöjenkin kannalta. Tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen verrattuna synteettisellä dieselpolttoaineella voidaan vähentää sekä NO_x- että hiukkaspäästöjä ja lisäksi dieselpakokaasujen toksisuutta. Lisäksi parafiinisia polttoaineita on mahdollista käyttää korkeaseosteisena myös olemassa olevassa kalustossa. Myös metaani, parafiinisista polttoaineista yksinkertaisin, on lähipäästöjen kannalta erinomainen polttoaine. Kaasumaiset polttoaineet vaativat kuitenkin aina erikoisrakenteiset ajoneuvot ja erillisen jakelujärjestelmän.

Yksi mahdollisuus on käyttää korkeaseosteista etanolia (E85) erikoisvalmisissa FFV-autoissa. E85-polttoaineen käyttö vaatii muutoksia myös jakelujärjestelmään. Lisäksi polttoaineeseen liittyy kylmässä käytettävyyden ja päästöongelmia. Sinänsä FFV-autot tarjoavat kyllä joustavuutta polttoainepooliin sallimalla bensiiniä hankalampien polttoainekomponenttien käytön.

9. Polttoainevaihtoehdot

Bensiinin korvaajina eetterit ja korkeammat alkoholit tarjoavat parhaan käytettävyyden ilman suuria pakokaasuhaittoja. Parafiininen alkylaattibensiini pienentää käyttäjän terveyshaittoja verrattuna tavalliseen bensiiniin. Bensiinin osalta oksygenaattittomia vaihtoehtoja ei ole huomioitu, sillä niistä ei ole toistaiseksi riittävästi tietämystä. Muista vaihtoehdoista DME:n, vedyn tai sähkön osuudet eivät kasvane merkittäviksi vuoteen 2020 mennessä.

Taulukko 9.10. Bensiiniä ja dieselpolttoainetta korvaavien polttoaineiden vaikutus lähipäästöihin sekä käytettävyyssarvio¹³. Vihreällä taustalla näkyvät, millaisia päästöetuja biopolttoaineella saavutetaan bensiiniin ja dieselpolttoaineeseen verrattuna.

	BENSIINIIN KORVAUS			DIESELPOLTTOAINEEN KORVAUS				
	Etanoli <10 % muutos-%	Eetterit, butanoli+ muutos-%	E85/FFV muutos-%	FAME 100 % Kevyt ja raskas kal. muutos-%	XTL/HVO (100 %)		E95/bussit Raskas kalusto muutos-%	Metaani Raskas kalusto muutos-%
					Kevyt kalusto muutos-%	Raskas kalusto muutos-%		
Hiilivedyt (HC)	+/-	0...-	-8...+60	-70	-45	0...-48	+/-	+/- (NMHC)
Hiilimonoksidi (CO)	-	0...-	-20...+	-50	-40	-5...-78	+/-	+/-
Typen oksidit (NOx)	+	0...+	-20	10	0	-5 ... -19	0 .. -28a	-50
Hiukkaset (PM)	0...-	0...-	-...0	-50	-25	-28 ...-45	0 .. -60a	-80
Aldehydit	+73...	+50...+100	+700...+1 400*	0	-30 ... -40	0	0...+200	-80
1.3-Butadieeni, bentseeni	-	-	-70...0	0	-30...-50	0	0	-80
PAH-yhdisteet	-	-	-/+	-	-30	0...-85	(0...+)*	-80
Otsonimuod.potentiaali	+	+	++				+	
Käytettävyys (materiaalit, jakeluketju, stabiilisuus jne.)	<i>Huono</i>	<i>Hyvä</i>	<i>Huono</i>	<i>Huonohko</i>	<i>Hyvä</i>	<i>Hyvä</i>	<i>Huono</i>	<i>Hyvä</i>
Soveltuvuus perinteiselle autokannalle	<i>Rajoituksia</i>	<i>Sopii</i>	<i>Ei sovi</i>	<i>Rajoituksia</i>	<i>Sopii</i>	<i>Sopii</i>	<i>Ei sovi</i>	<i>Ei sovi</i>
Referenssit ¹⁴	10,11,13	16	1,2,4,9, 18	14,15	3,7	3,8, 17	2,5,6,12	

¹³ Bensiinimatriisissa vaihtoehtoja verrataan bensiinikäyttöisen kolmitoimikatalysaattorilla varustetun auton päästöihin käytettäessä eurooppalaiset EN228 (2004) -laatuvaatimukset täyttävää bensiiniä. Bensiiniauton polttoainevaihtoehtoina on tarkasteltu etanolia matala- ja korkeaseosteisena. Matalaseosteinen tarkoittaa korkeintaan 10 % etanolia sisältäviä bensiiniseoksia ja korkeaseosteinen, 85 % etanolia sisältävää seosta, joka vaatii erikoisajoneuvoa, ns. FFV-autoa. Korkeampia alkoholeja edustaa butanoli. Dieselajoneuvojen osalta perinteistä biodieselä (kasviöljyn metyyliesteri, FAME) ja toisen sukupolven parafiinista polttoainetta (XTL)¹ verrataan tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen. Lisäksi huomioidaan syttyvyydenparantajalisäaineella käsitelty etanolipolttoaine (E95), jota voidaan käyttää erikoisvalmisteisissa etanolibusseissa. Kaasuautoja voidaan verrata sekä bensiini- että dieselajoneuvoihin, mutta tässä vertailu on tehty dieselkäyttöisiin raskaan kaluston ajoneuvoihin.

¹⁴ 1 = Aakko et al. 2003b, 2 = Jacobson 2007, 3 = ASFE 2007, 4 = Aakko et al. 2003a, 5 = Rehnlund 2007, 6 = Ethanol bus presentation 2007, 7 = Rantanen 2005, 8 = Kuronen et al. 2007, 9 = Westerholm 2008, 10 = Durbin 2006, 11 = Manitoba, 12 = Bucksch & Egeback 1999, 13 = Env. Australia 2002, 14 = EPA 2002, 15 = Aakko et al. 2000, 16 = Pentikäinen 2003, 17 = Nylund et al. Optibio-hankkeen tuloksia., 18 = Yanowitz & McCormick 2009.

10. Kasvihuonekaasupäästöt

Tarkasteltaessa kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä, jotka ovat saavutettavissa vaihtoehtoisten polttoaineiden avulla, tulee ottaa huomioon polttoaineiden koko tuotanto- ja käyttöketjun kasvihuonekaasujen päästöt. Esimerkiksi biopolttoaineiden viljelyn ja polttoaineen prosessoinnin päästöt voivat muodostaa merkittävän osan koko tuotanto- ja käyttöketjun päästöistä.

Biopolttoaineiden osalta alan toimijoille kehykset antavat EU:n uudet direktiivit uusiutuvan energian edistämisestä ja polttoaineiden laadusta, ns. RES- ja polttoaineiden laatudirektiivit. RES-direktiivi asettaa liikenteessä käytettävälle uusiutuvalla energialla vähimmäisosuuden 10 % vuodelle 2020. Tavoitteessa huomioitavien biopolttoaineiden on täytettävä direktiiveissä asetetut yhteiset kestävyyskriteerit, muun muassa kasvihuonekaasupäästöille asetetut minimivähennykset verrattuna fossiilisen polttoaineen päästöihin. Polttoaineiden laatudirektiivi asettaa tavoitteet polttoaineiden elinkaarenaikaisten kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Biopolttoaineiden kasvihuonekaasupäästövaikutus huomioidaan kestävyyskriteerien mukaisesti.

Direktiiveissä annetaan eri biopolttoaineiden kasvihuonepäästöille oletusarvot sekä menetelmät tuotantoketjujen todellisten päästötaseiden laskemiselle. Direktiiveissä määritetään tilanteet, jolloin polttoaineen toimittaja voi käyttää oletusarvoja todellisten arvojen sijaan. Oletusarvoja voidaan käyttää, kun raaka-aine viljellään EU:n ulkopuolella tai EU:ssa alueella, jolla maatalouden raaka-aineiden viljelystä peräisin olevien kasvihuonekaasupäästöjen voidaan olettaa olevan samansuuruisia tai pienempiä kuin direktiivissä esitetyt viljelypäästöt. Oletusarvoja voidaan käyttää myös, kun raaka-aineena käytetään muita jätteitä tai tähteitä kuin maa- ja kalatalouden jätteitä.

Direktiiveissä annetut biopolttoaineiden tuotantoketjujen tyypilliset kasvihuonekaasupäästöt tuotantoketjujen eri vaiheissa sekä näistä johdetut oletusarvot on

koottu liitteeseen B. Suomalaisen toimijoiden kannalta keskeisten biopolttoaineiden kasvihuonekaasupäästövähennysten oletusarvoja ovat

- palmuöljy-NExBTL –65 % (prosessi, jossa metaani otetaan talteen öljynpuristamolla)
- sokeriruokoetanoli –71 %
- Fischer-Tropsch-diesel jätepuusta –95 %.

Etanolille sokeri- tai tärkkelyspitoisista jätteistä ei ole ilmoitettu oletusarvoa.

Biopolttoaineiden ilmastovaikutusten arviointi on moniulotteista, ja tulokset riippuvat huomattavasti valitusta lähestymistavasta, tarkastelun rajauksesta ja keskeisille parametreille oletetuista arvoista. Suomessa on VTT:n vetämässä hankkeessa arvioitu biomassan ympäristövaikutusten arvioinnin kriittisiä tekijöitä (Soimakallio ym. 2009). EU:n komissio seuraa laskentamenetelmien kehitystä ja tekee tarpeen mukaan korjaavia toimenpide-ehdotuksia direktiivien kestävyyskriteereihin.

Arviot saavutettavista kasvihuonekaasupäästöjen vähennyistä vaihtelevat tarkastelujen rajauksen, valitun vertailukohtan, raaka-aineen ja prosessin sekä muiden laskennassa käytettyjen oletusten ja parametrien mukaan. Tulokset riippuvat voimakkaasti siitä, ovatko polttoaineen tuotantoprosessiin kuuluvat sivutuotteiden virrat ja niiden käyttö tarkastelun rajapintojen sisä- vai ulkopuolella, sekä siitä, kuinka sivutuotteita arvioidaan. Lisäksi lähtötilannetta (esimerkiksi maankäyttömuodon nykytilanne), valittua vertailukohtaa (esimerkiksi ajoneuvon moottoritekniikan taso) ja laskennassa käytettyjä parametreja koskevat oletukset voivat poiketa eri selvityksissä oleellisesti toisistaan.

Suurien ilmastovaikutusten lisäksi on myös epäsuoria mekanismeja. Bioenergian piirissä tällaisia ovat muun muassa muutokset maankäytössä, esimerkiksi metsän muuntaminen viljelysmaaksi. Maankäyttö voi muuttua joko suoraan tarkasteltavassa tapauksessa tai epäsuorasti erilaisten siirtymämekanismien kautta (esim. kilpailu raaka-aineista tai maa-alasta).

RES-direktiivin 19. artiklan 6. kohdan mukaisesti komissio esittää viimeistään 31. päivänä joulukuuta 2010 Euroopan parlamentille ja neuvostolle koosteen, jossa tarkastellaan epäsuorien maankäytön muutosten vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin ja käsitellään tapoja minimoida tämä vaikutus. Esitykseen liitetään tarvittaessa ehdotus, joka perustuu parhaaseen saatavilla olevaan tieteelliseen näyttöön ja jossa esitetään epäsuorien maankäytön muutosten aiheuttamien päästöjen osalta

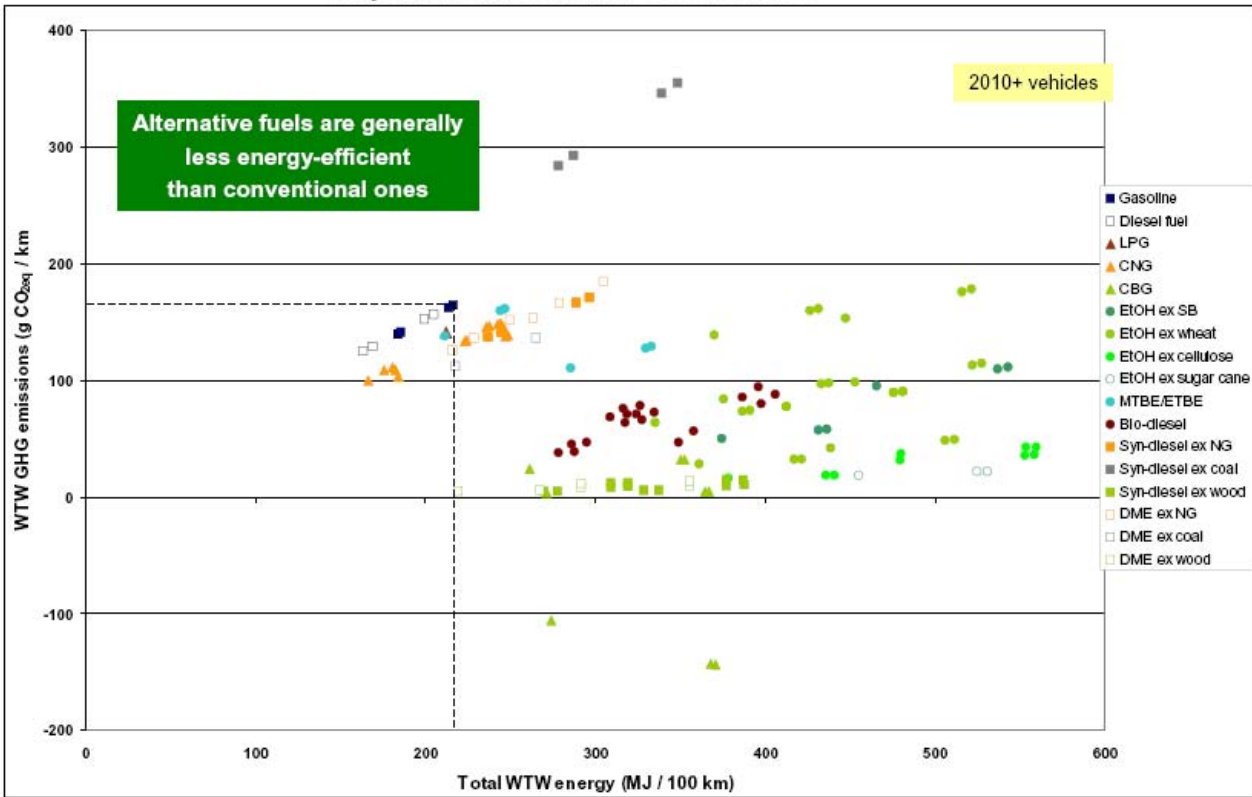
10. Kasvihuonekaasupäästöt

konkreettisia menetelmiä, joilla varmistetaan direktiivin asettamien kasvihuonekaasupäästöjen minimivähennysten noudattaminen (17. artiklan 2. kohta).

Ns. toisen sukupolven biopolttoaineet, kuten metsätähde- ja jättepohjaiset biopolttoaineet, ovat kasvihuonekaasupäästöjen kannalta yleensä kaupallisia pelto-biomassapohjaisia polttoaineketjuja suotuisampia fossiilisten polttoaineiden korvaajia. Kuvassa 10.1 on esitetty *Joint Research Centren* (JRC), Eucarin ja Concawen (JRC 2007) esittämät eri biopolttoaineiden ja vaihtoehtoisten polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöt sekä fossiilisen energian kulutus koko tuotanto- ja käyttöketjulle. Työ on ollut yhtenä lähtökohtana RES-direktiivin oletusarvojen määrittämiselle. Se perustuu eurooppalaisiin lähtötietoihin ja uusien teknologioiden osalta Keski-Euroopassa kehitteillä oleviin prosessikonsepteihin. Esimerkiksi erilaisten viljelyolosuhteiden vuoksi Suomessa viljeltäisiin biopolttoaineiden tuotantoon eri peltokasveja kuin muualla Euroopassa.

VTT:n ja MTT:n tutkimuksen, jossa selvitettiin kotimaisista raaka-aineista tuotettujen biopolttoaineiden ilmastovaikutuksia (Mäkinen ym. 2006), ja sen jatkotöiden (Soimakallio ym. 2007) keskeinen johtopäätös oli, että ohraetanolin ja rypsi biodieselin tuotanto ja käyttö nykymenetelmillä aiheuttavat suurella todennäköisyydellä suuremmat kasvihuonekaasujen päästöt kuin fossiilinen diesel tai bensiini. Ohran oljen tai rypsin varren käyttäminen päästöintensivisempien energialähteiden sijasta sekä maaperän hiilitaseen parantaminen ja typpioksiduulipäästöjen pienentäminen olisivat keskeisiä tekijöitä peltoenergiaketjujen kasvihuonekaasupäästöjen taseiden kohentamisessa. Metsätähteestä tai ruokohelvestä valmistettavalla ns. Fischer-Tropsch-dieselillä voidaan puolestaan saavuttaa noin 60–80 % fossiilista dieseliä pienemmät kasvihuonekaasupäästöt riippuen käytettävästä konseptista.

Liquid fuels, DME/LPG/CNG/CBG



Kuva 10.1. Kasvihuonekaasupäästöt sekä fossiilisen energian kulutus ajomatkaa kohden, kun polttoaineena käytetään biopolttoaineita tai muita vaihtoehtoisia polttoaineita (JRC 2007). Kuvassa on huomioitu koko polttoaineen tuotantoketju. Eri raaka-aineet sekä tuotantoprosessia koskevat oletukset vaikuttavat tuloksiin.

11. Sähkoon tukeutuvat voimalinjaratkaisut

11.1 Yleistä

Sähkön merkitys niin autojen voimalinjassa kuin erilaisissa apulaitteissa tulee lisääntymään. Sähkö kiinnostaa, sillä

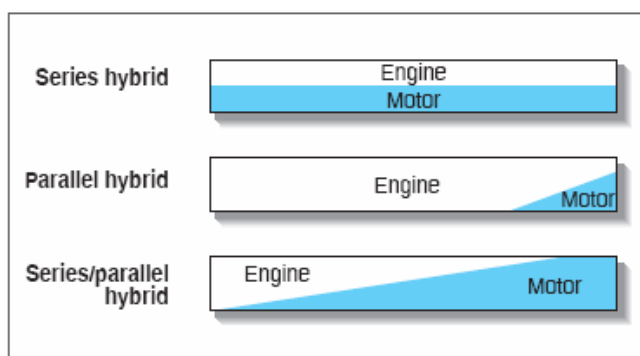
- sen avulla energian kulutusta voidaan pienentää
- se vähentää paikallisia päästöjä
- sitä voidaan tuottaa hyvin erilaisista primäärienergian lähteistä
- sillä voidaan korvata öljyä liikenteessä
- se luo uutta vapautta autojen muotoiluun.

Sähköistä voimasiirtoa hyödyntävät autot voidaan jakaa eri luokkiin. Hybridi- ja sähköautoille on yhteistä, että autoa eteenpäin vievä voima kehitetään osittain tai kokonaan sähkömoottorilla. Yksi pääluokittelu perustuu siihen, tuodaanko autoon sähköä ulkoa vai ei. Jos sähköä ei tuoda ulkoa, on kyse ns. autonomisesta hybridistä, jossa perustapauksessa yhdistyy polttomoottori ja sähköinen voimalinja. Autonominen ”perushybridi” toimii nimensä mukaan omillaan. Energiavarausto on suhteellisen pieni, ja sitä käytetään lähinnä hetkelliseen varastointiin, ei pitkäaikaiseen ajoon pelkällä sähköllä. Polttomoottoriauton hybridisointi parantaa energiatehokkuutta, koska se mahdollistaa

- jarrutusenergian talteenoton
- polttomoottorin koon ja toiminnan optimoinnin.

Myös polttokennoauto on tänä päivänä hybridi. Tässäkin tapauksessa hybridisointi mahdollistaa jarrutusenergian talteenoton sekä polttokennovoimalaitteen koon ja toiminnan optimoinnin. Polttokennoautossa kuorman tasaaminen vaikuttaa oleellisella tavalla itse polttokennon kestoikään. Lisäksi verkosta ladattava sähkö voisi toimia ”varapolttoaineena”, jos vetyä ei ole saatavilla.

Hybridijärjestelmistä päävaihtoehdot ovat sarjahybridi ja rinnakkaishybridi. Myös näiden molempien yhdistelmä on mahdollinen. Sarjahybridijärjestelmässä ajo tapahtuu aina sähkömoottorin avulla, ja sähköä tuottaa polttomoottorin ja generaattorin yhdistelmä (vaihtoehtoisesti polttokenno). Sarjahybridissä polttomoottori ja sähkömoottori tekevät likimain yhtä paljon työtä. Rinnakkaishybridijärjestelmässä polttomoottori dominoi ja sähkömoottori avustaa. Sekajärjestelmässä, jollainen on käytössä Toyota Priuksessa, suhde on muuttuva (kuva 11.1).



Kuva 11.1. Polttomoottorin ja sähkömoottorin työn osuudet eri hybridijärjestelmissä (Toyota 2003).

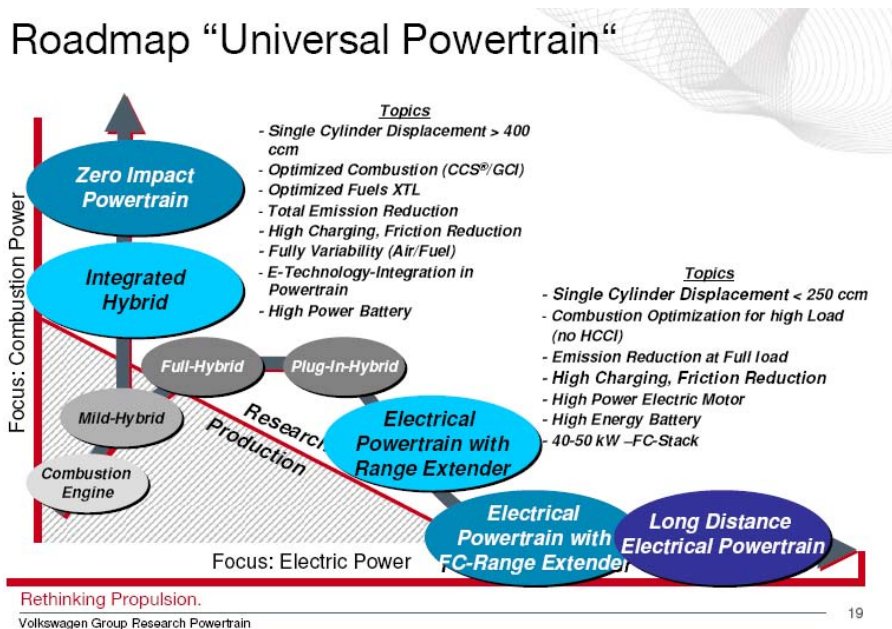
Vakiintumassa olevan terminologian mukaan sähköautoiksi nimitetään sellaisia autoja, joihin voidaan syöttää energiaa auton ulkopuolelta sähköverkosta. Ladattavat sähköautot voivat olla joko puhtaita akkusähköautoja tai hybridejä. Ladattavat hybridit jakautuvat niin ikään kahteen ryhmään: rinnakkaishybrideihin ja sarjahybrideihin, riippuen siitä, käytetäänkö ajossa mekaanisen ja sähköisen järjestelmän yhdistelmää vai pelkästään sähköistä järjestelmää.

Englannin kielessä käytetään seuraavia lyhenteitä:

- BEV (*Battery Electric Vehicle*) = akkusähköauto
- HEV (*Hybrid Electric Vehicle*) = autonominen perushybridi
- PHEV (*Plug-In Hybrid Electric Vehicle*) = lataushybridi
- EREV (*Extended Range Electric Vehicle*) = lataushybridi toteutettuna sarjahybridiratkaisuna
- FCV (*Fuel Cell Vehicle*) = polttokennoauto, oletusarvona hybridinä toteutettuna.

11. Sähköön tukeutuvat voimalinjaratkaisut

Kuvassa 11.2 on esitetty voimalinjaratkaisujen erilaisia kehityspolkuja. Pääsuunnat ovat polttomoottoriin perustuva ja täyssähköinen linja. Kumpikin vaatii hybridisointia.



Kuva 11.2. Voimalinjaratkaisujen vaihtoehtoiset kehityspolut (Steiger 2008).

1990-luvulla oli tarjolla jonkun verran akkusähköautoja. Yhdysvalloissa kehitystä ajoi Kalifornian nollapäästövaatimus (*zero emission vehicles*). Myös ranskalaiset autonvalmistajat (PSA, Renault) tekivät sähköautoja pieninä sarjoina. Suomessakin valmistettiin Elcat-sähköautoja.

2000-luvun alussa seurasi suvantovaihe. Nyt kiinnostus sähköautoihin on voinut uudelleen, ja muutama suuri autonvalmistaja (Mitsubishi, Renault, Toyota) on ilmoittanut tuovansa markkinoille akkusähköautoja. Tähänastiset hybridiautot ovat olleet autonomisia, ts. niihin ei ole syötetty ulkopuolista sähköenergiaa. Tähänkin on tulossa muutos, koska melkein kaikki autonvalmistajat tekevät töitä PHEV-autojen parissa.

Jos verkkosähköllä ladattaviin hybridiautoihin tai akkusähköautoihin ollaan siirtymässä yhä enemmän, sähkön kulutus kasvaisi. Sillä taas olisi heijastumia niin sähkön tuotantoon kuin sähkön jakeluverkkoon. Suomessa tilanne infrastruktuurin osalta on siinä mielessä hyvä, että ainakin alussa, sähköautojen lukumäärän ollessa rajallinen, lataukseen voitaisiin käyttää olemassa olevia lohko-

lämmittinrasioita. Jos koko Suomen henkilöautokanta muutettaisiin sähköautoiksi, se merkitsi noin 9 TWh:n vuotuista sähkömäärää (keskitehona olisi noin 1 000 MW).

Lohkolämmittinrasian tyypillinen sulakekoko on 16 A, jolloin mahdollinen latausteho on noin 3,5 kW. Sähköauto kuluttaa energiaa 0,15–0,25 kWh/km auton koosta riippuen. Akkujen latauksen hyötysuhde on varsin suuri, ja niinpä jo yhden tunnin latauksella saadaan 15–20 km ajomatkaa.

15.12.2009 Espoossa järjestettiin seminaari liikenteen uusiutuvasta energiasta. Yksi puhujista oli IEA (kansainvälinen energiajärjestö) *Hybrid and Electric Vehicle* -tutkimussopimuksen puheenjohtaja, joka kiteytti sähköautojen nopeaa yleistymistä rajoittavat tekijät seuraavasti (Muntwyler 2008):

- sähköautoihin kohdistuva ”hype”
 - odotukset ja todellisuus eivät kohtaa
- akkujen rajoitteet
 - hinta, energiatiheys, syklikestävyys
- sähköautokomponenttien tuotannon rajallisuus
 - akut, tehoelektroniikka, moottorit, ohjausjärjestelmät
- oman akkukarakteristiikkansa vaativat akkusähköautot, ladattavat hybridit ja autonomiset hybridit.

Finnish Electric Vehicle Technology (FEVT) toimitusjohtaja puolestaan kiteytti joulukuussa 2008 pidetyssä Tekes-seminaarissa sähköautokehityksen haasteet ja näkymät seuraavasti (Alatalo 2008):

- Akut vaativat kehitystyötä ja niiden koon, eliniän ja kustannusten optimointia.
- Hybridi on riskienhallintapolku, koska akut eivät ole yhtä kriittisiä kuin puhtaassa akkusähköautossa.
- Moottori ja sähköinen energiavarasto hakevat tasapainoa.
- Siirtyminen sähköisiin ajoneuvoihin vie yli kymmenen vuotta.
- Jatkossakin on käytössä useita rinnakkaisia energiamuotoja.

Vaikka massiivinen siirtyminen sähköautoihin ei tule tapahtumaan kovin nopeasti, verotuksessa olisi syytä varautua verkosta ladattavien sähkö- ja hybridiautojen markkinoille tuloon. Autonomiset hybridit saavat jo nyt etua CO₂-päästöihin perustuvan autoveron ja jatkossa niin ikään CO₂-päästöihin perustuvan ajoneuvoveron perusteella.

11.2 Akkujen kehitystilanne

Akku tai akusto on sähköauton kriittisin ja samalla myös kallein komponentti. Perinteinen lyijyakku ei tarjoa riittävää suorituskykyä, ja siksi markkinoille on tullut uusia akkutyyppejä. Taulukossa 11.1 on yhteenveto eri akkutyyppeiden ominaisuuksista. Kuvassa 11.3 esitetään eri akkutyyppeiden energiatiheys.

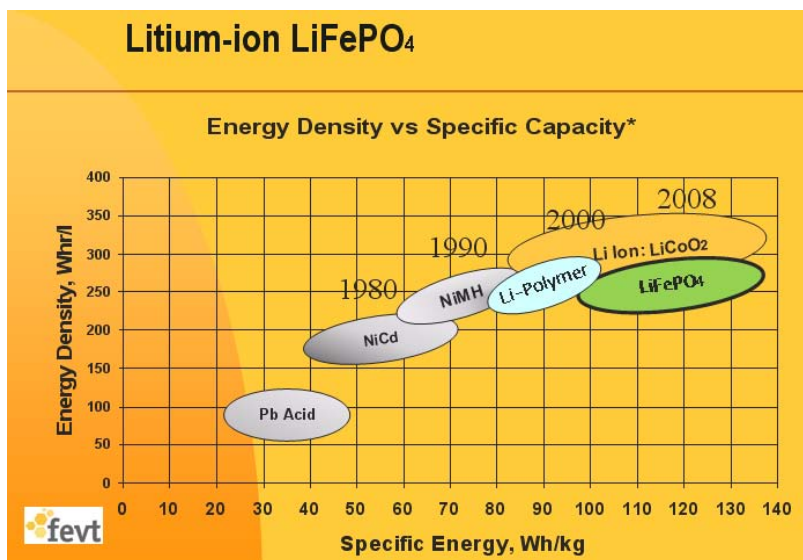
European Batteries rakentaa Varkauteen litium-ioni-akkutehdasta. Valittu teknologia on rautafosfaatti, koska se on turvallisempi ja ympäristöystävällisempi vaihtoehto kuin kobolttipohjainen tekniikka (Alatalo 2008).

Taulukossa 11.2 näkyy japanilainen projektio akkuteknologian kehityksestä. Kun isot autonvalmistajat tuovat sähköautonsa markkinoille vuonna 2010, akkujen hinta tulee olemaan noin 1 000 €/kWh. Tästä hinnan odotetaan laskevan kolmannekseen vuoteen 2015 mennessä, ja samalla energiatiheys parantuu 50 %.

Taulukko 11.1. Eri akkutyyppeiden ominaisuudet (Tekniikka & talous).

	Lyijy	Nikkeli-kadmium	Nikkeli-metalli-hydridi	Litium-ioni (koboltti)	Litium-ioni (rautafosfaatti)
Energiatiheys (Wh/kg)	30–50	45–80	60–110	110–200	100–180
Elinikä, sykliisyys (lukumäärä^{*)})	200–300	1 500	300–500	500–1 000	3 000+
Latausaika (h)	2–5	1	2–3	1–3	1–2
Itsepurkautuvuus (%/kk)	5	20	30	3	2
Toimintajännite (V)	2	1,2	1,2	3,6	3,2
Suhteellinen hinta	100	300–400	300–400	400–500	300–400
Suhteellinen turvallisuus^{**)}	2	1	1	4	1
Suhteellinen ympäristöystävällisyys^{**)}	3	4	2	2	1

^{*)} täysiä purkauksia ^{**)} pienempi luku parempi



Kuva 11.3. Eri akkutyypin energiatiheys (Alatalo 2008).

Taulukko 11.2. Japanilainen arvio akkutekniikan kehityksestä. Current status = vuosi 2007. Hinta jeneinä, 1 € ~ 100 jeniä. (Iwai 2008.)

Targets of battery performance by pack level

	Current status	Improved batteries (2010)	Advanced batteries (2015)	(2020?)	Innovative batteries (2030)
	Small-size EVs for electric power companies	Application-specific commuter EVs High-performance HVs	General commuter EVs Fuel cell vehicles Plug-in HVs	High-performance Plug-in HVs	Standard-sized EVs
Performance*	1	1	1.5 times	3 times	7 times
Cost	1 \200,000/kwh	1/2 \100,000/kwh	1/7 \30,000/kwh	1/10 \20,000/kwh	1/40 \5,000/kwh
Development system	Industry initiative	Industry initiative	Industry-government-academia collaboration		Universities and research institutions
Technology-development project (NEDO)	FY2007 Budget: About 1.7 billion yen (Practice for five years between FY2007 and FY2011) Advertised on March 20; Application closed on April 20		Element-technology development		Development of next-generation technology

* Compared by weight energy density

11. Sähköön tukeutuvat voimalinjaratkaisut

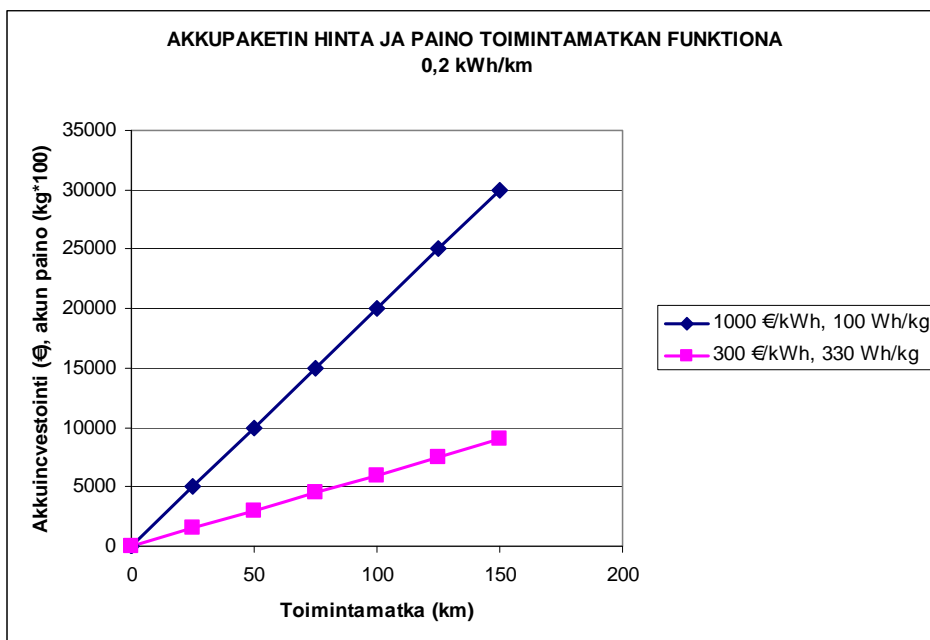
IEA:n *Energy Technology Perspectives 2008* -julkaisussa on niin ikään esitetty projektio akkujen hintakehityksestä (taulukko 11.3). IEA:n mukaan akkujen nykyhintaa on 1 000 USD/kWh, ja se voisi laskea tasolle 300 USD/kWh. Taulukossa 9.3 on esitetty myös, miten *plug-in*-hybridin sähköinen toimintamatka vaikuttaa akkupaketin kokoon ja hintaan. Jos PHEV-auton sähköinen toimintamatka on 80 km, akkupaketti maksaa nykyhinnoilla noin 20 000 USD.

Kuvassa 11.4 on esitetty akkupaketin hinta ja paino sähköisen toimintamatkan funktiona. Kuva perustuu japanilaisten ja IEA:n arvioihin. Tänä päivänä 100 km:n toimintamatkan antava akkupaketti maksaa noin 20 000 € ja painaa noin 200 kg. Vuoden 2020 jälkeen hinta voisi olla noin 9 000 € ja paino noin 60 kg.

Taulukko 11.3. IEA:n projektio akkujen hintakehityksestä (ETP 2008).

Plug-in vehicle battery capacity	Vehicle driving range on batteries (km)	Battery storage needed (kWh)	Vehicle battery cost (USD)		Percent of average daily driving on batteries
			Current (USD 1 000/kWh)	Future (USD 300/kWh)	
Low	20 km	5	5 000	1 500	20–40 %
Medium	50 km	12,5	12 500	3 750	40–60 %
High	80 km	20	20 000	6 000	60–80 %

Based on recent estimates of EV battery cost, efficiency, and daily driving profiles; percentage of daily driving for a given range will be higher in some countries (like Japan) than others (like US).



Kuva 11.4. Akkupaketin hinta ja paino nyt ja akkujen kehitystyön onnistuessa. Oletusarvot: auton energian kulutus 0,2 kWh/km, nykytilanne 1 000 €/kWh ja 100 Wh/kg, tulevaisuus (v. 2020 jälkeen) 300 €/kWh ja 330 Wh/kg.

Akkujen kestoikä ja akkujen kierrättäminen ovat toistaiseksi avoimia kysymyksiä. Lyijyakut ovat sähköautosovelluksissa väistyneet kehittyneempien akkutyyppeiden tieltä. NiCd, Ni-MH ja Li-ion-akkujen kierrätys on vielä kehitysvaiheessa. Akun elinkaaren aikana voi syntyä myrkyllisiä päästöjä, joista voi tulla ongelma siinä vaiheessa, kun hybridi- ja sähköautot autot yleistyvät merkittävästi. (Hybrids for road transport 2005.)

Joissakin kaavailuissa akkusähköautoihin on ehdotettu pikavaihdettavia akkupaketteja (www.betterworld.com). Vaihto voisi tapahtua eräänlaisilla huoltoamoilla. Pakettiautoilla ja vastaavilla vaihto voisi onnistuakin – edellyttäen, että autoteollisuus pääsee sopimukseen akkupakettien standardoinnista. Henkilöautoihin järjestelmän soveltaminen on vaikeampaa, koska tilan käytön kannalta akut pyritään sijoittamaan esimerkiksi auton alustarakenteisiin kiinteästi niin, että ne vievät mahdollisimman vähän matkustamotilaa.

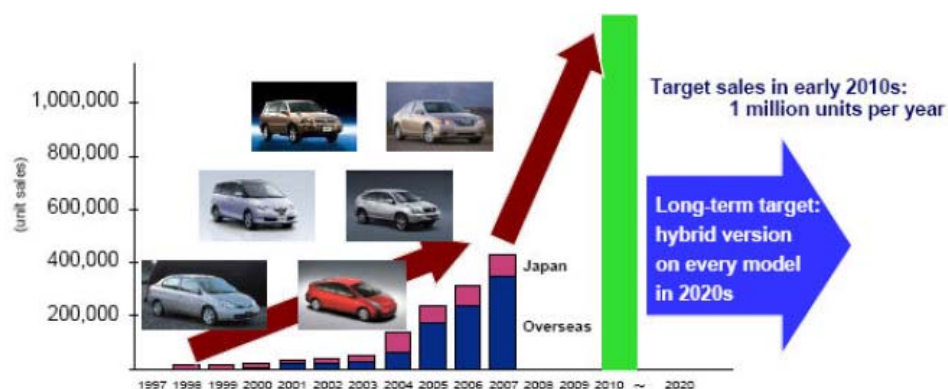
11.3 Perushybridit (autonomiset)

Hybridisoinnilla voidaan saavuttaa henkilöautoissa noin 25 %:n ja kaupunkilinja-autoissa jopa yli 30 %:n polttoaineen säästö. Hybriditekniikka on vielä kehitysvaiheessa, joten hyötysuhteiden voidaan olettaa vielä paranevan tehokkaampien ja kehittyneempien komponenttien myötä. Hybriditekniikasta saadaan paras hyöty luonnollisesti kaupunkiolosuhteissa. Tasaisessa maantieajossa perinteinen dieselhenkilöaito on kuitenkin hybridiä tehokkaampi.

Hybriditekniikka leikkaa päästöjä vähintään samassa suhteessa kuin polttoaineen kulutusta. Varsinkin busseissa on havaittu merkittäviä hiukkaspäästöjen vähenemisiä, kun hybridijärjestelmä tasaa kiihdytysten tehopiikkejä. (Chandler & Walkowicz 2006.)

Hybriditekniikan kehityksestä huolimatta markkinoilla ei ole vielä kovin montaa sarjavalmisteista hybridiäautoa. Pisimmällä on Toyota, joka on jo vuodesta 1997 sarjavalmistanut henkilöautohybridi Priusta. Kumulatiivinen hybridimallien myynti ylitti miljoona yksikköä vuonna 2007, ja myyntitavoite 2010-luvun alkupuolelle on miljoona yksikköä vuodessa (kuva 11.5). Tuotevalikoimasta löytyy muitakin ajoneuvomalleja, etenkin Yhdysvaltojen markkinoille.

Henkilöautoissa hybridien markkinaosuus on IEA:n mukaan nyt 2–3 %, ja sen odotetaan nousevan 10 %:iin vuoteen 2015 mennessä. Sähköautojen markkinaosuuden odotetaan jäävän selvästi pienemmäksi. (IEA HEV 2009.)



TOYOTA

Kuva 11.5. Toyota Priuksen myyntimäärien kehitys (Toyota 2007).

Bussit ovat erityisen kiinnostava sovelluskohde. Helsingissä toukokuussa 2007 pidetyssä kansainvälisen joukkoliikennejärjestön UITP:n konferenssissa kaikki merkittävät bussinvalmistajat esittelivät hybridibussien prototyyppejä. Mercedes-Benz ja Scania ovat päätyneet sarjahybriditekniikkaan, Volvo rinnakkais-hybriditekniikkaan. Autot ovat vielä kokeiluvaiheessa, ja kaupalliset toimitukset alkanevat vuosina 2009–2010.

Suomessa Koiviston Auto -yhtymä on kehittänyt kevytrakenteisen hybridibussin. Kabus on rinnakkaishybridi, joissa energiavarastona käytetään akkujen sijaan ns. superkondensaattoreita. Niillä on akkuja parempi tehonluovutuskyky ja kuormasyklien kesto. Tässä tapauksessa hybridijärjestelmä tuottaa parhaimmillaan noin 30 %:n polttoaineen säästön. (Mutanen 2007.)

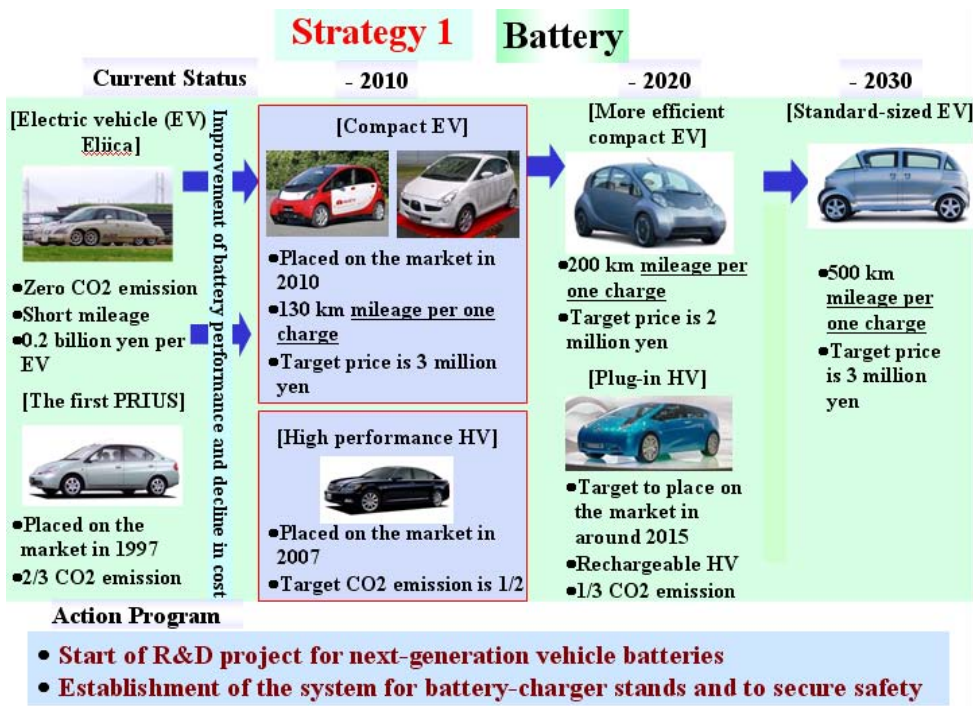
11.4 Akkusähköautot

Geneven autonäyttelyssä maaliskuussa 2009 Mitsubishi, Renault ja Toyota ilmoittivat tuovansa markkinoille akkusähköautoja vuosien 2010–2011 aikana. Merkittävien autonvalmistajien sitoutuminen ja akkutekniikan kehittyminen (litium-ioni-akut) saattavat merkitä uutta tuleamista. Taulukkoon 11.4 on kerätty kompaktien Mitsubishi i MiEV ja Toyota FT EV sähköautojen teknisiä tietoja.

Taulukko 11.4. Mitsubishi i MiEV ja Toyota FT EV sähköautojen teknisiä tietoja (tiedot Geneven autonäyttelystä 2009).

	Mitsubishi i MiEV	Toyota FT EV
Auton pituus (mm)	3 400	3 050
Paikkaluku	4	3 + 1
Sähkömoottori (kW)	47	45
Akun tyyppi	litium-ioni	litium-ioni
Akun kapasiteetti (kWh)	16	11
Huippunopeus	130	110
Toimintamatka	140	80

Kuvassa 11.6 näkyy japanilainen näkemys akkusähköautojen kehityksestä. Taivoitteellinen hintataso vuodelle 2010 on 3 miljoonaa yenä, joka vastaa noin 30 000 euroa ja toimintamatka noin 130 km (vrt. Mitsubishi i MiEV). Vuoteen 2020 mennessä hinnan pitäisi alentua kolmanneksen ja toimintamatkan kasvaa noin 50 % (tavoitearvot 2 miljoonaa yenä ja 200 km).



Kuva 11.6. Japanilainen näkemys akkusähköautojen kehityksestä (Iwai 2008).

Finnish Electric Vehicle Technology (FEVT) on paraikaa rakentamassa kymmenen akkusähköisen Volkswagen Passatin esisarjaa demonstraatiotarkoituksessa. Autoihin tulee sata rautafosfaatti litium-ioni kennoa (3,2 V, 100 Ah), mikä vastaa noin 30 kWh:n kapasiteettia. Akut painavat yhteensä 300 kg, ja tavoiteltu toimintamatka on 160 km. Hinta-arvio vuodelle 2008 on alle 100 000 €, vuodelle 2016 noin 40 000 € (Alatalo 2008.)

11.5 *Plug-in*-hybridit

Plug-in-hybridi tuo helpotusta puhtaasti akkusähköauton kahteen perusongelmaan: rajalliseen toimintamataan ja kalliiseen energiavarastoon. *Plug-in*-hybridissä voidaan käyttää kohtuullisen kokoista energiavarastoa, koska matkaa voidaan sähköä loputtua jatkaa polttomoottorin turvin. Energiavarasto mitoitetaan niin, että sähköllä voidaan ajaa 20–50 km. Tämä riittää useimmissa tapauksissa kattamaan merkittävän osan päivittäisestä ajosta, varsinkin Suomessa, jossa lataus voisi tapahtua niin yöllä kotona kuin päivän aikana työpaikalla (lohko-

lämmittintolpat). Taulukossa 11.3 on IEA:n arvioita siitä, miten suuri osaa päivittäisestä ajomatkasta voidaan kattaa sähköllä erisuuruisilla akkupaketeilla. Nämä arviot perustunevat yhteen latauskertaan päivässä.

Siinä missä akkusähköauto ainakin alkuvaiheessa on ensisijaisesti kaupunki- ja kakkosauto, *plug-in*-hybridi voisi toimia perheen yleisautona. Niinpä lähes kaikki autovalmistajat ovat ilmoittaneet kehittävänsä PHEV-ratkaisuja.

Jo jonkin aikaa harrastelijapiirit ovat rakentaneet *plug-in*-muunnossarjoja Toyota Priuksesta. Tavanomaisen hybridiversion sähköinen toimintamatka on selvästi alle 2 km. Muunnos tapahtuu yksinkertaisesti siten, että akkukapasiteettia kasvatetaan ja sähköjärjestelmään tulee ohjausyksikkö, joka huomioi lisääntyneen akkukapasiteetin. Nytemmin markkinoille on tullut myös kaupallisia muunnossarjoja. Tyypillinen akkukapasiteetti muunnoksen jälkeen on noin 4 kWh, jolla sähköiseksi toimintamatkaksi saadaan 15 km.

Toyota esitteli Detroitissa tammikuussa 2009 ja Genevessä maaliskuussa 2009 uuden, kolmannen sukupolven Priuksen, joka tulee markkinoille vuosimallina 2010. Toyota itse ei virallisesti kerro *plug-in*-versiostaan mitään, mutta useiden lähteiden mukaan uudesta Priuksesta on tulossa myös PHEV-versio.

Kiinalainen BYD-autonvalmistaja esitteli PHEV-autonsa jo vuoden 2008 autonäyttelyissä. Tuotantoversio oli esillä Detroitin näyttelyssä tammikuussa 2009. Voimansiirtoratkaisu muistuttaa Priuksessa käytettyä sekajärjestelmää. Akkukapasiteetti on varsin iso, 20 kWh, ja ilmoitettu toimintamatka sähköllä on 100 km. Sarjatuotanto alkoi joulukuussa 2008. Auton ilmoitettu hinta on vain 150 000 jeniä tai 22 000 USD, jolloin hintaero perusautoon ilman hybridijärjestelmää on 6 000 USD. BYD käyttää omia rautafosfaatti-litium-ioni-akkujaan. Syklikestoksi ilmoitetaan 2 000 sykliä ja kalenterikestoksi kymmenen vuotta. BYD-yhtymä on maailman suurimpia erikoisakkujen valmistajia, ja sillä on 65 %:n markkinaosuus NiCd-akuissa ja 30 %:n markkinaosuus matkapuhelimien litium-ioni-akuissa. (Green Car Congress 2008, 2009.)

BYD:n ilmoittamat hinnat PHEV-tekniikalle ovat todella alhaiset, ja niihin kannattaa suhtautua tietyllä varauksella. Hinnat poikkeavat oleellisesti niin IEA:n, Japanin NEDO:n kuin FEVT:n arvioista. Kiinalaiset autoja koskevat turvallisuus-, päästö- ym. vaatimukset saattavat poiketa merkittävästi eurooppalaisista vaatimuksista.

GM:llä on lähes tuotantovalmis *plug-in*-auto, joka Yhdysvalloissa tunnetaan nimellä Chevrolet Volt ja Euroopassa nimellä Opel Ampera. Markkinoille auton pitäisi tulla vuonna 2011. GM on käyttänyt Amperassa/Voltissa toisenlaista lähestymistapaa kuin Toyota ja BYD. Ajo tapahtuu aina sähkömoottorin voimin,

11. Sähköön tukeutuvat voimalinjaratkaisut

ja polttomoottori lataa akkuja tarvittaessa. Kyse on siis sarjahybridistä, jota voisi kutsua myös EREV-tyyppiseksi autoksi. 16 kWh:n litium-akusto on sijoitettu T:n muotoon autoin runkorakenteisiin. Sähkömoottorin teho on 111 kW ja generaattoria käyttävän polttomoottorin iskutilavuus 1,4 l. Toimintamatka pelkällä sähköllä on 60 km. Auton huippunopeus on 161 km/h, ja se kiihtyy 0–100 km/h yhdeksässä sekunnissa. Bensiinin kulutusarvoksi ilmoitetaan 1,6 l/100 km ja CO₂-päästöksi alle 40 g/km. (Opel 2009b.)

11.6 Sähköautojen päästöt

Sähköautojen päästöt muodostuvat sähköntuotannossa. Sähkönkulutusta vastaavat päästöt riippuvat tavasta, jolla sähkö on tuotettu. Kulutetun sähkön määrään vaikuttavat sähkömoottorin tehon lisäksi moottorin, akkujen sekä sähkönsiirtoverkon hyötysuhteet.

Sähköautoille voidaan ilmoitetun akkukapasiteetin ja toimintamatkan perusteella laskea seuraavanlaiset, likimääräiset energiankulutusarvot:

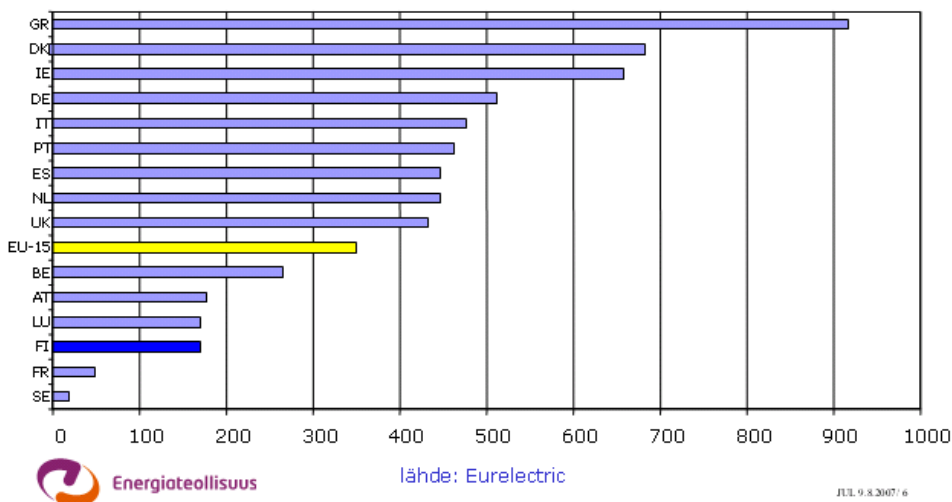
- | | |
|---------------------|--------------|
| • Mitsubishi i-MiEV | 0,11 kWh/km |
| • Toyota FT-EV | 0,14 kWh/km |
| • VW Passat FEVT | 0,19 kWh/km |
| • BYD PHEV | 0,20 kWh/km |
| • Opel Ampera PHEV | 0,27 kWh/km. |

Näistä arvoista voi tehdä seuraavat yleistykset:

- | | |
|----------------------------|--------------|
| • pienet sähköautot | 0,15 kWh/km |
| • keskikokoiset sähköautot | 0,20 kWh/km |
| • keskikokoiset PHEV-autot | 0,25 kWh/km. |

Kuvassa 11.7 on esitetty sähköntuotannon keskimääräiset CO₂-päästöt eri Euroopan maissa. Suomessa keskimääräinen CO₂-päästö oli 170 g/kWh vuonna 2007. Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla vuosina 2003–2007 keskimääräinen CO₂-päästö oli 115 g/kWh (www.energia.fi, luettu 4.12.2008). Sähkönsiirtoverkon keskimääräisen hyötysuhteen voidaan täten katsoa olevan $96 \pm 0,5$ %.

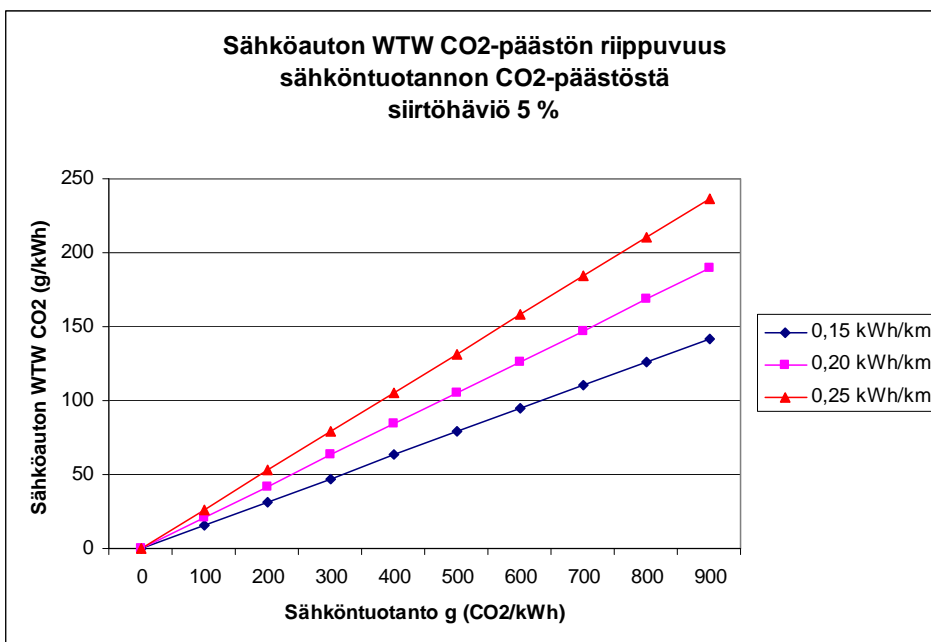
Sähkön tuotannon keskimääräinen CO₂-päästö eri EU-maissa, g/kWh



Kuva 11.7. Sähkön tuotannon keskimääräinen CO₂-päästö eri EU-maissa (Leskelä 2007).

Kuvaan 11.8 on laskettu sähköauton elinkaaren aikaiset CO₂-päästöt sähkön tuotannon CO₂-päästön funktiona. Verkkohäviöiksi on oletettu em. 5 %. Suomalaisella sähkön tuotannon rakenteella sähköauton CO₂-päästökseen tulee 27–45 g CO₂/km; Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden arvoilla 18–30 g CO₂/km. Hiililauhteella (850 g/kWh) päästöt olisivat 134–224 g, joten väite siitä, että sähköauto on aina ylivoimainen CO₂-päästöjen osalta polttomoottoriautoon nähden, ei pidä paikkaansa.

11. Sähköön tukeutuvat voimalinjaratkaisut



Kuva 11.8. Sähköauton elinkaarenaikaiset CO₂-päästöt sähköntuotannon CO₂-päästön funktiona.

Kuvassa 11.9 näkyy sähköauton ja hyvälaatuista biopolttoainetta käyttävän dieselauton CO₂-päästövertailu. Tapaus on laskettu olettamalla EU Mixin CO₂-arvoksi 405 g/kWh ja Nord Poolin CO₂-arvoksi 100 g/kWh. Esimerkistä nähdään, että parhaimmilla biopolttoaineilla päästään sähköautoja vastaavaan CO₂-päästötasoon.

VAIHTOEHTOISET KEHITYSPOLUT

• Sähkö

- useita primäärienergian lähteitä
- tarvitaan uusia ajoneuvoja
- sähköautoille ei voi asettaa käyttövelvoitteita, tarvitaan kannustimia
- auton energian kulutus 0.15 kWh/km
- tarvittava sähkön syöttö 0.16 kWh/km
- elinkaaren CO₂ päästöt
 - 65 g/km (EU keskiarvo)
 - 16 g/km (Nord Pool)



• Biopolttoaineet

- parhaimmat biopolttoaineet sopivat nykyisiin ja tuleviin autoihin
 - voidaan asettaa käyttövelvoitteita
 - vaatii mittavia investointeja polttoaineiden tuotantoon
 - raaka-aineen riittävyys?
 - VW Polo BlueMotion 96 g/km (pakoputken päästä dieselillä)
 - elinkaaren CO₂ päästöt
 - diesel 115 g/km (pakoputki * 1.2)
 - parhaat biopolttoaineet 12 g/km
- (BTL-diesel jätetuusta -95 % vähemmän elinkaaren kasvihuonekaasupäästöihin, BTL-diesel viljellystä puusta -93 % RES-direktiivin mukaan)

Kuva 11.9. Sähköauton ja hyvää biopolttoainetta käyttävän dieselauton CO₂-päästövertailu. Huom.: uusi Volkswagen Polo on selvästi Mitsubishi iMiEV:ää suurempi ja suorituskykyisempi auto. (Nylund 2009.)

11.7 Polttokennoautot

Tulevaisuuden hybridautoissa sähkö saatetaan tuottaa polttomoottori-generaattori-yhdistelmän sijasta polttokennolla. Teknisessä mielessä polttokennoautot ovat sarjahybridautoja tai EREV-autoja (ks. kuva 11.2).

Polttokennossa vety yhtyy happeen ja synnyttää sähkövirtaa. Polttokenno on sähkökemiallinen muunnin, joka mahdollistaa sähköenergian tuottamisen vetykaasusta ja ilmasta (hapestasta). Koska vetypolttoaineessa ei ole hiiltä, reaktiotuotteena syntyy vain puhdasta vettä eikä lainkaan hiilidioksidia. Autokäyttöön tarkoitetut polymeerielektrodityyppiset eli PEM-polttokennot toimivat myös niin alhaisessa lämpötilassa, että typen oksideja ei muodostu. Polttokennovoimalaitteen hyötysuhde on hyvä etenkin pienillä kuormitusasteilla, jotka ovat tyypillisiä kaupunkien ja taajamaliikenteessä. Energian käytön kokonaishyötysuhde riippuu kuitenkin ratkaisevasti siitä tuotantotavasta, jolla vety valmistetaan. (Laurikko 2005.)

Toimintaperiaatteeltaan itse polttokenno (*stack*) on varsin yksinkertainen, eikä siinä ole liikkuvia osia. Voimalaittekokonaisuuteen kuuluu kuitenkin joukko apulaitteita, muun muassa polttoaineen ja ilman syöttölaitteet, jäähdytysjärjestelmä, kostutusjärjestelmä, erilaiset lämmönvaihtimet sekä käynnistysjärjestelmä.

11. Sähköön tukeutuvat voimalinjaratkaisut

Apulaitteiden osuus laitteiston kokonaishinnasta on tyypillisesti 50–70 %. PEM-tyyppisen polttokennovoimalaitteen kokonaishyötysuhde on parhaimmillaan noin 50 %.

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

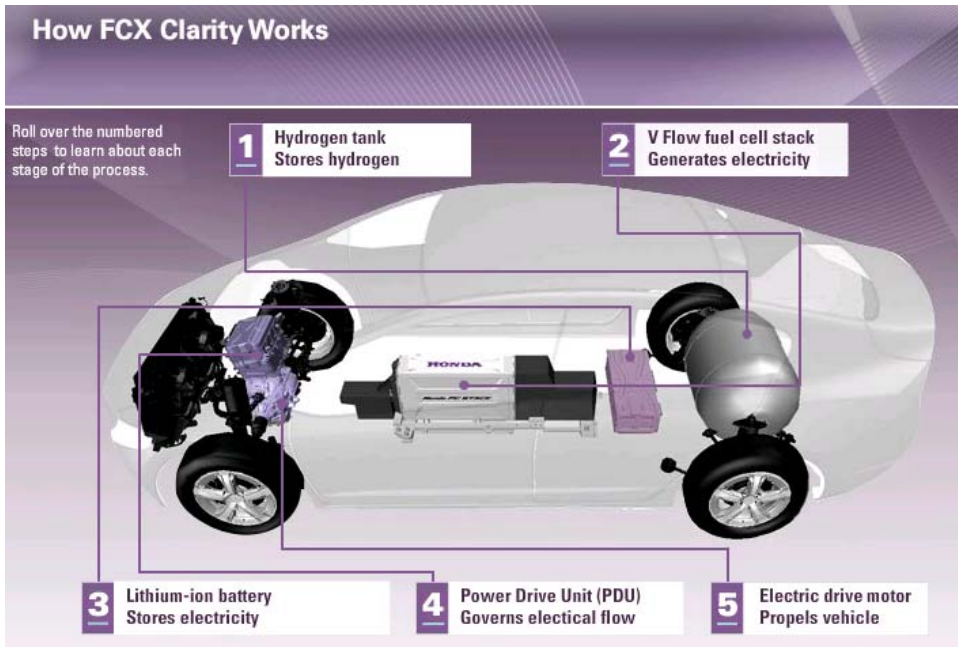
Vedyllä toimivien polttokennojen suurimpia etuja ovat nollapäästötaaso ja etenkin bensiinimoottoreita parempi hyötysuhde osakuormilla. Suurimmat ongelmat liittyvät tällä hetkellä hintaan ja kestävyteen (US DOE 2006). Nykyiset polttomoottorit maksavat alle 50 €/kW, kun taas prototyyppivaiheessa olevien polttokennovoimalaitteiden hinta on yli 10 000 €/kW. Transienttiolosuhteissa kuten autokäytössä kestoikä on tällä hetkellä enimmillään 2 000 tuntia. Stationäärikohteissa on jo päästy 20 000 tunnin kestoikään.

Sekä pitempi kestoikä (syklisyys pienenee) että pienempi polttokennon teho ja sitä kautta pienemmät kustannukset puoltavat polttokennoautojen hybridisointia. Aikaisemmin kehitettiin myös polttokennoautoja, joissa ei ollut energiavarastoa. Esimerkki tällaisesta autosta on EU CUTE -projektissa demonstroitu Mercedes-Benz Citaro -polttokennobussi (CUTE 2004).

Useat autonvalmistajat ovat mukana kehittämässä polttokennoautoja. Henkilöautopuolelta mainittakoon Daimler, Ford, GM, Honda ja Toyota. GM uskoo aloittavansa polttokennoautojen myynnin 4–9 vuoden kuluessa. Honda esitteli syksyllä 2006 uuden polttokennoauton, FCX Clarityn. Auton rakenne on esitetty kuvassa 11.10. Auton hinta on noin miljoona USD (Iwai 2008). Honda aloitti näiden polttokennoautojen leasingtoiminnan pienessä mittakaavassa valikoiduille asiakkaille vuonna 2008 Japanissa ja Etelä-Kaliforniassa. Leasinghinta on 600 USD/kuukausi. Näillä autoilla Honda hakee paitsi käyttökokemuksia myös julkisuutta, sillä autojen käyttäjiksi on etsitty ns. mediapersoonia, joiden myötä vetypolttokennoautot pääsevät helposti julkisuuteen.

Polttokennot ovat herättäneet mielenkiintoa myös raskaiden ajoneuvojen valmistajissa. Polttokennoautoja ovat kehittäneet muun muassa EvoBus, Hino, Irisbus, MAN, Neoplan, New Flyer, Nova Bus, ja Van Hool.

Polttokennoautojen mahdolliseen läpimurtoon kulunee vähintään kymmenen vuotta, joten polttokennoautot, kuten myös vetykäyttöiset polttomoottoriautot, on jätetty verotuksen tarkastelun ulkopuolelle.



Kuva 11.10. Honda Clarity FCX -polttoakunauton rakenne (Honda 2009b).

Säädösluettelo

Polttoaineiden ja ajoneuvojen verotus

Energiaverodirektiivi, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/96/EY, annettu 27 päivänä lokakuuta 2003, energiatuotteiden ja sähkön verotusta koskevan yhteisön kehyksen uudistamisesta, EUVL L 283, 31.10.2003, s. 51–70, 32003L0096

29.12.1994/1482 Autoverolaki

5/2009 Laki autoverolain muuttamisesta

1472/1994 Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta

1159/1998 Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta

394/2004 Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta

1305/2007 Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta

Uusiutuvan energian edistäminen

Biopolttoainedirektiivi, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/30/EY, annettu 8. päivänä toukokuuta 2003, liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä, EUVL L 123, 17.5.2003, s. 42–46, 32003L0030

RES-direktiivi, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY, annettu 23. päivänä huhtikuuta 2009, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian

käytön edistämisestä sekä direktiivien 2001/77/EY ja 2003/30/EY muuttamisesta ja myöhemmästä kumoamisesta. EUVL L140, 5.6.2009, s. 16–62.

446/2007 (14.3.2007) Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä

1056/2009 (11.12.2009) Laki biopolttoaineiden edistämisestä liikenteessä annetun lain 5 §:n muuttamisesta

Energiatehokkuus

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/17/EY, annettu 31. päivänä maaliskuuta 2004, vesi- ja energiahuollon sekä liikenteen ja postipalvelujen alalla toimivien yksiköiden hankintamenettelyjen yhteensovittamisesta, EUVL L 134, 30.4.2004, s. 1–113, 32004L0017

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/18/EY, annettu 31. päivänä maaliskuuta 2004, julkisia rakennusurakoita sekä julkisia tavara- ja palveluhankintoja koskevien sopimusten tekomenettelyjen yhteensovittamisesta, EUVL L 134, 30.4.2004, s. 114–240, 32004L0018

COM(2007) 817, 2009/33/EY 2005/0283 (COD)

DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the promotion of clean and energy-efficient road transport vehicles

Polttoaineiden laatu

Polttoaineiden laatudirektiivi, sivun 29 alaviite 2. EUVL L140, 5.6.2009, s. 88–113. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 98/70/EY, annettu 13. päivänä lokakuuta 1998, bensiinin ja dieselpolttoaineiden laadusta ja neuvoston direktiivin 93/12/ETY muuttamisesta, EYVL L 350, 28.12.1998, s. 58–68, 31998L0070

Polttoaineiden laatudirektiivin täydennysdirektiivi, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/17/EY, annettu 3. päivänä maaliskuuta 2003, bensiinin ja dieselpolttoaineiden laadusta annetun direktiivin 98/70/EY muuttamisesta, EUVL L 76, 22.3.2003, s. 10–19, 32003L0017

Neuvoston direktiivi 1999/32/EY, annettu 26. päivänä huhtikuuta 1999, tiettyjen nestemäisten polttoaineiden rikkipitoisuuden vähentämisestä ja direktiivin 93/12/ETY muuttamisesta, EYVL L 121, 11.5.1999, s. 13–18, 31999L0032

1271/2000 Asetus polttoainedirektiivin käytäntöön panosta

RTFO, SI 2007/3072 The Renewable Transport Fuel Obligations Order 2007, UK

Ajoneuvojen päästöt

70/220/ETY henkilö- ja pakettiautojen päästörajoitukset

Neuvoston direktiivi 70/220/ETY, annettu 20. päivänä maaliskuuta 1970, moottoriajoneuvojen ottomoottoreiden kaasujen aiheuttaman ilman pilaantumisen estämiseksi toteutettavia toimenpiteitä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä

EYVL L 76, 6.4.1970, s. 1–22 (DE, FR, IT, NL)

31970L0220,

voimassaolo päättyy 01/01/2013; Kumoaaja 32007R0715

715/2007/EY korvaa 70/220/ETY:n, muutos direktiiviin 2005/55/EY

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 715/2007, annettu 20. päivänä kesäkuuta 2007, moottoriajoneuvojen tyyppihyväksynnästä kevyiden henkilö- ja hyötyajoneuvojen päästöjen (Euro 5 ja Euro 6) osalta ja ajoneuvojen korjaamiseen ja huoltamiseen tarvittavien tietojen saatavuudesta (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti)

EUVL L 171, 29.6.2007, s. 1–16

32007R0715

692/2008 täydentävä asetus direktiiviin 715/2007/EY

Komission asetus (EY) N:o 692/2008 annettu. 18. päivänä heinäkuuta 2008 moottoriajoneuvojen tyyppihyväksynnästä kevyiden henkilö- ja hyötyajoneuvojen päästöjen (Euro 5 ja Euro 6) osalta ja ajoneuvojen korjaamiseen ja huoltamiseen tarvittavien tietojen saatavuudesta annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 715/2007 täytäntöönpanosta ja muuttamisesta (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti)

EUVL L 199, 28.7.2008, s. 1–136

32008R0692

voimaantulon 31/07/2008; voimaantulo julk. pvm
voimaantulon 01/09/2011; osittainen täytäntöönpano
voimaantulon 01/01/2014; osittainen täytäntöönpano

80/1268/ETY henkilö- ja pakettiautojen polttoaineenkulutuksen mittaus

Neuvoston direktiivi 80/1268/ETY, annettu 16 päivänä joulukuuta 1980, moottoriajoneuvojen polttoaineen kulutusta koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä

EYVL L 375, 31.12.1980, s. 36–45

31980L1268,

voimassaolo päättyy 01/01/2013; kumoaja 32007R0715

2004/3/EY viimeisin muutos direktiiviin 80/1268/ETY

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/3/EY, annettu 11. päivänä helmikuuta 2004, neuvoston direktiivien 70/156/ETY ja 80/1268/ETY muuttamisesta N1-luokan ajoneuvojen hiilidioksidipäästöjen ja polttoaineen kulutuksen mittaamisen osalta (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti)

EUVL L 49, 19.2.2004, s. 36–41

32004L0003

voimassaolo päättyy 01/01/2013; kumoaja 32007R0715

88/77/ETY raskaiden ajoneuvojen päästöjä rajoittava perusedirektiivi

Neuvoston direktiivi 88/77/ETY, annettu 3. päivänä joulukuuta 1987, ajoneuvojen dieselmootoreiden ilman pilaantumista aiheuttavien kaasupäästöjen vähentämistä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä

EYVL L 36, 9.2.1988, s. 33–61

31988L0077

voimassaolo päättyy 08/11/2005; kumoaja 32005L0055

2005/55/EY

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2005/55/EY, annettu 28. päivänä syyskuuta 2005, ajoneuvojen puristussytytysmoot-

toreiden kaasumaisten ja hiukkasmaisten päästöjen sekä ajoneuvoissa käytettävien maa- tai nestekaasulla toimivien ottomoottoreiden kaasupäästöjen torjumiseksi toteutettavia toimenpiteitä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti)

EUVL L 275, 20.10.2005, s. 1–163
32005L0055

1999/96/EY EuroV, viimeinen muutos direktiiviin 88/77/ETY

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 1999/96/EY, annettu 13. päivänä joulukuuta 1999, ajoneuvojen puristussytytysmoottoreiden kaasumaisten ja hiukkasmaisten päästöjen sekä ajoneuvoissa käytettävien maa- tai nestekaasulla toimivien ottomoottoreiden kaasupäästöjen torjumiseksi toteutettavista toimenpiteistä annetun jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä ja neuvoston direktiivin 88/77/ETY muuttamisesta

EYVL L 44, 16.2.2000, s. 1–155
31999L0096
voimassaolo päättyy 08/11/2005; kumoaja 32005L0055

COM(2007)0856 – C6-0022/2008 – 2007/0297(COD)

Ehdotus: Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus päästönormien asettamisesta uusille henkilöautoille osana yhteisön kokonaisvaltaista lähestymistapaa kevyiden hyötyajoneuvojen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi, 17.12.2008

Ympäristön tila

96/62/EY kaupunki-ilmanlaadun raja-arvot

Neuvoston direktiivi 96/62/EY, annettu 27. päivänä syyskuuta 1996, ilmanlaadun arvioinnista ja hallinnasta

EYVL L 296, 21.11.1996, s. 55–63
31996L0062
voimassaolo päättyy 10/06/2010; kumoaja 32008L0050

1999/30/EY kaupunki-ilmanlaadun raja-arvot

Neuvoston direktiivi 1999/30/EY, annettu 22. päivänä huhtikuuta 1999, ilmassa olevien rikkidioksidin, typpidioksidin ja typen oksidien, hiukkasten ja lyijyn pitoisuuksien raja-arvoista

EYVL L 163, 29.6.1999, s. 41–60
31999L0030

2000/69/EY kaupunki-ilmanlaadun raja-arvot

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/69/EY, annettu 16. päivänä marraskuuta 2000, ilmassa olevan bentseenin ja hiilimonoksidin raja-arvoista

EYVL L 313, 13.12.2000, s. 12–21
32000L0069
voimassaolo päättyy 10/06/2010; kumoaja 32008L0050

2002/3/EY kaupunki-ilmanlaadun raja-arvot

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2002/3/EY, annettu 12. päivänä helmikuuta 2002, ilman otsonista

EYVL L 67, 9.3.2002, s. 14–30
32002L0003
voimassaolo päättyy 10/06/2010; kumoaja 32008L0050

97/101/EY kaupunki-ilmanlaadun raja-arvot

97/101/EY: Neuvoston päätös, tehty 27. päivänä tammikuuta 1997, ilman epäpuhtauksia mittaavien jäsenvaltioiden mittausasemaverkostojen ja yksittäisten mittausasemien tietojenvaihtojärjestelmän käyttöönottamisesta

EYVL L 35, 5.2.1997, s. 14–22
31997D0101
voimassaolo päättyy 00/00/0000; kumoaja 32008L0050

Lähdeviitteet

Aakko P., Westerholm, M., Nylund, N.-O., Moisio, M., Marjamäki, M., Mäkelä, T., Hillamo, R. (2000). IEA/AMF Annex XIII: Emission performance of selected Biodiesel fuels – VTT's contribution. ENE5/33/2000.

Aakko, P., Jäntti, A., Pentikäinen, J., Honkanen, T. & Rantanen, L.. (2002). An extensive analysis of the exhaust emissions from spark-ignition vehicles using fuels with biocomponents. Fisita World Congress 2002. Paper F02E027.

Aakko, P. & Nylund, N.-O. (2003a). IEA/AMF Annex XXII: Particle emissions at moderate and cold temperatures using different fuels. PRO3/5057/03. October 2003.

Aakko, P. & Nylund, N.-O. (2003b). Technical view on biofuels for Transportation – focus on Ethanol end-use aspects. VTT Processes. PRO3/5100/03.

Aatola, H., Sarjoavaara T. Larmi M., Mikkonen S. (2008). Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NOx, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine. SAE 2008-01-2500.

ACEA 2008. WWFC – draft Ethanol Guideline. Automobile and Engine Manufacturers. http://www.acea.be/images/uploads/files/20080717_Proposed_WWFC_E100_Guideline_final_draft_June_2008.pdf.

ADAC. (2009). VW Passat EcoFuel 1.4 TSI. ADAC EcoTest. Das erste Fünf-Sterne-Auto. <http://www.adac.de/Tests/Autotest/ECOTEST/default.asp?ComponentID=185779&SourcePageID=70159>.

Alatalo, M. (2008). Akut ja liikenne. Tekes-seminaari "Liikenne, yhdyskunta ja ilmastonmuutos". Helsinki, joulukuu 10, 2008.

AMFI. (2007). AMFI Newsletter July 2007, issue no. 3/2007. http://www.iea-amf.vtt.fi/news/amfinewsletter2007_3july.pdf.

ASFE (2007). ASFE Position Paper: Emissions from Synthetic Fuels, January 2007 <http://www.synthetic-fuels.org>.

- BIOFRAC. (2006). A vision for 2030 and beyond. Biofuels in the European Union. Final report of the Biofuels Research Advisory Council, EUR 22066. http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/biofuels_vision_2030_en.pdf.
- BioEthanol Fuel. (2007). The efficient solution for both global and local emissions. Ethanol Bus Buyer's Consortium. <http://www.miljobilar.stockholm.se/upload/3687/Slideshow%20on%20ethanol%20buses%202007.pdf>.
- 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).
- Blades, T. (2008). BTL- Next generation biofuel- Today! IEA Bioenergy Task 39 Meeting, Rotterdam, 10.01.2008.
- BMW. (2007). BMW CleanEnergy. http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/cleanenergy/phase_2/cleanenergy.html.
- Bucksch, S. & Egebäck, K-E. (1999). The Swedish program for investigations concerning biofuels. The Science of the Total Environment, Vol. 235, Issues 1–3, 1 September 1999, pp. 293–303.
- Bünger, J. Krahl J., Munack A., Ruschel Y., Schröder O., Emmert B., Westphal G., Müller M., Hallier E. & Brüning T. (2007). Strong mutagenic effects of diesel engine emissions using vegetable oil as fuel. Archives of Toxicology. Vol. 81, No. 8, pp. 599–603.
- Chandler, K. & Walkowicz, K. (2006). King County Metro Transit Hybrid Articulated Buses: Interim Evaluation Results. Technical Report NREL/TP-540-39742. April 2006. <http://www.eere.energy.gov/afdc/pdfs/39742.pdf>.
- Cramer commission. 2006: Criteria for sustainable biomass production; project group "Sustainable Production of Biomass"; Energy Transition Task Force, 2006.
- Cramer commission. 2007: Testing framework for sustainable biomass; project group "Sustainable Production of Biomass"; Energy Transition Task Force, 2007.
- CRFA (Canadian Renewable Fuels Association). <http://www.greenfuels.org>.
- CUTE. (2004). Clean Urban Transport for Europe. A Fuel cell Bus Project in 9 European Cities. Hydrogen Supply Infrastructure and Fuel Cell Bus Technology. http://www.fuel-cell-bus-club.com/modules/UpDownload/store_folder/Publications/CUTE_Technology_Brochure.pdf.

- DieselNet. (2009). Emission Standards. European Union. <http://www.dieselnet.com/standards/eu/>.
- Dupont. (2006). Biobutanol news. http://www2.dupont.com/Biofuels/en_US/news/index.html.
- Durbin, T. Miller J. W., Younglove T., Huai T. & Cocker K.(2006). Effects of Ethanol and Volatility Parameters on Exhaust Emissions. CRC Project No. E-67.
- Eduskunta (2008). Kirjallinen kysymys 478/2008 vp, Timo Heinonen, 4.6.2008. http://www.eduskunta.fi/faktatmp/utatmp/akxtmp/kk_478_2008_p.shtml.
- EERE. (2008). Flexible Fuel Vehicles: Providing a Renewable Fuel Choice. Alternative Fuels & Advanced Vehicles Data Center. U.S. Department of Energy. The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy's (EERE). <http://www.afdc.energy.gov/afdc/pdfs/42953.pdf>.
- EERE. (2009). Alternative Fuels & Advanced Vehicles Data Center. U.S. Department of Energy. The Office of Energy Efficiency and Renewable Energy's (EERE). http://www.afdc.energy.gov/afdc/vehicles/emissions_e10.html.
- Environment Australia. A Literature Review Based Assessment on the Impacts of a 20 % Ethanol Gasoline Fuel Blend on the Australian Vehicle Fleet. November 2002. <http://www.deh.gov.au/atmosphere/ethanol/report/chapter3.html>.
- Environment Australia. (2002). "Setting the Ethanol Limit in Petrol, An Issues Paper, prepared by Environment Australia 2002" and "Comment on Setting the Ethanol Limit in Petrol, Australian Biofuels Association 2002". <http://www.deh.gov.au/atmosphere/transport/fuel/ethanol.html>.
- EPA (2002). Environmental Protection Agency: "A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions," U.S. EPA Draft Technical Report – EPA 420-P-2-001, October 2002.
- ETP (2008). Energy Technology Perspectives 2050. International Energy Agency 2008. http://www.iea.org/Textbase/techno/etp/ETP_2008.pdf
- Gasum (2009). Mitä on maakaasu? http://www.gasum.fi/tietoamaakaasusta/mita_on_maakaasu/Sivut/Etusivu.aspx.
- Goguen, S. (2006). Energy Technology Drivers for Change – U.S.DOE Perspective. Windsor Workshop: Transportation Technologies and Fuels Forum. Toronto, Ontario, Canada, June 5–7, 2006.
- Green Car Congress. (2008). BYD F3DM Plug-in Hybrid Goes On Sale in China. <http://www.greencarcongress.com/2008/12/byd-f3dm-plug-i.html>.

- Green Car Congress. (2009). BYD Shows Production F3DM PHEV and F6DM in Detroit; introduces Battery-Electric Crossover. <http://www.greencarcongress.com/2009/01/byd-shows-produ.html>.
- Honda (2009a). Civic GX. Cleanest of earth. <http://automobiles.honda.com/civic-sedan/civic-gx.aspx>.
- Honda (2009b). FCX Clarity. Zero-emission hydrogen powered fuel cell sedan. <http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/>.
- Hybrids for road transport (2005). Status and prospects of hybrid technology and the regeneration of energy in road vehicles. Technical Report EUR 21743 EN. <http://www.univ-poitiers.fr/recherche/documents/pcrdt7/hybrid.pdf>.
- 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.
- IEA AMF Annex XXV: Fuel Effects on Emissions from Non-Road Engines, Background Material Provided by Fortum Oil & Gas Oy. http://virtual.vtt.fi/virtual/amf/annex/annex_xxv/smallgas.html.
- IEA HEV. (2009). Outlook for hybrid and electric vehicles. IEA Implementing Agreement on Hybrid and Electric Vehicles. March 2009. <http://www.ieahev.org/>.
- Iwai, N. (2008). Japanese Energy Strategy on Automobiles. New Energy and Industrial Technology Development Organization NEDO. Presentation to the IEA Alternative Motor Fuels Executive Committee. Osaka, December 3, 2008.
- Jacobson, M. Z. (2007). Effects of ethanol (E85) versus gasoline vehicles on cancer and mortality in the United States. *Env. Science and Technology*, Feb. 19, 2007. <http://www.stanford.edu/group/efmh/jacobson/E85PaperEST0207.pdf>.
- JRC (2007). Well-to-Wheels analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in The European Context, Tank-to-Wheels report. European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Environmental Sustainability.
- Juva, A. (2007). Poltto- ja voiteluaine- tekniset keinot päästöjen vähentämiseksi. RASTU-seminaari "Liikenteen ympäristöhaasteet – Ilmasto ja ilmanlaatu". Helsinki, 4.12.2007. http://www.motiva.fi/files/969/poltto-ja-voiteluaineet_juva_041207.pdf.
- Korkki, K. (2006). Ympäristöministeriön moniste 167. Esiselvitys: Alkylaattibensiinin ympäristöhöydyt pienmoottorikäytössä. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=46463&lan=FI>.

- Kuronen M., Mikkonen, S., Aakko, P., Murtonen, T. (2007). Hydrotreated vegetable oil as fuel for heavy-duty diesel engines. SAE 2007-01-4031.
- Laguna-Gomez, J. (2008). Draft proposal on Euro VI. Presentation to the Council. Brussels, 14 January 2008. http://ec.europa.eu/enterprise/automotive/pagesbackground/pollutant_emission/presentation_to_council_14_01_2008.pdf.
- Laurikko, J. (2005). Ajoneuvokalusto ja tieliikenteen energianhuolto vuonna 2020: Käytännön toteutusvaihtoehdot Suomessa. Tutkimuselostus PRO3/P3004/05. VTT, Espoo, 1.4.2005.
- Leskelä, J. (2007). Energia- ja ilmastopolitiikan haasteet suomalaisessa energiantuotannossa. Energiateollisuus ry. Turku Energian Energiaseminaari 10.8.2007, Turku. <http://www.turkuenergia.fi/index.php?page=83bfc066c328a5a7324e425695e7319>.
- 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.
- Manitoba. Ethanol Advisory Report. <http://www.gov.mb.ca/stem/energy/report02/environment.html>.
- Muntwyler, U. (2008). The future will be renewable and electric. STV Seminar "Renewable energy in transport. Espoo", December 15, 2008. <http://www.stvif.fi/dms/show/690>.
- Murtonen, T. & Aakko, P. (2009). Emissions and performance of alternative biofuels for compression ignition engines. Alternative fuels with heavy-duty engines and vehicles – VTT's contribution. Julkaistavana 2009.
- Mutanen, T. (2007). Kevytrakennetekniikka ja hybridisointi alentavat polttoaineen kulutusta. RASTU-seminaari "Liikenteen ympäristöhaasteet – Ilmasto ja ilmanlaatu". Helsinki, 4.12.2007. http://www.motiva.fi/files/968/hybridibussi_mutanen_041207.pdf.
- Mäkinen, T., Soimakallio S., Paappanen T., Pahkala K. & Mikkola H. (2006). Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. VTT Tiedotteita 2357. Espoo 2006. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2357.pdf>
- Neste Oil, (<http://www.neste.fi/artikkeli.aspx?path=2589,2655,2710,2821,2944,2708,10164>).
- News.com. (2007). Vegas adds Ford hydrogen buses to fleet. http://www.news.com/8301-10784_3-9758914-7.html.

- Nylund, N.-O. (1995). On the development of a low-emission propane engine for heavy-duty urban vehicle applications. Espoo: Technical Research Centre of Finland, 1995. VTT Publications 260.
- Nylund, N.-O., Erkkilä, K., Lappi, M. & Ikonen, M. (2004). Transient Bus Emission Study: Comparison of Emissions from Diesel and natural Gas Buses. Research Report PRO3/P5150/04. VTT Processes, Espoo, October 2004. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/jurelinkit/VTTNylund.pdf>.
- Nylund, N.-O., Aakko P., Niemi S., Paanu T. & Berg R. (2005). Alcohols/ethers as oxygenates in diesel fuel: Properties of blended fuels and evaluation of practical experiences. IEA Advanced Motor Fuels. Annex XXVI Final Report. Report TEC 3/2005. 15 June 2005. http://virtual.vtt.fi/virtual/amf/pdf/annex26report_final.pdf.
- Nylund, N.-O. (2006). Jälkiasennettavat pakokaasujen puhdistuslaitteet. Suorituskyky ja kustannukset. YTV:n julkaisusarja B 2006:5. http://www.ytv.fi/NR/rdonlyres/AEED1695-C64C-4131-AAA6-3BD2C445D1EF/0/Retrofit_YTV_rap_lopullinen.pdf
- Nylund, N.-O. & Mäkelä, K. (2007). Esiselvitys ympäristövyöhykkeen soveltuvuudesta Helsinkiin. 6.11.2007. Helsingin kaupungin ympäristökeskukselle tehty selvitys. TEC TransEnergy Consulting Oy. TEC 03/2007.
- Nylund, N.-O., Aakko-Saksa, P. & Sipilä, K. (2008). Status and outlook for biofuels, other alternative fuels and new vehicles. VTT Research Notes 2426 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2426.pdf>.
- Nylund, N.-O. & Erkkilä, K. (2009). OPTIBIO: Uusiutuvan dieselpolttoaineen demonstraatio pääkaupunkiseudun bussikalustossa. Moottoritekniikan seminaari 15.4.2009. Teknologiaeollisuus, Dieselmoottori- ja kaasuturbiinitekniikan toimialaryhmä.
- Nylund, N.-O. (2009). Outlook for passenger cars: Fuel efficiency and renewable energy. Workshop on transport – renewable energy in the transport sector and planning. Technical University of Denmark, Lyngby, 17–18 March 2009.
- Nylund N.-O. (2009). Optimized usage of NExBTL renewable diesel fuel - OPTIBIO. Tekes Review; BioRefine Programme 2007-2012, Yearbook 2009 (2009) No: 264 , 257-262.
- 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.
- Opel. (2009a). Zafira. Produktinformation. <http://www.opel.de/shop/cars/zafiraneu/product/engine/content.act>

- Opel. (2009b). Discover Opel Ampera. Geneven autonäyttelyssä maaliskuussa 2009 jaettu esite.
- Pentikäinen, J. & Aakko, P. (2003). The environmental effects of replacing ethers by gasoline components, final report. 2003. ProMotor program. (report Y11/03-2).
- Rantanen, L., Linnaila R., Aakko P. & Harju T. (2005). NExBTL – Biodiesel fuel of the second generation. SAE 2005-01-3771.
- Rehnlund, B., Egebäck K.-E., Rydén C. & Ahlvik P. (2007). BIOScopes – Heavy-duty ethanol engines. Biodiesel Improvement on Standards, Coordination of Producers and Ethanol Studies, EC project TREN/D2/44-LOT 2/S07.54739.
- Riikonen, A. (2006). The possibility to transport biogas in natural gas pipelines. Nordic Biogas Conference 8–10 February 2006, Helsinki.
- Röj, A. (2008). An Automotive Industry View on Alternative Fuels and BIOFRAC 2030 Vision. STV Seminar “Renewable energy in transport. Espoo”, December 15, 2008. <http://www.stvif.fi/dms/show/690>.
- Sasol. (2007). Sasol facts 2007. Technology and production. http://sasol.investoreports.com/sasol_sf_2007/html/sasol_sf_2007_11.php.
- Scania. (2007). Scania bus and coach engines. http://www.scania.com/Images/P07510EN%20Bus%20and%20coach%20engines%20May%202007_tcm10-163560.pdf.
- SEKAB. Etamax D bioethanol fuel for converted diesel engines. <http://www.sekab.com/Sve2/Informationssidor/Produktblad/Produktdatablad%20EtamaxD.pdf>.
- 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.
- Soimakallio, S., Mäkinen, T., Paappanen, T., Ekholm, T., Pahkala, K. & Mikkola, H. (2007). Greenhouse gas balances for biomass-based transportation fuels and agrobiomass in Finland. Proceedings of the 15th European Biomass Conference & Exhibition from Research to Market Deployment. Berlin, Germany, 7–11 May 2007.
- Soimakallio, S., Antikainen, R. & Thun, R. (2009). Assessing the sustainability of liquid biofuels from evolving technologies. A Finnish approach. Espoo, VTT. VTT Research Notes 2482. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2482.pdf>.
- Steiger, W. (2008). Future transport fuels. ERTRAC’s TRA and Volkswagen conclusions. Transport Fuels: Crucial factor and driver towards sustainable mobility. A3PS/BMVIT, Vienna, May 28, 2008.

- St1. (2009). St1:n Refuel-korkeaseosetanoli RE85 markkinoille. <http://www.st1.fi/index.php?id=2817>.
- Tekniikka & talous. (2009). Akku kutistaa isot polttomoottorit. Tekniikka & Talous 3.4.2009.
- Toyota. (2003). Toyota Hybrid System THS II. http://www.toyota.co.jp/en/tech/environment/ths2/SpecialReports_12.pdf#search=%22toyota%20hybrid%20THS%20system%202003%22.
- Toyota. (2007). Toyota Worldwide Hybrid Sales Top 1 Million Units. <http://www.toyota.co.jp/en/news/07/0607.html>.
- Umweltbundesamt, 2008: Criteria for a Sustainable Use of Bioenergy on a Global Scale. Texte 30/08, ISSN 1862-4804. Environmental Research of the Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Research report 206 41 112, UBA-FB 001176/E
- US 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>.
- VTT. (2009). Raskas ajoneuvokalusto: Turvallisuus, ympäristöominaisuudet ja uusi tekniikka "RASTU". Yhteenvetoraportti 2006–2008. VTT Projektiraportti VTT-R-04084-09.
- Westerholm, R., Ahlvik, P. & Karlsson, H. L. (2008). An exhaust characterisation study based on regulated and unregulated tailpipe and evaporative emissions from bi-fuel and flexi-fuel light-duty passenger cars fuelled by petro (E5), bioethanol (E70, E85) and biogas tested at ambient temperatures of +22°C and -7°C. Final report. March 2008. <http://www.vv.se/filer/52893/Biofuel%20emission%20report%20final%202008-04-10.pdf>.
- Westport Innovations. (2008). Our Technologies. <http://www.westport.com/tech/index.php>.
- Wuebben, P. (2005). Air quality and Alcohol Fuels. Challenges & Opportunities. The XV International Symposia on Alcohol Fuels and Other Renewables (ISAF). San Diego, California. 26–28 September 2005.
- Yanowitz, J. & McCormick, R. (2009). Effect of E85 on Tailpipe Emissions from Light-Duty Vehicles. J. Air & Waste Manage. Assoc. 59:172–182.
- ÖKKL. (2009). Öljy ja maakaasu Suomessa. Öljy- ja kaasualan keskusliitto. http://www.oil-gas.fi/files/342_OljyjamaakaasuSuomessa.pdf.

**Lite A: Eri käyttövoimatyyppisten henkilö-
autojen (luokka M1) kohtelu Suomessa au-
to-, ajoneuvo- ja valmisteverotuksessa sekä
polttoainemaksua koskevassa laissa**

	Autovero	Ajoneuvovero		Polttoaineen valmistevero			Polttoainemaksu
		Perusvero	Käyttövoimavero	Perusvero	Lisävero	Huoltovarmuusmaksu	
Bensiiniauto Hybridi, bensiini	Veroprosentti mää- rättyy CO ₂ -päästön, ja toissijaisesti kokonaisuuden ja käyttövoiman perusteella. 12,2% ≤ veroprosentti ≤ 48,8%.	Vuonna 1994 tai tämän jälkeen käyttöönottettu henkilöauto: 35 snt/pv Ennen vuotta 1994 käyttöönottettu henkilöauto: 26 snt/pv	0,00 snt/pv	Reformuloitu rikitön: 57,24 snt/l Muu laatu: 59,89 snt/l	4,78 snt/l	0,68 snt/l	Ajoneuvosta, jossa käytetään moottori- bensiiniä lievemmin verotettua polttoainetta, suoritetaan valtiolle polttoainemaksua.
Plug-in hybridi, bensiini	kts. bensiiniauto	kts. bensiiniauto	kts. bensiiniauto	Bensiini: kts. bensiiniauto Sähkö: kts. sähköauto	Bensiini: kts. bensiiniauto Sähkö: kts. sähköauto	Bensiini: kts. bensiiniauto Sähkö: kts. sähköauto	Bensiini: kts. bensiiniauto Sähkö: kts. sähköauto
Dieselauto Hybridi, diesel	kts. bensiiniauto	kts. bensiiniauto	Kokonaisuuden jokaiselta alkavalta kilolta 6,7 snt/pv	Rikitön: 30,67 snt/l Muu laatu: 33,32 snt/l	5,38 snt/l	0,35 snt/l	Ajoneuvosta, jossa käytetään dieselöljyä lievemmin verotettua polttoainetta, suoritetaan valtiolle polttoainemak- sua.
Plug-in hybridi, diesel	kts. bensiiniauto	kts. bensiiniauto	Kokonaisuuden jokaiselta alkavalta kilolta 6,7 snt/pv	Diesel: kts. dieselauto Sähkö: kts. sähköauto	Diesel: kts. dieselauto Sähkö: kts. sähköauto	Diesel: kts. dieselauto Sähkö: kts. sähköauto	Diesel: kts. dieselauto Sähkö: kts. sähköauto
Metaaniauto Hybridi, metaani	kts. bensiiniauto	kts. bensiiniauto	kts. bensiiniauto	Vapautettu verosta	Vapautettu verosta	Vapautettu maksusta	Vapautettu maksusta
Plug-in hybridi, metaani	kts. bensiiniauto	kts. bensiiniauto	kts. bensiiniauto	Metaani: vapautettu verosta Sähkö: kts. sähköauto	Metaani: vapautettu verosta Sähkö: kts. sähköauto	Metaani: vapautettu maksusta Sähkö: kts. sähköauto	Vapautettu maksusta
Sähköauto	kts. bensiiniauto (veron suuruus minimi, eli 10 %)	kts. bensiiniauto	kts. dieselauto	Sähkö: 0,00 snt/kWh Lisäksi sähkön- tuotannossa käytetystä polttoaineesta maksetaan valmisteveroa.	Sähkö: 0,87 snt/kWh Lisäksi sähkön- tuotannossa käytetystä polttoaineesta maksetaan valmisteveroa.	Sähkö: 0,013 snt/kWh Lisäksi sähkön- tuotannossa käytetystä polttoaineesta maksetaan valmisteveroa.	Polttoainemaksu ei ole sovellettavissa.
FFV, E85 tai bensiini	kts. bensiiniauto	kts. bensiiniauto	kts. bensiiniauto	E85: kts. bensiiniauto Bensiini: kts. bensiiniauto	E85: kts. bensiiniauto Bensiini: kts. bensiiniauto	E85: kts. bensiiniauto Bensiini: kts. bensiiniauto	kts. bensiiniauto
Bi-fuel, bensiini & metaani	kts. bensiiniauto	kts. bensiiniauto	kts. bensiiniauto	Bensiini: kts. bensiiniauto Metaani: kts. metaaniauto	Bensiini: kts. bensiiniauto Metaani: kts. metaaniauto	Bensiini: kts. bensiiniauto Metaani: kts. metaaniauto	Bensiini: kts. bensiiniauto Metaani: kts. metaaniauto

Liite B: RES- ja polttoainedirektiiveissä annetut kasvihuonekaasupäästöt eri biopolttoaineiden tuotantoketjuille

Oletusarvot ovat johdettu tyypillisistä arvoista.

A. Biopolttoaineiden tyypilliset arvot ja oletusarvot, jos niiden tuotannosta ei aiheudu maankäytön muutoksista johtuvia nettohiilipäästöjä.

Biopolttoaineiden tuotantoketju	Tyypillinen kasvihuonekaasupäästöjen säästö	Kasvihuonekaasupäästöjen oletussäästö
Etanoli sokerijuurikkaasta	61 %	52 %
Etanoli vehnästä (prosessipolttoainetta ei määritetty)	32 %	16 %
Etanoli vehnästä (ruskahiili prosessipolttoaineena sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksessa)	32 %	16 %
Etanoli vehnästä (maakaasu prosessipolttoaineena tavanomaisessa kattilassa)	45 %	34 %
Etanoli vehnästä (maakaasu prosessipolttoaineena sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksessa)	53 %	47 %
Etanoli vehnästä (olki prosessipolttoaineena sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksessa)	69 %	69 %
Etanoli maissista, tuotettu yhteisössä (maakaasu prosessipolttoaineena sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksessa)	56 %	49 %
Etanoli sokeriruo'osta	71 %	71 %
Etyyli-tert-butyylietterin (ETBE) uusiutuvista lähteistä peräisin oleva osuus	Yhtä suuri kuin käytetyssä etanolin tuotantoketjussa	
Tert-amyylietylietterin (TAEE) uusiutuvista lähteistä peräisin oleva osuus	Yhtä suuri kuin käytetyssä etanolin tuotantoketjussa	

osuus		
Biodiesel rapsinsiemenistä	45 %	38 %
Biodiesel auringonkukasta	58 %	51 %
Biodiesel soijapavusta	40 %	31 %
Biodiesel palmuöljystä (prosessia ei määritetty)	36 %	19 %
Biodiesel palmuöljystä (prosessi, jossa metaani otetaan talteen öljynpuristamalla)	62 %	56 %
Biodiesel jätekasvi- tai jäteläinöljystä*	88 %	83 %
Vetykäsitelty kasviöljy rapsinsiemenistä	51 %	47 %
Vetykäsitelty kasviöljy auringonkukasta	65 %	62 %
Vetykäsitelty kasviöljy palmuöljystä (prosessia ei määritetty)	40 %	26 %
Vetykäsitelty kasviöljy palmuöljystä (prosessi, jossa metaani otetaan talteen öljynpuristamalla)	68 %	65 %
Puhdas kasviöljy rapsinsiemenistä	58 %	57 %
Biokaasu orgaanisesta yhdyskuntajätteestä paineistettuna maakaasuna	80 %	73 %
Biokaasu lietalannasta paineistettuna maakaasuna	84 %	81 %
Biokaasu kuivalannasta paineistettuna maakaasuna	86 %	82 %

* Ei sisällä muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden terveys säännöistä 3. päivänä lokakuuta 2002 annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1774/2002¹⁶ mukaisesti luokkaan 3 kuuluvaksi ainekseksi luokitelluista eläimistä saaduista sivutuotteista tuotettua eläinöljyä.

¹⁶ EYVL L 273, 10.10.2002, s. 1.

B. Arvioidut tyypilliset arvot ja oletusarvot tuleville biopolttoaineille, joita ei ollut markkinoilla tai joita oli ainoastaan vähäisiä määriä markkinoilla tammi-kuussa 2008, jos niiden tuotannosta ei aiheudu maankäytön muutoksista johtuvia nettohiilipäästöjä.

Biopolttoaineiden tuotantoketju	Tyypillinen kasviuonekaasupäästöjen säästö	Kasviuonekaasupäästöjen oletussäästö
Etanoli vehnän oljesta	87 %	85 %
Etanoli jätetuusta	80 %	74 %
Etanoli viljellystä puusta	76 %	70 %
Fischer-Tropsch-diesel jätetuusta	95 %	95 %
Fischer-Tropsch-diesel viljellystä puusta	93 %	93 %
Dimetyylieetteri (DME) jätetuusta	95 %	95 %
DME-viljellystä puusta	92 %	92 %
Metanoli jätetuusta	94 %	94 %
Metanoli viljellystä puusta	91 %	91 %
Metyyli-tert-butyylieetterin (MTBE) uusiutuvista lähteistä peräisin oleva osuus	Yhtä suuri kuin käytetyssä metanolin tuotantoketjussa	



Tekijä(t) Nils-Olof Nylund, Kai Sipilä, Tuula Mäkinen & Päivi Aakko-Saksa		
Nimeke Polttoaineiden laatuporttustuksen kehittämisen		
Tiivistelmä <p>Valtiovarainministeriö tilasi syyskuussa 2008 VTT:ltä selvityksen polttoaineverotuksen laatuporttustuksen kehittämismahdollisuuksista päättääkseen, voitaisiinko ympäristöystävällisten polttoaineiden käyttöä edistää esimerkiksi porttustamalla polttoaineiden energiaerot hiilidioksidi- ja muiden päästöjen perusteella. Selvityksessä kartoitettiin erityisesti liikenteen energiatuotteita ja niiden ympäristöhyötyjä, esitettiin yhteisösäännösten asettamia reunaehtoja laatuporttustukselle sekä laskettiin vaihtoehtoisia veromalleja polttoaineiden energiaverojen porttustukselle.</p> <p>Selvityksen mukaan nykyisiä polttoainelaatuja parempia polttoaineita tai vaihtoehtoisia energialähteitä on olemassa sekä hiilidioksidi- että haitallisten päästöjen osalta. Näitä polttoaineita on jo markkinoilla. Nykyisten parempilaatuisten polttoaineiden käyttöä ja uusien markkinoille tuloa voidaan edistää polttoaineverotuksen laatuporttustuksella.</p>		
ISBN 978-951-38-7568-8 (nid.) 978-951-38-7569-5 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Projektinnumero 31510
Julkaisu-aika Maaliskuu 2010	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 203 s. + liitt. 4 s.
Projektin nimi Polttoainelaatu		Toimeksiantaja(t) Valtiovarainministeriö
Avainsanat Transportation fuels, advanced fuels, fuel tax		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374



Author(s) Nils-Olof Nylund, Kai Sipilä, Tuula Mäkinen & Päivi Aakko-Saksa		
Title Developing the quality-based graduation of fuels		
Abstract <p>In autumn 2008 the Finnish Ministry of Finance commissioned a study from VTT Technical Research Centre of Finland on the possibilities of developing a graduated system of fuel taxation based on the quality of the fuel. The purpose was to decide whether it would be possible to promote the use of environmentally friendly fuels by, for example, graduating the energy taxes levied on fuels on the basis of carbon dioxide and other emissions. The study focused particularly on the energy products used in traffic and their environmental benefits. The boundary conditions for quality-based graduation set in entity regulations were presented and alternative tax models for the graduation of the energy taxes levied on fuels were studied.</p> <p>According to the report, fuels or alternative energy sources that are better in terms of carbon dioxide and harmful emissions already exist and are on the market. The use of better quality fuels and the introduction of new fuels of this kind to the market can be promoted by the quality-based graduation of fuel taxation.</p>		
ISBN 978-951-38-7568-8 (nid.) 978-951-38-7569-5 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		
Key title and ISSN VTT Releases – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)		Project number 31510
Publication date March 2010	Language Finnish, eng. abst.	Pages 203 p. + app. 4 p.
Project name Polttoainelaatu		Commissioned by Ministry of Finance
Key words Transportation fuels, advanced fuels, fuel tax		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT Tel. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374

VTT selvitti valtiovarainministeriön tilauksesta polttoaineverotuksen laatuporrastuksen kehittämismahdollisuuksia. Selvityksessä arvioitiin, voitaisiinko ympäristöystävällisten polttoaineiden käyttöä edistää esimerkiksi porrastamalla polttoaineiden energiaverot hiilidioksidi- ja muiden päästöjen perusteella. Selvityksessä kartoitettiin erityisesti liikenteen energiatuotteita ja niiden ympäristöhyötyjä, esitettiin yhteisösäännösten asettamia reunaehtoja laatuporrastukselle sekä laskettiin vaihtoehtoisia veromalleja polttoaineiden energiaverojen porrastukselle.

Selvityksen mukaan nykyisiä polttoainelaatuja parempia polttoaineita tai vaihtoehtoisia energialähteitä on olemassa sekä hiilidioksidi- että haitallisten päästöjen osalta. Näitä polttoaineita on jo markkinoilla. Nykyisten parempilaatuisten polttoaineiden käyttöä ja uusien markkinoille tuloa voidaan edistää polttoaineverotuksen laatuporrastuksella.