

7

.....
2014

Ajoneuvo- ja polttoainetekniikan mahdollisuudet autoliikenteen päästöjen vähentämisessä

2014 päivitys HLJ 2015 työtä varten



Ajoneuvo- ja polttoainetekniikan mahdollisuudet
autoliikenteen päästöjen vähentämisessä
2014 päivitys HLJ 2015 työtä varten

HSL Helsingin seudun liikenne
Opastinsilta 6 A
PL 100, 00077 HSL00520 Helsinki
puhelin (09) 4766 4444
www.hsl.fi

Lisätietoja: Veera Lehto, gsm. 040-753 4331
etunimi.sukunimi@hsl.fi

Copyright: Kartat, graafit, ja muut kuvat, Nils-Olof Nylund
Kansikuva: HSL/Heli Skippari

Helsinki 2014

Esipuhe

Helsingin seudulla on käynnissä Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelman (HLJ 2015) valmistelu. Suunnitelmassa määritellään seudun liikennejärjestelmän kehittämistarpeet sekä tärkeimmät kehittämistoimenpiteet pitkälle tulevaisuuteen.

Voimassa oleva HLJ 2011 suunnitelma, joka on ensimmäinen pääkaupunkiseudun kaikki 14 kuntaa kattava liikennejärjestelmäsuunnitelma, hyväksyttiin keväällä 2011. HLJ 2011 valmistelua varten laadittiin vuonna 2009 selvitys "Ajoneuvo- ja polttoainetekniikan mahdollisuudet autoliikenteen päästöjen vähentämisessä". Nimen mukaisesti selvityksessä arvioitiin ajoneuvo- ja polttoainetekniikan kehityssuuntia ja mahdollisia päästövähennyksiä. Lisäksi selvityksessä arvioitiin skenaariotarkasteluna liikenteen CO₂-päästöjen kehitystä pääkaupunkiseudulla vuosien 2020 ja 2030 tilanteissa.

HLJ 2015 valmistelua varten Helsingin seudun liikenne (HSL) päätti tilata ajoneuvo- ja polttoainetekniikan selvityksen päivityksen. Alkuperäiseen selvitykseen sisältyneitä ennusteita CO₂-päästöjen kehittymisestä ei tällä kertaa päivitetty.

Sekä alkuperäisen selvityksen että sen nyt käsillä olevan päivityksen on tehnyt TkT Nils-Olof Nyland TEC TransEnergy Consulting Oy:stä. Raportin on tarkastanut VTT:n tutkija Veikko Karvonen.

HSL:ssä päivitystyön yhteyshenkilöitä ovat ryhmäpäällikkö Johanna Vilkuna ja liikennesuunnittelija Veera Lehto.

Tiivistelmäsiivu

Julkaisija: HSL Helsingin seudun liikenne			
Tekijät: Nils-Olof Nylund		Päivämäärä 13.3.2014	
Julkaisun nimi: Ajoneuvo- ja polttoainetekniikan mahdollisuudet autoliikenteen päästöjen vähentämisessä 2013 päivitys HLJ 2015 työtä varten			
Rahoittaja / Toimeksiantaja: HSL			
Tiivistelmä: Käsillä oleva raportti on vuonna 2009 silloiselle YTV:lle tehdyn ajoneuvo- ja polttoaineteknisen selvityksen päivitys. Käsillä olevassa raportissa on tekniikan lisäksi käsitelty toimintaympäristössä ja ohjauksessa tapahtuneita muutoksia. Vuoden 2011 liikenteen valkoinen kirja linjaa liikennesektorin kehitystä vuoteen 2050. Puhtaiden ajoneuvojen ja polttoaineiden lisäksi valkoinen kirja painottaa itse liikennejärjestelmän tehokkaampaa hyödyntämistä. Paraikaa neuvotellaan biopolttoaineiden kestävyyskriteereistä ja vaihtoehtoisten energioiden infrastruktuuriin liittyvästä direktiiviehdotuksesta. Myös Suomessa on tehty useita tieliikenteeseen liittyviä linjauksia liittyen älyliikenteeseen, biopolttoaineisiin ja sähköautoihin. "Transport as a service" ajattelu on vahvistunut, eli ollaan siirtymässä tarvelähtöiseen ajatteluun sen sijaan että keskitytään infrastruktuuriin ja ajoneuvoihin. Nyt puhutaan paljon yhteistoiminnallisista järjestelmistä sekä matka- ja logistiikkaketjuista. Vuoden 2013 energia- ja ilmastostrategia sisältää useita kirjauksia jotka soveltuvat HLJ-työn ohjenuoraksi. Öljyperäiset tuotteet kattavat edelleen yli 90 % maailman tieliikenteen energiantarpeesta. Suomen uusittu biopolttoaineiden jakeluvaihtelaki edellyttää biopolttoaineille 20 %:n osuutta vuonna 2020. LVM:n "Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä" -raportissa vuodelta 2013 esitetään mm. että vuonna 2030 kaikki Suomessa uutena rekisteröitävät henkilöautot olisivat vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöön soveltuvia. Vuonna 2050 henkilöautoliikenne on öljystä riippumatonta, ja sähkön osuuden kaupunkien bussi- ja jakeluliikenteessä tulisi olla luokkaa 70 %. Lento- ja laivaliikenteen osalta vaihtoehtoja on vähän, mutta keveiden ajoneuvojen ja kaupunkiliikenteen osalta vaihtoehtoja on selvästi enemmän. Euro 6/VI pakokaasuvaatimusten astuessa voimaan polttomootoriautot lähestyvät nollapäästöisyyttä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että ilmanlaatuongelmat poistuvat kokonaan. Huolenaiheena ovat tehokkaalla pakokaasun jälkikäsittelyllä varustettujen dieselautojen NO₂-päästöt ja suoraruiskutteen bensiiniautojen pienhiukaspäästöt. Jatkossa esim. vaihtoehtoisilla polttoaineilla on vaikea saavuttaa etuja lähipäästöjen osalta. Vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön perusteena on jatkossa joko kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen tai öljyperäisten polttoaineiden korvaaminen. Vuoden 2009 jälkeen sähköautojen kohdalla on tapahtunut merkittävää edistymistä. Useat merkittävät autonvalmistajat kykenevät nyt tarjoamaan sähköautoja. Sähköauton osalta on kuitenkin muistettava, ettei sähköhenkilöauto poista henkilöautoilun perusongelmia, ruuhkautumista ja tilantarvetta ydinkeskustoissa, ja etteivät mahdolliset edistämistoimenpiteet saa olla ristiriidassa joukkoliikenteen edistämistavoitteiden kanssa. Sähköauto on kallis investointi, mutta sähköauton käyttö on yleensä edullista. Niinpä sähköisiin hyötyajoneuvoihin, joita käytetään paljon, on huomattavasti helpompaa saada kannattavuutta kuin yksityisiin henkilöautoihin. Lisäksi hyötyliikenne on usein suunnitelmallista ja sidottua tiettyihin reitteihin, hyvänä esimerkkinä bussiliikenne. Näin ollen tarvittava toimintamatka ja käytettävissä oleva latausaika ovat hyvinkin tiedossa. Huomioiden sähköbussien energiatehokkuus, mahdollisuus alhaisin CO₂-päästöihin sekä paikallinen päästöttömyys, suosituksena voisi olla kaupunkibussiliikenteen sähköistäminen aina kun se on mahdollista. Dieselbussin well-to-wheel CO₂-päästö on tavanomaista dieselpolttoainetta käytettäessä noin 1300 g/km, kun keskimääräisellä suomalaisella sähköllä sähköbussissa vastaava luku on noin 300 g/km (pohjoismaisella sähköllä 150 g/km). HSL onkin asettanut itselleen sähköbussitavoitteita: 1 % sähköbusseja vuonna 2015, 10 % vuonna 2020 ja 30 % vuonna 2025. Tällä hetkellä rajoitteita aiheuttavat mm. vasta kehitymässä oleva sähköbussien tarjonta, autojen korkea hinta, rajoitteet toimintamatkassa, vakiintumattomat latausratkaisut ja sähköbussiliikenteen aiheuttamat vaatimukset yleiselle infrastruktuurille. Yhä useampi autonvalmistaja on ilmoittanut tuovansa polttokennoautoja rajoitetussa määrin markkinoille noin vuonna 2015. Sähköautoista on todettu, että niihin kohdistettiin joitakin vuosia sitten ylioptimistisia odotuksia. Nähtäväksi jää, syntyykö polttokennoautoista seuraava ns. "hype". Kestävä kaupunkiseutujen henkilöliikenne perustuu joukkoliikenteeseen. Uudentyyppiset henkilöautot ja uudet polttoaineet mahdollistavat päästöjen vähentämisen. Ongelmana on kuitenkin jatkossakin henkilöautojen aiheuttamat ruuhkat ja katutilojen täyttyminen pysäköidyistä autoista. Uutta teknologiaa voidaan myös hyödyntää joukkoliikenteen houkuttelevuuden parantamiseen. Euro VI päästötaso tulee tarkoittamaan, että matkustajat eivät jatkossa enää näe mustia pakokaasupilviä tai aisti dieselpakokaasujen hajua. Parhaimmat biopolttoaineet auttavat alentamaan CO₂-päästöt sähköautojen tasolle. Sähköbussi voi hiljaisena ja täysin päästöttömänä ajoneuvona lisätä bussiliikenteen haluttavuutta. Sähköbussia ei kuitenkaan voida tarkastella pelkästään ajoneuvotekniikan näkökulmasta, vaan koska sähköbussi kytkeytyy kiinteästi infrastruktuuriin ja latausjärjestelmiin, sitä on tarkasteltava osana laajempaa järjestelmää. Palveleva ja hyvin toimiva joukkoliikenne edellyttää hyviä tietojärjestelmiä ja sujuvia matkaketjuja. Niinpä vähähiilisen energian ja edistyskellisten bussien rinnalla on kehitettävä myös joukkoliikenteen palvelupuolta.			
Avainsanat: ajoneuvoliikenteen päästöt, ajoneuvo- ja polttoainetekniikka, CO ₂ -päästöjen vähentäminen			
Sarjan nimi ja numero: HSL:n julkaisuja 7/2014			
ISSN 1798-6184 (pdf)		Kieli: suomi	Sivuja: 104
ISBN 978-952-253-229-9 (pdf)			
HSL Helsingin seudun liikenne, PL 100, 00077 HSL, puhelin (09) 4766 4444			

Sammandragssida

Utgivare: HRT Helsingforsregionens trafik			
Författare: Nils-Olof Nylund			Datum 13.3.2014
Publikationen titel: Fordon- och bränsleteknikens möjligheter för att minska biltrafikens utsläpp 2013 uppdatering för HLJ 2015-arbete			
Finansiär / Uppdragsgivare: HRT			
Sammandrag:			
Denna rapport är uppdatering för årets 2009 fordon- och bränsletekniska utredning som gjordes för dåvarande SAD. I denna rapport har man förutom teknik behandlat också förändringar som har skett i verksamhetsmiljö och styrning. Trafikens vita bok för år 2011 linjerar upp utvecklingen av trafiksektorn ändå till år 2050. Förutom rena fordon och bränslen betonar vita boken effektivare utnyttjande av själva trafiksystemet. Som bäst förhandlar man om biobränslenas uthållighets-kriterier och direktivförslag som gäller infrastruktur för alternativ energi. Också i Finland har man gjort flera linjedragningar gällande vägtrafik med anknytning till smarttrafik, biobränslen och elbilar. "Transport as a service"-tänkande har förstärkt, man håller alltså på att övergå till behovsinriktat tänkande i stället för att koncentrera sig på infrastruktur och fordon. Nu talas det mycket om samverkande system samt res- och logistikkedjor. Årets 2013 energi- och klimatstrategi omfattar flera inskrivningar som passar som rättesnöre i HLJ-arbetet. Oljebaserade produkter omfattar fortfarande över 90 % av vägtrafikens energibehov i världen. Finlands förnyade lag om skyldighet att tillhandahålla biodrivmedel förutsätter att biobränslens andel år 2020 är 20 %. I kommunikationsministeriets rapport "Framtidens drivkrafter i trafiken" från år 2013 framställs bl.a. att år 2030 skulle alla i Finland registrerade nya personbilar vara lämpliga för användning av alternativa bränslen. År 2050 är personbiltrafiken oavhängig av oljan och elens andel av städernas buss- och distributionstrafik ska vara ca 70 %. När det gäller flyg- och fartygstrafik finns det få alternativ, men när det gäller lätta fordon och stadstrafik finns det klart flera alternativ. När Euro 6/VI avgaskraven träder i kraft är förbränningsmotorbilarna nästan utsläppsfria. Detta betyder dock inte att luftkvalitetsproblem skulle försvinna helt. NO₂-utsläpp av dieselbilar som är utrustade med effektiv efterbehandling av avgaser samt småpartikelutsläpp av bensinbilar med insprutningsmotor ger anledning till bekymmer. I fortsättningen är det svårt att nå fördelar t.ex. med alternativa bränslen när det gäller närutsläpp. Motiveringen för att använda alternativa bränslen är i fortsättningen antingen att minska växthusgasutsläpp eller att ersätta oljebaserade bränslen. Efter år 2009 har det skett märkvärdig utveckling när det gäller elbilar. Flera viktiga biltillverkare kan nu erbjuda elbilar. När det gäller elbil, ska man ändå komma ihåg att elpersonbilen inte löser personbilismens grundläggande problem, trafikstockningar och behov för utrymme i stadskärnor och att eventuella främjandeåtgärder inte kan vara i strid med främjandemålsättningar för kollektivtrafiken. Elbil är en dyr investering men användningen av elbilen är vanligen förmånligt. Därför är det mycket enklare att få elektriska nyttfordon, som används mycket, att bli lönsamma än privata personbilar. Dessutom är nyttotrafiken ofta systematiskt och bunden till vissa ruttor, busstrafiken är ett gott exempel. Följaktligen vet man väl den behövliga aktionsraden och den disponibla laddningstiden. När man tar hänsyn till elbussarnas energieffektivitet, möjligheten till låga CO₂-utsläpp samt att omgivningen blir utsläppsfri, kunde rekommendationen vara att bussarna i stadstrafiken ska vara elbussar alltid när det är möjligt. Dieselbussens well-to-wheel CO₂-utsläpp är ca 1300 g/km, när man använder vanligt dieselbränsle, då den motsvarande siffran för elbussen med genomsnittlig finsk el är ca 300 g/km (med nordisk el 150 g/km). HRT har därmed ställt upp målsättningar för sig själv gällande elbussar: 1 % elbussar år 2015, 10 % år 2020 och 30 % år 2025. Svagt utbud av elbussar, bilarnas höga pris, begränsningar i aktionsraden, vacklande laddningslösningar och krav som elbusstrafiken förorsakar den allmänna infrastrukturen förorsakar begränsningar för närvarande. Flera biltillverkare har meddelat att de kommer att införa begränsat antal bränslecellbilar på marknaden ungefär år 2015. Man har konstaterat om elbilar att man riktade överoptimistiska förväntningar på dem för några år sedan. Man får se om bränslecellbilar blir den nästa "hype". Hållbar persontrafik i stadsregioner baserar sig på kollektivtrafiken. Ny typ av personbilar och nya bränslen möjliggör att minska utsläpp. Problemet är dock även i fortsättningen trafikstockningar förorsakade av personbilar och stadsutrymmen som parkerade bilarna tar. Den nya teknologin kan också utnyttjas för att locka människorna att använda mer kollektivtrafiken. Euro VI utsläppsnivå kommer att betyda att passagerarna inte längre ser svarta avgasmoln eller känner lukten av dieselavgaser. De bästa biobränslena hjälper att sänka CO₂-utsläpp till elbilarnas nivå. Elbuss kan som ett tyst och helt utsläppsfritt fordon locka flera människor att åka med buss. Elbussen kan dock inte endast granskas ur fordonteknikens synvinkel, utan den ska granskas som en del av ett bredare system, eftersom elbussen hänger tätt samman med infrastruktur och laddningssystem. Betjänande och väl fungerande kollektivtrafiken förutsätter goda informationssystem och smidiga reskedjor. Därför ska man utveckla också kollektivtrafikens servicenivå vid sidan om kolsnål energi och progressiva bussar.			
Nyckelord: fordonstrafikens utsläpp, fordons- och bränsleteknik, reducering av CO2-utsläpp			
Publikationsseriens titel och nummer: HRT publikationer 7/2014			
ISSN 1798-6184 (pdf)		Språk: svenska	Sidantal: 104
ISBN 978-952-253-229-9 (pdf)			
HRT Helsingforsregionens trafik, PB 100, 00077 HRT, tfn. (09) 4766 4444			

Published by: HSL Helsinki Region Transport			
Author: Nils-Olof Nylund		Date of publication 13.3.2014	
Title of publication: Possibilities of vehicle and fuel technology in reducing emissions from car traffic, 2013 update for HLJ 2015			
Financed by / Commissioned by: HSL			
Abstract: This report is an update to the study on vehicle and fuel technology conducted in 2009 for the then YTV. In addition to technology, this report addresses changes to the operating environment and guidance. The 2011 White Paper on Transport sets out the policy framework for transport sector development up to 2050. In addition to clean vehicles and fuels, the White Paper emphasizes more efficient use of the transport system itself. Currently, there are negotiations on the sustainability criteria for biofuels as well as on a directive proposal related to the infrastructure of alternative energy sources. Also Finland has set out a number of road transport policies regarding intelligent transport, biofuels and electric cars. The idea of transport as a service has gained traction, i.e. instead of focusing on infrastructure and vehicles, we are shifting to demand-based thinking. Today, there is a lot of talk about cooperative systems as well as travel and logistics chains. The 2013 energy and climate strategy includes several elements that can be used as guiding principles of the HLJ process. Petroleum-derived products still account for over 90% of the road transport energy consumption in the world. In Finland, the revised act on biofuel distribution obligation sets the share of biofuels at 20% in 2020. The "Alternative propulsion for the transport of the future" report published by the Ministry of Transport and Communications in 2013 proposes, for example, that in 2030 all new private cars registered in Finland should be capable of using alternative fuels. In 2050, passenger car traffic is oil-free and the share of electricity in bus and delivery transport in urban areas should be 70%. With regard to air and maritime transport, alternatives are few but for light vehicles and urban transport the number of alternatives is clearly higher. When the Euro 6/VI emissions standards come into force, combustion engine cars will approach zero emissions. However, this does not mean that air quality problems would disappear altogether. NO₂ emissions from diesel cars with efficient exhaust gas after-treatment and small particle emissions from gasoline cars with direct injection cause concern. In future, it will be difficult to achieve benefits in terms of reduced local emissions with alternative fuels, for example. The use of alternative fuels will be based on decreasing greenhouse gas emissions or replacing petroleum-derived fuels. Since 2009, significant advances have been made in electric cars. Several major car manufacturers are now able to offer electric cars. However, we must bear in mind that electric cars do not solve the basic problems of motoring, i.e. congestion and need for space in city centers, and that the possible measures to promote electric cars should not be inconsistent with the goals of promoting public transport. Electric car is an expensive investment but they are usually cheap to use. Thus, it is far easier to achieve profitability in electric commercial vehicles that are used a lot than in private cars. In addition, as commercial traffic is often systematic and bound to certain routes, bus traffic being a good example, the driving range and charge time available are well-known. Taking into account the energy efficiency of electric buses, the possibility of low CO₂ emissions and zero local emissions, it could be recommended to use electric vehicles in urban bus transport whenever possible. The well-to-wheel CO₂ emissions of a diesel bus are about 1,300g/km using a regular diesel fuel while the corresponding figure of an average electric bus powered by Finnish electricity is about 300g/km (with Nordic electricity 150g/km). HSL has set out the following goals with regard to electric buses: in 2015 electric buses account for 1%, in 2020 for 10% and in 2025 for 30% of the fleet. At the moment, the use of electric buses is limited, for example, by the still nascent supply of vehicles, high price, limited driving range, as yet unestablished charging solutions and requirements for the general infrastructure. Several car manufacturers have announced that they will bring out into the market a limited number of combustion engine vehicles approximately in 2015. It has been noted that over optimistic expectations were placed on electric cars some years ago. It remains to be seen whether a similar hype will be created around combustion engine vehicles. Sustainable urban passenger transport is based on public transport. New kinds of private cars and new fuels enable the reduction of emissions. However, congestion caused by private cars and street space being taken by parked cars will be a problem also in the future. New technology can be utilized also to make public transport more attractive. The Euro VI emission levels will mean that passengers will no longer see clouds of black exhaust gas or smell diesel exhaust fumes. The best biofuels help to reduce CO₂ emissions to the same level as those of electric cars. The quiet, zero-emission electric buses can make public transport more attractive. However, as electric buses are closely linked to infrastructure and charging systems, they must be viewed as part of a broader system and not simply from the point of view of vehicle technology. As well-serving and well-functioning public transport necessitates good data systems and seamless travel chains, also the service aspect of public transport must be developed along with low-carbon energy and advanced buses.			
Keywords: Emissions from vehicular traffic; vehicle and fuel technology; reduction of CO ₂ emissions			
Publication series title and number: HSL Publications 7/2014			
		Language: English	Pages: 104
ISSN 1798-6184 (PDF)	ISBN 978-952-253-229-9 (PDF)		
HSL Helsinki Region Transport, PO Box 100, 00077 HSL, Tel.+358 9 4766 4444			

Sisällysluettelo

1	Selvityksen tarkoitus	25
2	Muutokset viitekehyksessä ja toimintaympäristössä 2009 - 2013	25
2.1	Vuoden 2009 tilanne	25
2.2	Vuoden 2013 päivitys.....	26
3	Yleistä liikenteen energiasta (maailman taso)	37
3.1	Nykytilanne.....	37
3.2	Ennusteet tulevasta	40
4	Katsaus teknologiavaihtoehtoihin ja niiden kehityssuuntiin	52
4.1	Yleistä	52
4.2	Polttomoottorien kehittyminen.....	56
4.3	Hybridisointi	59
4.4	Polttoainevaihtoehdot	59
4.4.1	Yleistä	59
4.4.2	Biopolttoaineet (nestemäiset)	60
4.4.3	Kaasumaiset polttoaineet.....	62
4.5	Sähköajoneuvot	64
4.5.1	Yleistä	64
4.5.2	Henkilöautot	65
4.5.3	Hyötyajoneuvot	71
4.5.4	Pääkaupunkiseudun eBus hankekokonaisuus	76
4.5.5	Sähköautojen lukumäärän kehittyminen.....	79
4.6	Polttokennoajoneuvot	82
5	Esimerkkejä eri ajoneuvotekniikoiden päästöistä	84
5.1	Yleistä	84
5.2	Bussit	86
5.2.1	IEA Bus –hankkeen tuloksia	86
5.2.2	Katsaus HSL:n bussikaluston päästöihin.....	95
5.2.3	Henkilöautot	98
6	Yhteenveto	100

Kuvaluettelo

Kuva 1. Tieliikennejärjestelmän keskeiset elementit ja haasteet. (ERTRAC 2011).....	27
Kuva 2. Biopolttoaineiden jakeluvelvoitelain (1420/2010) edellyttämät biopolttoaineosuudet. (Saarinen 2013).....	32
Kuva 3. Liikenteen hiilidioksidipäästöjen uusi perusennuste. (ILPO 2012)	33
Kuva 4. Polttoaineveron ja käyttövoimaveron yhteissumma kilometriä kohden henkilöautojen eri käyttövoimavaihtoehdoille. (Parkkonen 2013)	34
Kuva 5. Eri liikennemuotojen energiankulutusosuudet. (WEF 2011).....	37
Kuva 6. Tieliikenteen vaihtoehtoiset polttoaineet. (AMF 2012).....	38
Kuva 7. Biopolttoainemäärien kehitys Euroopassa ja eri biopolttoaineiden suhteelliset osuudet. (Biofuels Barometer 2013)	38
Kuva 8. Fossiilisen energian hinnat. Brent= Pohjanmeren yksi öljyalaatu. (Suni 2013).....	39
Kuva 9. Hydraulic fracturing (fracking) periaate. (Wikipedia).....	39
Kuva 10. IEA:n öljyn kulutusennuste vuodelle 2035. (IEA WEO 2013)	40
Kuva 11. Öljyvarantojen riittävyys vuosina suhteessa nykykulutukseen. Harmaa käyrä kuvaa koko maailmaa keskimäärin. (BP 2013)	41
Kuva 12. Tarve dieselpolttoaineen korvaamiseksi. (Hådel 2012)	42
Kuva 13. IEA:n ETP 2012 julkaisun kolme skenaariota, 2DS, 4 DS ja 6DS. (IEA ETP 2012)	42
Kuva 14. Eri teknologioiden osuudet uusissa henkilöautoissa IEA ETP 4DS ja 2DS skenaarioissa. (IEA ETP 2012)	43
Kuva 15. Henkilöautokannan jakauma eri NETP skenaarioissa. (NETP 2013).....	45
Kuva 16. Liikenteen kokonaisenergian jakauma eri NETP skenaarioissa. (NETP 2013).....	46
Kuva 17. Energian käyttö liikennevälineluokittain eri NETP skenaarioissa. (NETP 2013)	46
Kuva 18. Eri biopolttoaineiden kehitystilanne. (IEA Bio 2011)	47
Kuva 19. Arvio biopolttoaineiden kysynnän ja maa-alan tarpeen kehittymisestä. (IEA Bio 2011)...	48
Kuva 20. Biopolttoaineiden arvioitu hintakehitys kahdessa eri skenaariossa. (IEA Bio 2011)	49
Kuva 21. ERTRAC SRA 2010 projektio vuosiin 2030 ja 2050. (ERTRAC 2010).....	50
Kuva 22. ERTRAC:in päivitetty näkemys henkilöliikenteen (tieliikenne) energioista. (ERTRAC 2013)	51
Kuva 23. Power-to-gas/power-to-liquids konsepti. (Graves 2011).....	51
Kuva 24. Primäärienergian lähteet, energiankantajat ja loppukäytön vaihtoehdot vuonna 2030. (ERTRAC 2010)	52
Kuva 25. Eri teknologiapolkujen haasteet. (Tanaka 2011)	53
Kuva 26. Eri liikennemuotojen polttoaineen käyttötarpeiden priorisointi esitettynä	54
hierarkisesti. (Käyttövoimat 2013)	54
Kuva 27. Tieliikenteen sähkösovellukset. (Wheeler 2010, täydennetty).....	55
Kuva 28. Siemensin sähköistetyn maantien koerata. (Siemens 2012).....	55
Kuva 29. Raskaan kaluston päästömääräysten kehittyminen. (Integer 2013).....	56
Kuva 30. Bensini- ja dieselmoottorien kehityssuuntia. (Tanaka 2011).....	57
Kuva 31. Tavoitteet henkilöautomoottoreiden maksimihyötysuhteelle. (Tanaka 2011).....	58
Kuva 32. Kasvihuonekaasupäästökertoimia eri polttoainevaihtoehdoille. (Nylund & Koponen 2012)	60
Kuva 33. Westportin yhdistetty dieselpolttoaineen ja kaasun HPDI ruiskutuslaitteisto. (Westport 2013).....	63
Kuva 34. Volvon DME-rekkaveturi Pohjois-Amerikan markkinoille. (Volvo 2013)	63
Kuva 35. Sähköautoihin kohdistetut odotukset. (Beeton 2013)	64

Kuva 36. BMW i3. (www.bmw.com)	66
Kuva 37. Nissan Leafin informaatiojärjestelmä. (www.nissan.com).....	67
Kuva 38. Eri latausvaihtoehdot ja esimerkkejä pistokkeista. (RWE 2010).....	69
Kuva 39. Mercedes-Benz Vito E-CELL. (www.mercedes-benz.fi)	71
Kuva 40. Mitsubishi Fuso E-CELL kuorma-auto. (www.mitsubishi-fuso.com).....	71
Kuva 41. Raskas Balqon Mule sähköauto. (www.balqon.com).....	72
Kuva 42. Bussien vaihtoehtoisia akku- ja latausratkaisuja. (Sauer 2013)	74
Kuva 43. Bombardierin induktiivinen latausjärjestelmä. (Köbel 2013)	75
Kuva 44. Volvon sähköistämistästrategia. (Jobson 2012)	76
Kuva 45. eBus-hankeen rakenne ja toimijat. (Nylund 2013).....	77
Kuva 46. Caetano ja Ebusco sähköbussit Veolian varikolla. Kuva Sami Ojamo.	78
Kuva 47. eBus ”testimuuli”, eli kevytrakenteisen Kabus kaupunkilinja-auton pohjalle rakennettu sähköbussi. Kuva VTT.....	79
Kuva 48. Maailman sähköautokanta vuoden 2012 lopulla (EVI 2013)	80
Kuva 49. Sähköautojen myynti 2012. (EVI 2012)	80
Kuva 50. Tesla S oli Norjan myydyin auto syyskuussa 2013. (Green Cars Report).....	81
Kuva 51. Vertailu Norjan ja Suomen täyssähköautojen lukumäärien välillä. (WintEVE)	82
Kuva 52. Polttokennoauton pääkomponentit. (Toyota 2013)	83
Kuva 53. Hyundai ix35 polttokennoauto. (Hyundai 2013).....	83
Kuva 54. Sähkön tuotannon hiili-intensiteetti eri maissa. (Ecofys 2010)	85
Kuva 55. IEA Bus –hankkeen rakenne. (IEA Bus 2012)	86
Kuva 56. Eurooppalaisten bussien NO _x -päästöt Braunschweig-syklissä. (IEA Bus 2012)	87
Kuva 57. Eurooppalaisten bussien hiukkaspäästöt Braunschweig-syklissä. (IEA Bus 2012)	88
Kuva 58. Uusien bussien sijoittuminen NO _x /PM kartalla. Kuvaan on myös merkitty arvio eri päästölukujen vastaavuudesta. (IEA Bus 2012).....	89
Kuva 59. NO ₂ ja NO osuudet eri tekniikoilla. (IEA Bus 2012)	90
Kuva 60. Eurooppalaisten bussien CO _{2ekv} -päästöt Braunschweig-syklissä. Luvuissa huomioitu kaasuautojen palamaton metaani. (IEA Bus 2012)	90
Kuva 61. Eurooppalaisten bussien energian kulutus Braunschweig-syklissä. (IEA Bus 2012)	91
Kuva 62. Koko polttoaineketjun (well-to-wheel) CO _{2ekv} -päästöt eri tekniikoille. Braunschweig-sykli. Dieselautona on EEV-tasoinen ureakatalysaattorilla ja varsinaisella hiukkassuodattimella varustettu auto. (IEA Bus 2012).....	91
Kuva 63. Sähköbussin energian kulutus eri painoilla ja ajosykleillä. Luvut kuvaavat verkosta otettua tehoa ja pitävät sisällään latauksen aiheuttamat häviöt. (Nylund 2013)	93
Kuva 64. Koko energiaketjun (well-to-wheel)CO _{2ekv} -päästöt eri tekniikoille (perus-diesel, hybridi, kaasuauto, sähköauto eri sähkön tuotantotavoilla). Braunschweig-sykli. (Nylund 2013)....	95
Kuva 65. HSL:n tilaaman bussiliikenteen kalustojakauma (9/2013).	96
Kuva 66. Henkilöauton eri tekniikkavaihtoehtojen energian kulutus ja CO ₂ -päästöt NEDC- kokeessa. (Nuottimäki 2012)	99
Kuva 67. Koko energiaketjun (well-to-wheel) CO _{2ekv} -päästöt eri tekniikoille kaupunkiajossa. (Nuottimäki 2012)	99
Kuva 68. NO ₂ ja NO osuudet eri tekniikoilla. (Nuottimäki 2012)	100

Liiteluettelo

Liite 1. Nordic Energy Technology Perspectives skenaarioiden toimenpiteet ja keinot.....	104
--	-----

Lähdeluettelo

AMF. (2012). IEA-Advanced Motor Fuels. Annual Report 2011. http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annual%20Reports/Annual%20Report%202011%20Final_.pdf

Automotive World. (2013). H₂ announcements bring FCEVs closer to reality. <http://www.automotiveworld.com/analysis/comment-h2-announcements-bring-fcevs-closer-to-reality/>

Beeton, D. (2013). Update on Task 18: EV Ecosystems. Summary presentation prepared for IEA HEV ExCo. November 2013.

Biofuels Barometer. (2013). http://www.energies-renouvelables.org/observer/stat_baro/observ/baro216_en.pdf

BP. (2013). Statistical Review of World Energy 2013. <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013.html>

COM (2012) 595 final. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources. http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/fuel/docs/com_2012_595_en.pdf

COM (2013) 17 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions . Clean Power for Transport: A European alternative fuels strategy. Brussels, 24.1.2013. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0017:FIN:EN:PDF>

COM (2013) 18 final. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the deployment of alternative fuels infrastructure. Brussels, 24.1.2013. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0018:FIN:EN:PDF>

DailyTech. (2013). Toyota's Prius Hybrid Crosses 3 Million Unit Threshold in Worldwide Sales. July 5, 2013. <http://www.dailytech.com/Toyotas+Prius+Hybrid+Crosses+3+Million+Unit+Threshold+in+Worldwide+Sales/article31907.htm>

Delphi. (2013). Worldwide Emission Regulations. Passenger Cars and Light-duty Vehicles. 2013/2014. Delphi Powertrain Systems. <http://delphi.com/pdf/emissions/Delphi-Passenger-Car-Light-Duty-Truck-Emissions-Brochure-2013-2014.pdf>

ECE R-101. Addendum 100: Regulation No. 101, Revision 3. Date of entry into force: 27 January 2013. Uniform provisions concerning the approval of passenger cars powered by an internal combustion engine only, or powered by a hybrid electric power train with regard to the measurement of the emission of carbon dioxide and fuel consumption and/or the measurement of electric energy consumption and electric range, and of categories M1 and N1 vehicles powered by an electric power train only with regard to the measurement of electric energy consumption and electric range. <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/updates/R101r3e.pdf>

Ecofys. (2010). International Comparison of Fossil Power Efficiency and CO₂ Intensity. Ecofys Netherlands bv. Project number: PSTRNL10153. September 2010. http://www.ecofys.com/com/publications/brochures_newsletters/documents/Ecofys-Internationalcomparisonfossilpowerefficiency_2010.pdf

EC Heavy Vehicles (2013). Towards a strategy to address CO₂ emissions from Heavy-Duty Vehicles. http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy/index_en.htm

Energia- ja ilmastostrategia. (2013). Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 20. päivänä maaliskuuta 2013. VNS 2/2013 vp. http://www.tem.fi/files/36730/Energia- ja ilmastostrategia_2013_SUOMENKIELINEN.pdf

ERTRAC. (2010). ERTRAC Research and Innovation Roadmaps. Implementation of the ERTRAC Strategic Research Agenda 2010. European Road Transport Research Advisory Council. http://www.ertrac.org/pictures/downloadmanager/6/50/ertrac-researchinnovation-roadmaps_60.pdf

ERTRAC. (2011). ERTRAC Multi-Annual Implementation Plan for Horizon 2020. European Road Transport Research Advisory Council. http://www.ertrac.org/pictures/downloadmanager/1/56/ertrac-map-h2020_67.pdf

ERTRAC. (2013). European Roadmap. Energy carriers for powertrains for a clean and efficient mobility. Version 1.00. 30 Nov 2013. European Road Transport Research Advisory Council. http://www.ertrac.org/en/kapu/sajat_index.php

EVI. (2013). Global EV Outlook. International Energy Agency. http://www.iea.org/topics/transport/electricvehiclesinitiative/EVI_GEO_2013_FullReport.pdf

Ford. (2013). Teknologia. Uusi, luokkansa johtava EcoBoost-bensiinimoottori. <http://www.ford.fi/Henkilautot/Focus/Teknologia>

Graves, C. et al. (2011). Sustainable hydrocarbon fuels by recycling CO₂ and H₂O with renewable or nuclear energy. Elsevier Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 15, Issue 1. January 2011, Pages 1–23. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110001942>

Green Car Report. (2013). Tesla Model S Was Best-Selling Car In Norway For September. 1. October 2013. http://www.greencarreports.com/news/1087346_tesla-model-s-was-best-selling-car-in-norway-for-september

HE 197/2010 vp. Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä annetun lain muuttamisesta. <http://www.eduskunta.fi/valtiopaivaasiat/he+197/2010>

Holl, E. (2013). Citybus of the Future. 4th VDV Academy Conference Electric Buses – Market of the Future!?

February 18 and 19, 2013 in Berlin.

HSY. (2013). Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla vuonna 2012. Helsingin seudun ympäristöpalvelut – kuntayhtymä.

http://www.hsy.fi/tietoahsy/Documents/Julkaisut/5_2013_ilmanlaatu_paakaupunkiseudulla_vuonna_2012_web.pdf

Hyundai. (2013). Hyundai's leading Fuel Cell technology. <http://www.hyundai.co.uk/about-us/environment/hydrogen-fuel-cell>

Hådell, O. (2012). Alternative energy and new technology for heavy-duty vehicles. TransEco seminaari "Kehittyvä bussitekniikka ja vaihtoehtoiset energiamuodot". Helsinki 6.2.2012.

http://www.transec.fi/files/534/Alternative_Energy_and_New_Technology_for_Heavy-duty_Vehicles_Olle_Hadell.pdf

IEC. (2010). IEC 61851-1. International Standard. Electric vehicle conductive charging system – Part 1: General requirements.

IEA. (2013). Global Land Transport Infrastructure Requirements. International Energy Agency. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,34742,en.html>

IEA Bio. (2011). Technology Roadmap Biofuels for Transport. International Energy Agency. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Biofuels_Roadmap_WEB.pdf

IEA ETP. (2012). Energy Technology Perspectives 2012 - how to secure a clean energy future. International Energy Agency. <http://www.iea.org/etp/etp2012/>

IEA WEO. (2013). World Energy Outlook. International Energy Agency. <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2013/>

ILPO. (2009). Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009–2020. 17.3.2009. [http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=440554&name=DLFE-8040.pdf&title=Ohjelmia ja strategioita 2-2009](http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=440554&name=DLFE-8040.pdf&title=Ohjelmia+ja+strategioita+2-2009)

ILPO. (2012). Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009–2020. Seuranta 2012. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 23/2012. [http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=1986562&name=DLFE-18457.pdf&title=Julkaisuja 23-2012](http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=1986562&name=DLFE-18457.pdf&title=Julkaisuja+23-2012)

IMO. (2013). Sulphur oxides (SOx) – Regulation 14. [http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-\(SOx\)-%E2%80%93Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93Regulation-14.aspx)

Integer. (2013). Euro VI – Implications for the Commercial Vehicle Market Integer WebEx – 06 November, 2013.

JEC WTW. (2013). "Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context" Version 4. July 2013. <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/downloads>

Jobson, E. (2012). Step-by-step introduction Energy Efficient Buses. Volvo Bus. Presentation to Helsinki Region Transport. Helsinki, 21.11.2012.

Johdinautoliikenteen hankeselvitys. (2011). Raportti 13. 19.4.2011. HSL Helsingin seudun liikenne. https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/13_2011_johdinautoliikenteen_hankeselvitys.pdf

Johnson, T. (2013). Emerging Emissions Directions and Challenges. KSAE/SAE Powertrains, Fuels & Lubricants Meeting. Seoul, October 22, 2013.

Käyttövoimat. (2013). Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä. Työryhmän loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 15/2013. https://www.lvm.fi/docs/fi/2497123_DLFE-19513.pdf

Köbel, C. (2013). Bombardier Zero Emission Bus Systems with PRIMOVE. Wireless eMobility. . 4th VDV Academy Conference Electric Buses – Market of the Future!? February 18 and 19, 2013 in Berlin.

Laurikko, J., Nuottimäki, J. & Nylund, N-O. (2012). Improvements in test protocols for electric vehicles to determine range and total energy consumption. FISITA Paper F2012-E14-032.

LVM. (2012). Kilpailukykyä ja hyvinvointia vastuullisella liikenteellä. Valtioneuvoston liikennepoliittinen selonteko eduskunnalle 2012. <http://www.hare.vn.fi/upload/Julkaisut/17748/670671812912207.PDF>

LVM. (2013). Kohti uutta liikennepoliittikkaa. Älyä liikenteeseen ja viisautta liikkujille. Toisen sukupolven älystrategia liikenteelle. Ohjelmia ja strategioita 1/2013. <http://www.lvm.fi/julkaisu/4149622/kohti-uutta-liikennepoliittikkaa-ly-a-liikenteeseen-ja-viisautta-liikkujille-toisen-sukupolven-alystrategia-liikenteelle>

Michelin. (2013). Watt System: PVI's fast-charging solution to go on trial soon in France. Michelin Challenge Bibendum, published on 23/10/2013. <http://www.michelinchallengebibendum.com/eng/other-event/Busworld-Europe-2013/Watt-System>

Mäkinen, R. (2013). Joukkoliikenteen kilpailuttamiskriteerit ponnistavat tutkimuksesta ja hankintalainsäädännöstä. TransEco-päätöseminaari 10.10.2013. http://www.traneco.fi/files/768/Joukkoliikenteen_kilpailuttamiskriteerit_ponnistavat_tutkimuksesta_ja_hankintalainsaadannosta_Reijo_Makinen_HSL_TransEco-paattoseminaari_10.10.2013.pdf

NETP. (2013). Nordic Energy Technology Perspectives. Pathways to a Carbon Neutral Energy Future. <http://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2012/03/Nordic-Energy-Technology-Perspectives.pdf>

Nuottimäki, J. (2012). IEA AMF CARPO: Comparison and full fuel-cycle evaluation of passenger car powerplant options. TransEco tutkijaseminaari 4.12.2012.

http://www.transec.fi/files/664/IEA_AMF_CARPO_Comparison_and_Full_Fuel-Cycle_Evaluation_of_Passenger_Car_Powerplant_Options_Nuottimaki.pdf

Nylund, N-O. (2009). HLJ 2011. Ajoneuvo- ja polttoainetekniikan mahdollisuudet autoliikenteen päästöjen vähentämisessä. YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta.

https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/ajoneuvo_ja_polttoainetekniikan_mahdollisuudet_autoliikenteen_paastojen_vahentamisessa_hlj2011_raportti_0.pdf

Nylund, N-O. (2011). Sähköautojen tulevaisuus Suomessa. Sähköautot liikenne- ja ilmastopolitiikan näkökulmasta. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 12/2011.

http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=1551284&name=DLFE-11701.pdf&title=Julkaisu_12-2011

Nylund, N.-O., Erkkilä, K., Ahtiainen, M., Murtonen, T., Saikkonen, P., Amberla, A & Aatola, H. (2011). Optimized usage of NExBTL renewable diesel fuel. OPTIBIO. Espoo 2011. VTT Tiedotteita – Research Notes 2604. 167 p. + app. 5 p. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2011/T2604.pdf>

Nylund, N-O., Laurikko, J., Laine, P., Suominen, J., Anttonen, M. (P. A.). (2012). Benchmarking heavy-duty ethanol vehicles against diesel and CNG vehicles. Biomass Conv. Bioref. Springer-Verlag 2012. DOI 10.1007/s13399-012-0049-z

Nylund, N.-O. & Koponen, K. (2012). Fuel and technology options for buses. Overall energy efficiency and emission performance. Espoo 2012. VTT Technology 46. 294 p. + app. 94 p. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T46.pdf>

Nylund, N-O. (2013). From well to wheel. Ett helhetsperspektiv på buss och miljö. Energieffektiv kollektivtrafik och elbussar. Svenska bussbranchens riksförbund, Stockholm 9.10.2013. http://bussbranschen.se/Portals/0/PDF_public/Verksamhet/Elbuss%20seminarium/NilsOlofNylund.pdf

Ojamo, S. (2012). Pääkaupunkiseudun sähköisen liikenteen kehitys. Sähköinen joukkoliikenne, haasteet ja mahdollisuudet. HATY juhlaseminaari 9.6.2012.

Parkkonen, L. (2013). Taxation of petroleum products and vehicles in Finland. CEN/TC 19 Conference. Helsinki, 27 May 2013.

Raatikainen, J-M. (2011). Volvo MetaaniDiesel. Volvo Finland AB.

RWE. (2010). RWE ELECTRO-MOBILITY. "We are putting renewables on the road." RWE Effizienz GmbH as of December 2010. <http://www.rwe.com/web/cms/en/183210/rwe/innovations/energy-application/e-mobility/>

Saarinen, J. (2013). The Finnish Biofuel Policy. CEN/TC 19 Conference. Helsinki, 27 May 2013.

Sauer, D., Rohlf, W., Rogge, M. & Sinhuber, P. (2013). Energiebedarf, Batteriegröße, Batterietyp und Ladeinfrastruktur - Optimale eÖPNV Mobilität durch integrale Analyse. 4th VDV Academy Conference Electric Buses – Market of the Future!? February 18 and 19, 2013 in Berlin.

SCC. (2012). Communication from the Commission. Smart Cities and Communities – European Innovation Partnership. Brussels, 10.7.2012. C(2012) 4701 final.
http://ec.europa.eu/energy/technology/initiatives/doc/2012_4701_smart_cities_en.pdf

Siemens. (2012). Ready to roll. http://www.siemens.com/innovation/apps/pof_microsite/pof-fall-2012/html_en/electric-trucks.html

Singh, S. et al. (2012). Path to 50% Diesel Engine Thermal Efficiency for a Heavy Duty Truck. SAE 2012 Heavy Duty Vehicles Symposium - Technologies for High Efficiency & Fuel Economy. Chicago, September 30, 2012.

Suni, P. (2013). Maailmantalouden ja energiamarkkinoiden muutos ja energiapolitiikan haasteet. Öljyalan energiaseminaari. Finlandia-talo 16.10.2013.

Sønstelid, P-H. (2010). Sähköposti Norjan sähköautotilanteesta. Transportavdelingen, Samferdselsdepartementet. 2.12.2010.

Tanaka, T. (2011). Toyota's Strategy for Powertrains including Plug-in Hybrid Vehicles. JSAE/SAE International 2011 Powertrains, Fuels & Lubricants Meeting. Kyoto, August 30 – September 2, 2011.

Teknolögiäteollisuus. (2013). Teknolögiäteollisuus: Electro Mobility - latausoperaattori aloittaa, autovero ja sähköautot, autokatoksesta aurinkoenergiaa. Electro Mobility -uutiskirje – syyskuu 2013. <http://www.hyvinvointiasahkolla.fi/hankkeet/liikenne/239-teknolögiäteollisuus-electro-mobility-latausoperaattori-aloittaa-autovero-ja-sahkoautot-autokatoksesta-aurinkoenergiaa>

TEM (2012). Puhtaan energian ohjelma. Työ- ja elinkeinoministeriö.
http://www.tem.fi/files/34056/Puhdas_energia_ohjelma_esittely_100912.pdf

TEM. (2013). EU energiayhteistyö. Työ- ja elinkeinoministeriö.
https://www.tem.fi/energia/eu_n_energiayhteistyö

Tikka, V. (2010). Sähköautojen pikalatauksen verkkovaikutukset. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Sähkötekniikka. 2010.
<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/66311/nbnfi-fe201011253035.pdf?sequence=3>

TM. (2012). Nissan Leaf koeajo. Tekniikan Maailma 10/2012.

Toyota. (2013). Fuel cell technology. http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/fuelcell_vehicle/

USNews. (2013). BP Projection: U.S. Will Be Energy Self-Sufficient By 2030. Vast stores of natural gas and oil found in shale formations could make the U.S. a global energy leader.
<http://www.usnews.com/news/articles/2013/01/16/bp-shale-boom-key-to-us-energy-self-sufficiency>

Vesa, J. (2010). Sähköautoteknologiassa laaja työohjelma.
http://www.standardiforum.fi/aineisto/forum2010/Forum_2010_JVesa.pdf

Volvo. (2010). Volvo Bio-DME. Unique field test in commercial operations, 2010–2012. <http://www.volvotrucks.com/SiteCollectionDocuments/VTC/Corporate/About%20us/Environment-2012/Volvo%20BioDME.pdf>

Volvo. (2013). Volvo Trucks to Commercialize DME-Powered Vehicles for North America. Press Release –AB Volvo. http://www.volvogroup.com/group/global/en-gb/newsmedia/pressreleases/_layouts/CWP.Internet.VolvoCom/NewsItem.aspx?News.ItemId=143286&News.Language=en-gb

Vänskä, H. (2013). Biopolttoaineiden kestävyys ja Suomelle tärkeät neuvottelutavoitteet. Öljyalan energiaseminaari. Finlandia-talo 16.10.2013.

WEF. (2011). Repowering Transport 2011. World Economic Forum. http://www3.weforum.org/docs/WEF_RepoweringTransport_ProjectWhitePaper_2011.pdf

Westport. (2013). Technology. Westport high-pressure direct injection (Westport™ HPDI) is the core technology behind Westport 15L engine. <http://www.westport.com/products/engines/15/technology>

Wheeler, C. (2010). General Motors' Perspective on the Future of Ethanol and Flex Fuel Vehicle Manufacture. http://www.treia.org/assets/documents/Shaping-TX-Fuel-Ethanol-Policy-Conf_1030b_Wheeler_GM-Perspective-on-Future-of-Ethanol-and-FFV-Manufacture.090910.pdf

White Paper. (2011). Roadmap to a Single European Transport Area - Towards a competitive and resource efficient transport system. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:EN:PDF>

Wikipedia. Hydraulic fracturing. http://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_fracturing

Winter, K. (2013). Keskustelu Tanskan sähköautotilanteesta marraskuu 2013.

WintEVE. (2013) Norjassa sähköautot yleistyvät hurjaa vauhtia – mutta miksi Norjassa onnistutaan paremmin kuin Suomessa? 15.11.2013. <http://winteve.fi/norja-haluaa-olla-sahkoautoilun-paakaupunki/>

715/2007/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). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:171:0001:0016:FI:PDF>

443/2009/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston (EY) N:o 443/2009, annettu 23 päivänä huhtikuuta 2009, päästönormien asettamisesta uusille henkilöautoille osana yhteisön kokonaisvaltaista lähestymistapaa kevyiden hyötyajoneuvojen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti)

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0063:008:fi:PDF>

EY 595/2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 595/2009, annettu 18 päivänä kesäkuuta 2009, moottoriajoneuvojen ja moottorien tyyppihyväksynnästä raskaiden hyötyajoneuvojen päästöjen osalta (Euro VI) ja ajoneuvojen korjaamiseen ja huoltamiseen tarvittavien tietojen saatavuudesta ja asetuksen (EY) N:o 715/2007 ja direktiivin 2007/46/EY muuttamisesta sekä direktiivien 80/1269/ETY, 2005/55/EY ja 2005/78/EY kumoamisesta (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:188:0001:0013:FI:PDF>

510/2011/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 510/2011, annettu 11 päivänä toukokuuta 2011, päästönormien asettamisesta uusille kevyille kuljetusajoneuvoille osana unionin kokonaisvaltaista lähestymistapaa kevyiden hyötyajoneuvojen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:145:0001:0018:FI:PDF>

582/2011/EU. Komission asetus (EU) N:o 582/2011, annettu 25 päivänä toukokuuta 2011, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 595/2009 täytäntöönpanosta ja muuttamisesta raskaiden hyötyajoneuvojen päästöjen osalta (Euro VI) sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2007/46/EY liitteiden I ja III muuttamisesta . <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:167:0001:0168:fi:PDF>

2009/28/EY. 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.

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:fi:PDF>

2009/30/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/30/EY, annettu 23 päivänä huhtikuuta 2009, direktiivin 98/70/EY muuttamisesta bensiinin, dieselin ja kaasuöljyn laatuvaatimusten osalta sekä kasviuonekaasupäästöjen seurantaan ja vähentämiseen tarkoitetun mekanismin käyttöönottamisen osalta, neuvoston direktiivin 1999/32/EY muuttamisesta sisävesialusten käyttämien polttoaineiden laatuvaatimusten osalta ja direktiivin 93/12/ETY kumoamisesta.

<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0088:0113:FI:PDF>

2013/0012 (COD). Deployment of alternative fuels infrastructure. Procedure file.

[http://www.europarl.europa.eu/oeil/popups/ficheprocedure.do?reference=2013/0012\(COD\)&l=en](http://www.europarl.europa.eu/oeil/popups/ficheprocedure.do?reference=2013/0012(COD)&l=en)

1399/2010. Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta .

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101399>

1420/2010. Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä annetun lain muuttamisesta.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101420>

Lyhenteet

AC Alternating current = vaihtosähkö
BEV Battery electric vehicle = akkusähköauto
BHDBio hydrotreated diesel = vetykäsittely uusiutuva dieselpolttoaine (HVO)
BTLBiomass-to-liquids = biomassasta tuotettu nestemäinen polttoaine
Bxx = Dieselpolttoaineeseen bio-osuus
C = Akun lataus/purkunopeus
CAI Controlled auto-ignition = hallittu itsesytytys (uusi palamisjärjestelmä)
CBG Compressed biogas = paineistettu biokaasu
CNG Compressed natural gas = paineistettu maakaasu
CO = Hiilimonoksidi
CO₂ = Hiilidioksidi
CO₂ekv = Hiilidioksidiekvivalentti (huomioi esim. metaanin)
CNBSCarbon neutral high bioenergy scenario = bioenergiaa painottava hiilineutraali skenaario
CNESCarbon neutral high electricity scenario = sähköä painottava hiilineutraali skenaario
CNSCarbon neutral scenario = hiilineutraali skenaario
CRT Continuously regenerating trap = hiukkassuodatin
CTL Coal-to-liquids = hiilestä tuotettu nestemäinen polttoaine
C_xH_y = Hiilivety
CNCetane number = setaaniluku
CR Compression ratio = puristussuhde
DC Direct current = tasasähkö
DMEDi = metyylieetteri
DPFDiesel particulate filter = dieselmootorin hiukkassuodatin
ECE United Nations Economic Commission for Europe = YK:n Euroopan talouskomissio
EEVEnhanced environmentally friendly vehicle = vähäpäästöinen ajoneuvo (Euro V+)
EGRExhaust gas recirculation = pakokaasujen takaisinkierrätys
ENxxx = Eurooppalainen polttoainestandardi
EPAEnvironmental Protection Agency = Yhdysvaltain ympäristöviranomaisen
EREV = Extended range electric vehicle: jatkuvan toimintamatkan sähköauto (lataushybridi)
EVElectric vehicle = sähköauto
ExxBensiinin = etanolipitoisuus
EU = Euroopan unioni
Euro II... = EEVRaskaan kaluston päästöluokkia
Euro 5 = Henkilöautojen päästöluokka
E85 = Korkeaseosteinen etanolipolttoaine
FAMEFatty-acid methyl ester = perinteinen esteröity biodiesel
FCEVFuel cell electric vehicle = polttokennoauto
FCHVFuel cell hybrid vehicle = polttokennoauto
FFVFlexible fuel vehicle = monipolttoaineauto (etanoli)
FT = Fischer-Tropsch
FTD = Fischer-Tropsch diesel
FWFarmed wood = viljelty puu
GHGGreenhouse gas = kasvihuonekaasu
GTLGas-to-liquids = maakaasusta tuotettu nestemäinen polttoaine

HCCI = Homogenous charge compression ignition = homogeenisen seoksen puristussytytys (uusi palamisjärjestelmä)

HDV (Heavy-duty vehicle) = raskas ajoneuvo

HEV (Hybrid electric vehicle) = hybridauto

HPDI (High-pressure direct injection) = korkeapaineiden suoraruiskutus (dual-fuel tekniikka)

HV (Hybrid vehicle) = hybridauto

HLJ = Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelma

HSL = Helsingin seudun liikenne

HVO (Hydrotreated vegetable oil) = vetykäsitelty uusiutuva dieselpolttoaine

H₂ = Vety

H₂O = Vesi

ICE (Internal combustion engine) = polttomoottori

ICT (Information and communication technology) = tieto- ja viestintätekniologia

IEA (International Energy Agency) = kansainvälinen energiajärjestö

ILPO = Ilmastopoliittinen ohjelma (LVM:n hallinnonala)

ILUC (Indirect land use change) = epäsuora maankäytön muutos

IMO (International Maritime Organization) = Kansainvälinen merenkulkujärjestö

LB (Lean-burn) = kaasumoottorin laihaseostekniikka

LDV (Light-duty vehicle) = henkilö- tai pakettiauto

LNG (Liquefied natural gas) = nesteytetty maakaasu

LPG (Liquefied petroleum gas) = nestekaasu

LVM = Liikenne- ja viestintäministeriö

LW (Light-weight) = kevytrakennetekniikka

NEDC (New European driving cycle) = henkilöauton sertifiointisykli

NG (Natural gas) = maakaasu

NO = Typpioksidi

NO_x = Typen oksidien summa

NO₂ = Typpidioksidi

OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) = Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö

OW (Organic waste) = orgaaninen jäte

PAR (Parallel hybrid) = rinnakaishybridi

p-DPF Partial diesel particulate filter = avoin (osittainen) dieselmoottorin hiukkassuodatin

PHEV Plug-in hybrid electric vehicle = lataushybridi

PM Particulate matter = hiukkasmassa

RE Renewable energy = uusiutuva energia

RES Renewable Energy Sources = viittaus uusituvan energian edistämiseen tähtäävään direktiiviin

RE85 Korkeaseosteinen etanolipolttoaine

SCR Selective catalytic reduction = typenoksidien pelkistys ureakatalysaattorilla

SCR+TSCR + CRT = ureakatalysaattorin ja hiukkassuodattimen yhdistelmä

SER Series hybrid = sarjahybridi

SG Synthetic gas = synteettinen kaasu (metaani)

SM Stoikiometrinen = kaasumoottorin palamistekniikka

ST Straw = olki

TEM = Työ- ja elinkeinoministeriö

TTW Tank-to-wheel = polttoaineen loppukäyttö

US United States = Yhdysvallat

WH (Wheat) = vehnä

WMWet manure = märkä lanta

WTTWell-to-tank = polttoaineketjun alkupää

WTWell-to-wheel = koko polttoaine- tai energiaketju

WWaste wood = jätepuu

2DS, 4DS, 6DS = IEA:n lämpötilan kehitysskenaarioita

1 Selvityksen tarkoitus

Helsingin seudun liikenne (HSL) on kuntayhtymä, jonka jäseniä ovat Helsinki, Espoo, Vantaa, Kauniainen, Kerava, Kirkkonummi ja Sipoo. HSL aloitti toimintansa vuonna 2010. HSL:n perustehtävänä on pyrkiä luomaan hyvin toimiva liikennejärjestelmä sekä tarjota asiakkailleen laadukkaita, kustannustehokkaita ja kohtuuhintaisia joukkoliikennepalveluita.

Helsingin seudulla on käynnissä Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelman (HLJ 2015) valmistelu. Suunnitelmassa määritellään seudun liikennejärjestelmän kehittämistarpeet sekä tärkeimmät kehittämistoimenpiteet pitkälle tulevaisuuteen.

Voimassa oleva HLJ 2011 suunnitelma hyväksyttiin keväällä 2011. HLJ 2011 valmistelua varten laadittiin vuonna 2009 selvitys ”Ajoneuvo- ja polttoainetekniikan mahdollisuudet autoliikenteen päästöjen vähentämisessä” (Nylund 2009). Nimen mukaisesti selvityksessä arvioitiin ajoneuvo- ja polttoainetekniikan kehityssuuntia ja mahdollisia päästövähennyksiä. Lisäksi selvityksessä arvioitiin skenaariotarkasteluna liikenteen CO₂-päästöjen kehitystä pääkaupunkiseudulla vuosien 2020 ja 2030 tilanteissa.

HLJ 2015 valmistelua varten HSL päätti tilata ajoneuvo- ja polttoainetekniikan selvityksen päivityksen. Alkuperäiseen selvitykseen sisältyneitä ennusteita CO₂-päästöjen kehittymisestä ei tällä kertaa päivitetty. Päivityksessä keskitytään siis toimintaympäristössä ja viitekehityksessä tapahtuneisiin muutoksiin, ja päivitetään kehitystilanne ajoneuvojen ja polttoaineiden osalta.

Ajoneuvotekniikan osalta painopiste on sähkö- ja polttokennoajoneuvoissa. Vuoden 2009 jälkeen sähköautojen tarjonta on käynnistynyt toden teolla - sekä henkilöautojen että hyötyajoneuvojen osalta.

2 Muutokset viitekehityksessä ja toimintaympäristössä 2009 - 2013

2.1 Vuoden 2009 tilanne

Vuoden 2009 selvityksessä lueteltiin viitekehityksen muodostavia tekijöitä.

EU

EU:n ilmasto- ja energiapolitiikasta annettiin merkittävä lainsäädäntöpaketti huhtikuussa 2009. Tämä niin kutsuttu 20-20-20 tavoite tarkoittaa, että vuoteen 2020 mennessä tulisi EU:n energiankulutuksesta 20 % saada uusiutuvista lähteistä, EU:n kasvihuonekaasupäästöjä tulisi vähentää 20% sekä energiatehokkuutta lisätä 20 %. Suomi sai uusiutuvan energian käytön tavoitteekseen 38 % vuoteen 2020 mennessä (TEM 2013). Näissä linjauksissa ei ole tapahtunut muutoksia.

Uusiutuvan energian edistämistä koskevan ns. RES-direktiivin (2009/28/EY) mukaan 10 % liikenteen energian käytöstä tulee vuonna 2020 olla joko uusiutuvaa energiaa, biopolttoaineita, uusiutuvaa sähköä tai uusiutuvaa vetyä. Tämä on pakollinen vaatimus. Käytännössä valtaosa vaatimuksesta tullaan täyttämään biopolttoaineilla. RES-direktiivi sisältää myös kestävyyskriteerejä biopolttoaineille. Kestävyyskriteereistä käytävää keskustelua käsitellään myöhemmin tekstissä.

Polttoaineiden laatudirektiivi (2009/30/EY) sisältää rajoitteita perinteisten biokomponenttien käytölle. Direktiivi sallii 10 % (til.) etanolia bensiinissä ja 7 % (til.) perinteistä biodieseliä (FAME) dieselpolttoaineessa. Tämä molemmat vaihtoehdot antavat polttoaineen bioenergiaosuudeksi noin 6,5 %. Korkeamman korvausasteen saavuttamiseksi vaaditaan joko ns. "drop-in" polttoaineita (polttoaineita jotka eivät edellytä muutoksia jakelujärjestelmissä tai ajoneuvoissa, esimerkkinä parafiininen uusiutuva dieselpolttoaine) tai sitten erikoisajoneuvoja kuten korkeaseosetanolilla toimivia ns. flex-fuel autoja. Polttoaineiden laatudirektiiviin ei polttoainespesifikaatioiden osalta ole tullut päivityksiä, mutta biopolttoaineiden kestävyyskriteereistä käytävä keskustelu liittyy myös polttoaineen laatudirektiiviin.

Vuonna 2009 oli tiedossa myös henkilöautojen (Euro 6, asetus (EY) 715/2007) ja raskaan kaluston (Euro VI, asetukset (EY) 595/2009 ja (EU) 582/2011) uudet vuonna 2014 voimaan tulevat pakokaasumääräykset, sitova raja henkilöautojen CO₂-päästöille (asetus (EY) 443/2009) sekä direktiivi 2009/33/EY puhtaiden ja energiatehokkaiden tieliikenteen moottoriajoneuvojen edistämisestä. Sitten on päätetty myös pakettiautojen CO₂-päästörajoista (asetus (EU) 510/2011).

Suomi

Vuoden 2009 selvityksessä mainittiin valtioneuvoston vuoden 2008 selonteko pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiasta, johon myös sisältyi päästövähennystavoite liikennesektorille. Lisäksi esiteltiin liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) hallinnonalan ilmastopoliittinen ohjelma 2009–2020 (ILPO) vuodelta 2009. ILPO:ssa lueteltiin seuraavat päätavoitteet (ILPO 2009):

- Tavoitteena on aikaansaada merkittäviä päästövähennyksiä kaikessa elinkeinoelämässä, hallinnossa ja kansalaisten arjessa liikenne- ja viestintäpolitiikkaa kehittämällä.
- Liikenteen päästöjä leikataan biopolttoaineiden käytön (10 %) lisäksi 2,8 miljoonalla tonnilla vuoden 2020 arvioituun päästötasoon verrattuna.
- Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonala sopeutuu ilmastonmuutokseen liikenne- ja viestintäinfrastruktuurin rakentamisessa, hoidossa ja ylläpidossa siten, että liikenteen ja viestinnän palvelutaso säilyy ilmastonmuutoksen oloissa.

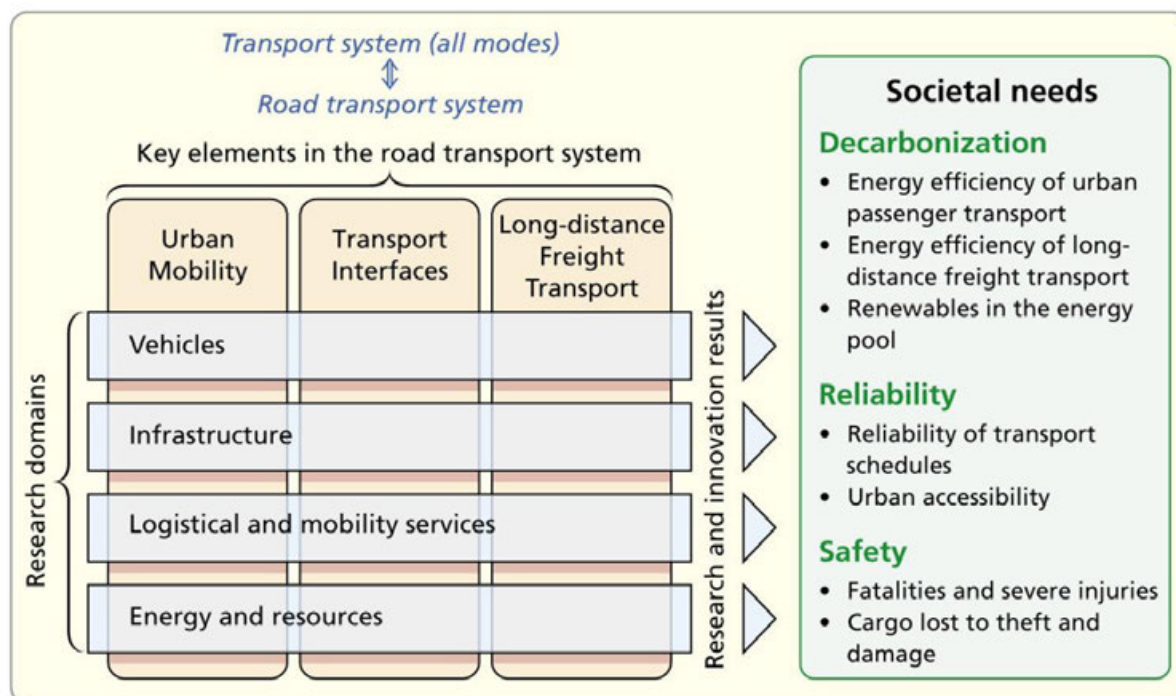
ILPO:ssa asetetut tavoitteet ovat edelleen voimassa. Kehityksestä raportoidaan vuosittain, ja uusin ILPO seurantaraportti on joulukuulta 2012 (ILPO 2012).

2.2 Vuoden 2013 päivitys

Menneinä vuosina liikennesektorin päätöksentekojärjestelmissä kokonaisvaltainen näkemys muutoksen suuntaamisesta kohti älykästä ja vähähiilistä tulevaisuutta on heikko. Liikennejärjestelmän osa-alueita, kuten esimerkiksi biopolttoaineita, ajoneuvoja tai älykkäitä palveluja on tarkasteltu ja kehitetty yksittäisinä, ei osana koko liikennejärjestelmän kokonaisuutta. Strategisessa suunnittelussa ei myöskään ole otettu riittävästi huomioon toimintaympäristön kompleksisuutta, dynamiikkaa ja nopeaa muutosta, eikä takaisinkytkentöjä. Nämä puutteet on sittemmin tunnistettu myös Liikennepoliittisessa selonteossa (LVM 2012) sekä Euroopan komission liikenteen valkoisessa kirjassa (White Paper 2011). "Transport as a service" (liikenne on palvelua) ajattelutapa on vahvistunut, eli ollaan siirtymässä tarvelähtöiseen ajatteluun sen sijaan että keskitytään infrastruktuuriin ja ajoneuvoihin.

Kuvassa 1 on esitetty tieliikennejärjestelmän keskeisimmät elementit ja keskeiset haasteet (mm. hiilidioksidipäästöjen vähentäminen, energiatehokkuus, uusiutuvan energian hyödyntäminen, jär-

jestelmän toimintavarmuus ja turvallisuus jne.). Tässäkin kuvassa järjestelmän fyysisten elementtien lisäksi (energia, infrastruktuuri, ajoneuvot) palvelut nostetaan selvästi esille, samaten eri liikku- mis- ja kuljetusmuotojen liittymäkohdat (interfaces). (ERTRAC 2011)



Kuva 1. Tieliikennejärjestelmän keskeiset elementit ja haasteet. (ERTRAC 2011)

EU

Liikenteen vuoden 2011 valkoisessa kirjassa on kymmenkohtainen toimenpideluettelo 60 % päästövähennämisen saavuttamiseksi kasvihuonekaasupäästöissä vuoteen 2050 mennessä. Toimenpiteet on ryhmitelty kolmeen pääluokkaan, jotka ovat: 1) puhtaiden energiamuotojen käyttöön- otto, 2) logistiikkaketjujen optimointi ja 3) tietojärjestelmien hyödyntäminen (taulukko 1).

Euroopan komissio julkisti heinäkuussa **2012 tiedonannon älykkäiden kaupunkien ja yhteisöjen eurooppalaisesta ohjatusta yhteistyöstä** (Smart cities and communities – European Innovation Partnership, SCC 2012). Se kiteyttää tarpeet luoda liikennejärjestelmän, tieto- ja viestintäteknologi- an (ICT) sekä energiankäytön yhteistyölle kehittämisympäristö, joka edistää kestävämpiä kaupunki- rakenteita ja tukee samalla myös nousua tämän hetkisestä taloudellisesta kriisistä. Huomio on perusteltua keskittää erityistä kaupunkien liikennejärjestelmiin, sillä EU:n väestöstä jo 68 % asuu kaupunkiseuduilla.

Komissio julkaisi loppuvuodesta kaksi tärkeää ehdotusta direktiiveistä, toinen koskien biopolttoai- neiden kestävyttä ja toinen koskien liikenteen vaihtoehtoisten energioiden infrastruktuuria. Kum- mankin aloitteen käsittely on vielä kesken marraskuussa 2013.

Taulukko 1. EU:n liikenteen valkoisen kirjan toimenpideluettelo. (White Paper 2011)

Uusien ja kestävien polttoaineiden ja käyttövoimajärjestelmien kehittäminen ja käyttöönotto

- Tavanomaisia polttoaineita käyttävien autojen käyttö puolitetaan kaupunkiliikenteessä vuoteen 2030 mennessä; ne poistetaan kaupungeista asteittain vuoteen 2050 mennessä; suurissa kaupunkikeskuksissa saadaan vuoteen 2030 mennessä aikaan pohjimmiltaan hiilidioksidivapaa kaupunkilogistiikka.
- Ilmailussa käytettävien vähähiilisten kestävien polttoaineiden osuus on vuoteen 2050 mennessä 40 prosenttia; EU:n meriliikenteessä käytettävien polttoaineiden hiilidioksidipäästöjä vähennetään niin ikään vuoteen 2050 mennessä 40 prosenttia

Multimodaalisten logistiikkaketjujen suorituskyvyn optimointi esimerkiksi hyödyntämällä energiatehokkaampia muotoja entistä laajemmin

- Yli 300 km:n pituisista maanteiden tavarankuljetuksista siirretään tehokkaiden ja ympäristöystävällisten rahtikäytävien avustuksella muihin liikennemuotoihin, kuten rautatie- tai vesiliikenteeseen, 30 prosenttia vuoteen 2030 mennessä ja yli 50 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Tämän tavoitteen saavuttaminen edellyttää myös tarvittavan infrastruktuurin kehittämistä.

Liikenteen ja infrastruktuurin käytön tehokkuuden lisääminen tietojärjestelmien ja markkinaehtoisten kannustimien avulla

- Euroopassa otetaan vuoteen 2020 mennessä käyttöön uudenaikaistettu ilmailiikenteen hallinnan infrastruktuuri. Otetaan käyttöön vastaavia hallintajärjestelmiä maaja vesiliikenteessä. Otetaan käyttöön EU:n kehittämä maailmanlaajuinen satelliitinavigointijärjestelmä (GALILEO).
- Vuoteen 2020 mennessä luodaan puitteet Euroopan multimodaaliliikenteen tiedonvaihto-, hallinto- ja maksujärjestelmälle.
- Aletaan soveltaa täysimääräisesti "käyttäjä maksaa" ja "saastuttaja maksaa" -periaatteita, ja lisätään yksityisen sektorin sitoutumista vääristymien poistamiseksi, haitalliset tuet mukaan luettuina, tulojen hankkimiseksi ja rahoituksen varmistamiseksi tulevaisuuden liikenneinvestointeihin.

Muutosehdotus koskien RES-direktiiviä ja polttoaineiden laatudirektiiviä ((COM (2012) 595 final) **biopolttoaineiden kestävyyskriteerien osalta** julkaistiin lokakuussa 2012. Taustalla on huoli biopolttoaineiden tuotannon aiheuttamista epäsuorista maankäytön vaikutuksista (indirect land use change= ILUC), ja siitä että biopolttoaineet aiheuttavat arvioitua enemmän kasvihuonekaasupäästöjä. Ehdotuksessa todetaan seuraavasti:

"Tutkimukset osoittavat, että epäsuorasta maankäytön muutoksesta aiheutuvat päästöt voivat vaihdella huomattavasti eri raaka-aineilla ja voivat kumota joko kokonaan tai osittain yksittäisten biopolttoaineiden kasvihuonekaasusäästöt suhteessa fossiilisiin polttoaineisiin, jotka niillä korvataan. Tämän ehdotuksen tarkoituksena on käynnistää siirtyminen biopolttoaineisiin, jotka tuottavat huomattavia kasvihuonekaasusäästöjä silloin, kun myös epäsuorasta maankäytön muutoksesta johtuvat arvioidut päästöt raportoidaan."

Ehdotuksen ydinkohdat ovat (Vänskä 2013):

- ruokapohjaisten (vilja-, sokeri- ja öljykasvit) biopolttoaineiden käyttöä rajoitetaan nykytasolle eli enintään 5 %:iin liikenteen uusiutuvan energian tavoitteesta
- tuetaan kehittyneiden biopolttoaineiden käyttöönottoa, joihin ei liity maankäytön muutosta
- jäte, tähde, levä lasketaan nelinkertaisena
- käytetty ruokaöljy, eläinrasva, non-food selluloosa ja lignoselluloosa lasketaan kaksinkertaisena
- ei-biologista alkuperää olevat uusiutuvat polttoaineet nelinkertaisena
- raaka-aineet listataan kategorisesti direktiivin liitteessä.

Komission muutosehdotus on oikean suuntainen, koska esitys koska pyrkii rajoittamaan ruoantuotannon kanssa kilpailevien raaka-aineiden käyttöä. Tämä tukee suomalaisten yritysten jäte- ja puupohjaisiin polttoaineisiin tekemiä investointeja. Huolenaiheena on kuitenkin, että esitys on vesittynyt Parlamentin ja Neuvoston käsittelyissä. Tämän hetkinen kompromissi on 7 % energiaosuus ruokapohjaisista raaka-aineista, likimain vastaten polttoaineen laatudirektiivin rajoituksia etanolin ja perinteisen biodieselin käytölle, ja tämän lisäksi kunnianhimoton 1 %:n minivaatimus kehittyneille biopolttoaineille. Lisäksi on keskusteltu tähteen määritelmistä ja metsäraaka-aineen käytön rajoittamisesta, jolloin muutokset vaikuttaisivat erittäin haitallisesti suomalaisten toimijoiden biopolttoainesuunnitelmiin. Nyt näyttää siltä että jätteiden ja tähteen käyttö tulee aikaisempaa vaikeammaksi, vaikka komission alkuperäinen tarkoitus oli aivan toinen. Oletettavissa on, että lopulliset päätökset siirtyvät kevään 2014 parlamenttivaalien jälkeiseen aikaan. (Vänskä 2013).

Komissio julkaisi tammikuussa 2013 sekä tiedonannon ”Puhdasta energiaa liikenteen alalla: eu-rooppalainen vaihtoehtoisten polttoaineiden strategia” (COM (2013) 17 final) että aiheeseen liittyvän direktiiviehdotuksen ((COM (2013) 18 final) vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta.

Strategiadokumentissa todetaan:

”Öljyriippuvuudesta Euroopan taloudelle aiheutuvat vaikutukset ovat liian suuret, jotta ne voitaisiin jättää huomiotta – unionin on toimittava asian ratkaisemiseksi. Liikennealan strategia, jolla vähitellen korvattaisiin öljy vaihtoehtoisilla polttoaineilla ja rakennettaisiin tarvittava infrastruktuuri, voisi tuoda öljyn tuontikustannuksiin 4,2 miljardin euron vuotuiset säästöt vuonna 2020, vuotuiset säästöt voisivat nousta 9,3 miljardiin euroon vuonna 2030, ja lisäksi voitaisiin vielä saada 1 miljardin euron säästöt vuosittain, kun hinnannousut heikentyisivät.”

Infrastruktuuridirektiiviehdotuksen mukaan vaihtoehtoisia polttoaineita ovat:

- sähkö
- vety
- biopolttoaineet, siten kuin ne on määritelty Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivissä 2009/28/EY
- synteettiset polttoaineet
- maakaasu, mukaan lukien biometaani kaasumaisessa muodossa (paineistettu maakaasu – CNG) ja nesteytetyssä muodossa (nesteytetty maakaasu – LNG)
- nestekaasu (LPG).

Direktiiviehdotuksen ideana on varmistaa, että Eurooppaan syntyy riittävän laaja vaihtoehtoisten polttoaineiden (energioiden) jakeluverkosto vuoteen 2020 mennessä. LPG:n osalta todetaan, että Euroopassa on jo nyt kattava jakeluverkko (27.500 tankkauspistettä).

Sähkön osalta on määritelty kansalliset minimitalvoitteet latauspisteiden lukumäärästä. Muiden vaihtoehtojen osalta vaatimus on esitetty tankkauspaiikkojen välisenä maksimietäisyytenä (tammi-kuun 2013 ehdotus).

LNG:tä ollaan tuomassa sekä laivaliikenteeseen että raskaaseen ajoneuvokalustoon. Tieliikenteen osalta todetaan:

"Jäsenvaltioiden on tehtävä yhteistyötä varmistaakseen, että nesteytetyllä maakaasulla kulkevat raskaat moottoriajoneuvot voivat liikkua kaikkialla TEN-T-runkoverkon maanteillä. Tätä varten on rakennettava julkisia nesteytetyn maakaasun tankkauspisteitä, joiden välimatka on enintään 400 kilometriä, 31 päivään joulukuuta 2020 mennessä."

Syksyllä 2013 on käynnissä neuvottelut direktiiviehdotuksen tarkennuksista. Suomesta neuvotte-luihin osallistuu LVM. Taulukkoon 2 on koottu tavoiteluvut tammikuun 2013 dokumentista ja loka-kuussa 2013 julkaistusta työversiosta (2013/0012 (COD)). Vaikuttaa siltä, että ehdotus on lieven-tyssä merkittävästi, tavoitevuodeksi esitetään nyt 2030, ja lukumäärälliset tavoitteet ovat pois-tumassa sähköautojen julkisia latauspisteitä lukuun ottamatta.

Suomessa valmiudet sähköautojen käyttöönottoon ovat hyvät. Valtakunnallisen latausoperaattori-yhtiön toiminta käynnistyy vuoden 2014 alussa. Operaattori mahdollistaa jatkossa helpon tavan ladata sähköautoaan riippumatta minkä energiayhtiön asiakas on – samaan tapaan kuin Otto-automaatit tarjoavat pankkisektorilla rahannostopalvelun kaikille korteille. Aiesopimuksen operaat-toriyhtiön perustamisesta oli syyskuun puoliväliin mennessä allekirjoittanut 15 energiayhtiötä eri puolilta Suomea. (Teknologiateollisuus 2013)

Taulukko 2. Infrastruktuuridirektiiviehdotuksen tavoiteluvut.

	Tammikuu 2013, tavoitteet vuodelle 2020	Lokakuu 2013, ta- voitteet vuodelle 2030
Sähköautojen latauspisteet (kpl)	71.000	-
Julkisen sähköautojen latauspisteet (kpl)	7.000	3.500
Jakelupisteiden välimatka maks. (km)		
Vety	300	"sopiva määrä"
LNG	400	"sopiva määrä"
CNG	150	"sopiva määrä"

Pakettiautojen CO₂-päästörajoista säädetään EU:n asetuksella (510/2011). Tavoitetaso (johon sovelletaan painokorjausta kokonaispainon referenssin ollessa 1706 kg) on 175 g CO₂/km.

Henkilöautojen CO₂-päästöjä koskevassa asetuksessa (EY, 443/2009) annettiin alusta 95 g/km tavoite vuodelle 2020. Asiasta ei vielä ole tehty päätöstä, ja mm. Saksan autoteollisuus on vaatinut voimaantulon myöhästyttämistä.

Japanissa on ollut voimassa raskaan kaluston päästörajat vuodesta 2006 alkaen ja USA:ssa vuodesta 2011. Komissio valmistelee paraikaa strategiaa henkilö- ja tavaraliikenteen raskaiden ajoneuvojen CO₂-päästöjen vähentämiseksi. Osana tätä prosessia Komissio on teettänyt joukon tutkimuksia raskaan kaluston CO₂-päästöjen määrittämismenetelmistä (EC heavy vehicles 2013).

Suomi

Suomen osalta vuoden 2009 jälkeen on tehty useita tieliikenteeseen vaikuttavia linjauksia. Näitä ovat mm.:

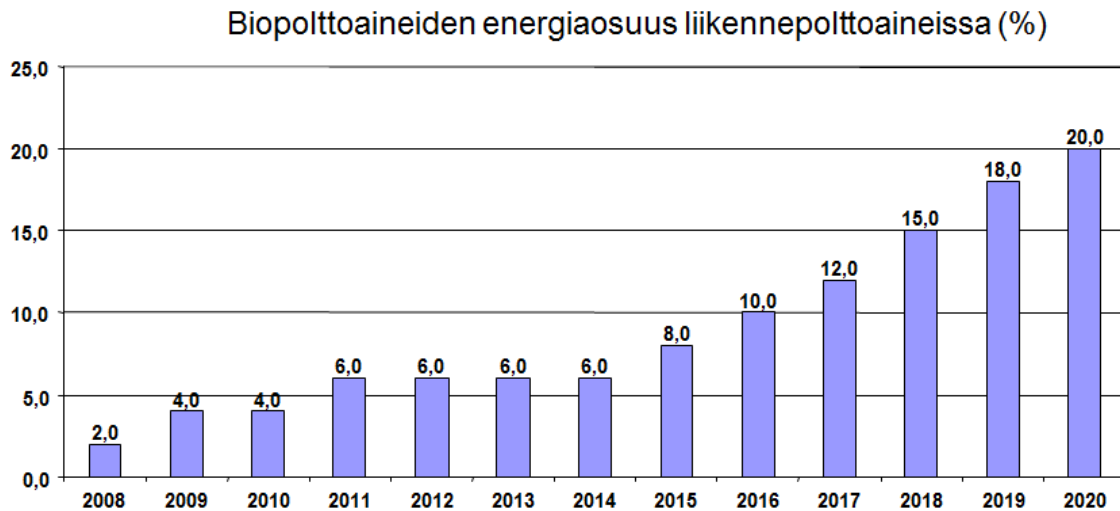
- Biopolttoaineiden jakeluvelvoitelaki (2010)
- Polttoaineverojärjestelmän uudistus (2010)
- Kansallinen älyliikenteen strategia (2011)
- Sähköautot ilmasto- ja liikennepolitiikan näkökulmasta (2011)
- Sähköisten ajoneuvojen järjestelmät –ohjelma EVE (2011-)
- Liikennepoliittinen selonteko (2012)
- Työ- ja elinkeinoministeriön aloite Puhdas energia –ohjelmasta (2012)
- Energia- ja ilmastostrategian päivitys (2013)
- Liikenne- ja viestintäministeriön ”Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä” –työryhmä (2012-2013)
- Liikenteen osaamis- ja innovaatioverkoston (Fintrip) käynnistäminen (2013)
- Tekesin Fiksu kaupunki –ohjelma (2013-)
- Työ- ja elinkeinoministeriön ”Innovatiiviset kaupungit” (INKA) –ohjelma (2013-)
- Toisen sukupolven älystrategia liikenteelle (2013).

Panostus **kehittyneisiin biopolttoaineisiin** näkyy selvästi eri ohjelmissa ja päätöksissä (mm. biopolttoaineiden jakeluvelvoite, polttoainevero, puhdas energia –ohjelma, energia- ja ilmastostrategian päivitys).

Biopolttoaineiden jakeluvelvoitelakia muutettiin vuonna 2010 (laki 1420/2010). Uudistettu laki on varsin kunnianhimoinen. Bio-osuus on 6 % vuosina 2011 – 2014, kasvaen tämän jälkeen lineaarisesti 20 %:iin vuonna 2020 (kuva 2).

Lain perusteluissa (HE 197/2010 vp) todetaan seuraavaa:

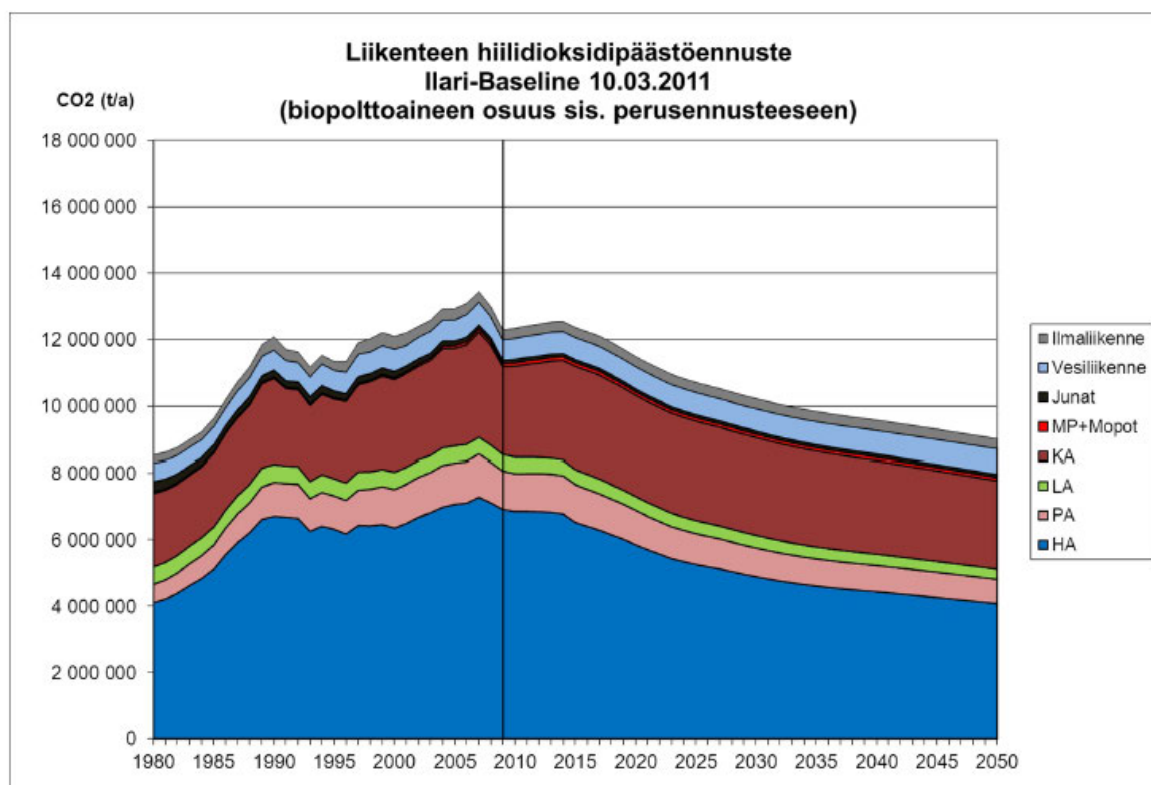
”Korkealla, EU:n vaatimukset ylittävällä velvoitetasolla halutaan erityisesti kannustaa investointeja toisen sukupolven teknologioihin, jotka hyödyntävät tuplalaskennan piirissä olevia kotimaisia raaka-ainelähteitä. Esityksen keskeisenä tavoitteena on myös jakeluvelvoitteen porrastaminen niin, että liikenteen biopolttoaineita koskeva tavoite saavutetaan mahdollisimman kustannustehokkaasti. Jakelijoiden tulee voida valita kustannuksiltaan edullisimmat tavat täyttää velvoitteensa. Jakeluvelvoitteen kokonaiskustannuksiin vaikuttaa olennaisesti velvoitetason vuotuinen kehitys.”



*Kuva 2. Biopolttoaineiden jakeluvuittelain (1420/2010) edellyttämät biopolttoaineosuudet. (Saari-
nen 2013)*

Myös ILPO-ohjelman päästöennusteita korjattiin 2011 vastaamaan uudistettua biopolttoaineiden jakeluvuittelakia. ILPO-ohjelman perusennusteessa vuonna 2009 oletettiin, että liikenteen biopolttoaineiden osuus kaikesta liikenteessä kulutetusta polttoaineesta olisi vuodesta 2020 lähtien noin kymmenen prosenttia tuolloin voimassa olleen lainsäädännön mukaisesti. Vuoden 2009 ”baseline” skenaarion mukaan liikenteen CO₂-päästöt olisivat jatkaneet kasvuaan vuoteen 2050 men-
täessä vuoden 2050 luvun ollessa noin 15 Mt.

Uudessa ennusteessa oletuksena on, että biopolttoaineiden osuus kaikesta myytävästä liikenteen polttoaineesta olisi 20 % vuonna 2020. Tästä 10 % olisi ns. ensimmäisen sukupolven biopoltto-
ainetta ja 5 % ns. tuplalaskettavaa toisen sukupolven biopolttoainetta. Biopolttoaineet korvaavat
uudessa perusennusteessa näin ollen tieliikenteen fossiilisia polttoaineita noin 15 %:n verran (ja
laskevat liikenteen päästöjä saman verran). Samassa yhteydessä perusennusteeseen korjattiin
myös uusien henkilöautojen energiatehokkuuden parantuminen vastaamaan EU:ssa asetettuja
uusien henkilöautojen sitovia raja-arvoja (ILPO 2012). Uusi liikenteen hiilidioksidipäästöjen perus-
ennuste on kuvassa 3, ja uuden ennusteen mukaan liikenteen CO₂-päästöt ovat enää noin 9 Mt
vuonna 2050.

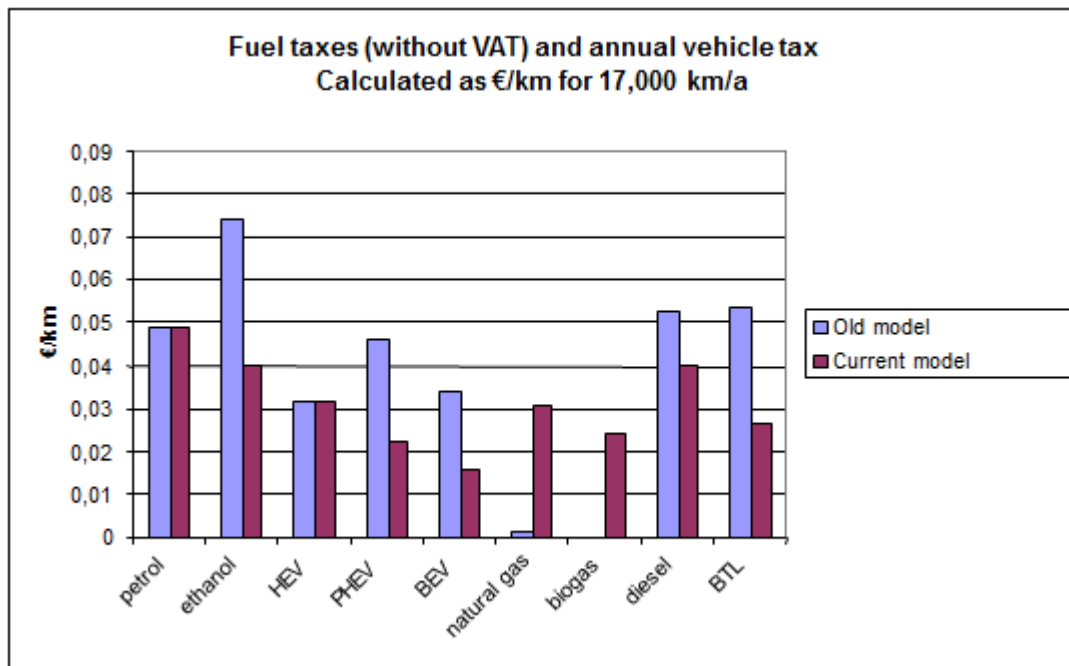


Kuva 3. Liikenteen hiilidioksidipäästöjen uusi perusennuste. (ILPO 2012)

Vuoden 2011 alusta voimaan astunut **polttoaineverouudistus** (1399/2010) perustuu kahteen pääkomponenttiin, energiasisältöveroon ja hiilidioksidiveroon. Lisäksi tietyt polttoaineet (esim. parafiininen dieselpolttoaine) saavat alennusta energiasisältöverosta vähentyneiden lähipäästöjen ansiosta. Verouudistus vaikutti selvimmin parhaimpien biopolttoaineiden verotukseen. Aiempi kiinteä litramääräinen vero oli etanolille epäedullinen, koska litramääräinen etanolin lämpöarvo on vain noin 65 %:n luokkaa bensiinin arvosta. Biopolttoaineet, jotka täyttävät RES-direktiivin tuplalaskentasaännön on kokonaan vapautettu hiilidioksidiverosta. Vuoden 2013 verotaulukon mukaan bensiinin vero on 0,65 €/l, ja tuplalaskettavan etanolin 0,34 €/l. Vastaavasti dieselin polttoainevero on 0,47 €/l ja tuplalaskettavan parafiinisen dieselpolttoaineen vero 0,28 €/l. Biopolttoaineita sopivasti tukeva verotus on yksi edellytys sille, että biopolttoaineet todella saadaan käyttöön.

Osittain verouudistuksen, osittain teknisen kehitystyön ansiosta Suomessa on tuotu markkinoille ns. flex-fuel autojen korkeaseosteinen E85 polttoaine. Tätä polttoainetta on nyt saatavilla noin 80 jakeluasemalta ympäri maata (www.st1.fi, www.abcasemat.fi).

Aikaisemmin maakaasun liikennekäyttöä verotettiin erittäin kevyesti. Maakaasun energiaveroja on korotettu, ja lisäksi metaanikäyttöisiltä henkilöautoilta peritään nyt käyttövoimavero. Sähköautojen osalta käyttövoimaveroa alennettiin merkittävästi. Poliittisten päätöksen perusteella biokaasusta ei edelleenkään peritä energiaveroja, ainoa vero tulee metaanikäyttöisten henkilöautojen käyttövoimaveron kautta. Biokaasua käyttävä bussi ei maksa mitään energiaveroja. Kuva 4 näyttää miten uusi verojärjestelmä kohtelee eri henkilöautojen käyttövoimavaihtoehtoja.



Kuva 4. Polttoaineveron ja käyttövoimaveron yhteissumma kilometriä kohden henkilöautojen eri käyttövoimavaihtoehtoille. (Parkkonen 2013)

Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) ”Puhdas energia” –ohjelmalla tavoitellaan: 1) vaihtotaseen tukemista tuontienergiaa vähentämällä, 2) työpaikkojen luomista ja 3) päästöjen vähentämistä. Öljyn kulutusta halutaan vähentää 25 % vuoteen 2025 mennessä. Keinoja ovat (TEM 2012):

- Lisätään panostusta kotimaisten biopolttoaineiden kehityshankkeisiin
- Tuetaan uuden moottoritekniikan käyttöönottoa: infrastruktuuri sähköautoilulle, kannustimet auton ostajalle.

Liikenneministeri Anu Vehviläinen teetti vuonna 2011 selvityksen ”**Sähköautojen tulevaisuus Suomessa**”. Sähköautot liikenne- ja ilmastopolitiikan näkökulmasta”. Selvityksen tiivistelmässä todetaan mm. (Nylund 2011):

*”Sähköautojen todellinen tuleminen on mitä todennäköisimmin alkanut. Kehitys on aluksi hidasta, eikä sähköautoista vielä ole apua vuoden 2020 energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamiseen. Toisaalta niitä ei myöskään tarvita näiden tavoitteiden saavuttamiseksi. Tilanne muuttunee merkittävästi vuoteen 2030 ja varsinkin vuoteen 2050 mentäessä. **Sähköauto ei tule ratkaisemaan henkilöautoliikenteen perusongelmia, suuritteiden ja ruuhkautumisen lisääntymistä. Mahdolliset sähköautojen edistämiseen tähtäävät kannustimet eivät saa olla ristiriidassa joukko-liikenteen kehittämisen tavoitteiden kanssa.***

Sähköautojen tulemiseen on syytä alkaa varautua jo nyt mm. huomioimalla sähköautojen lataus rakentamismääräyksissä. Sähköautojen käytön tasapuolinen mahdollistaminen tulee edellyttämään myös julkisen latausverkoston rakentamista. Liikennepolitiikan ja kustannustehokkuuden näkökulmista Suomessa ei ole perusteltua välittömästi pyrkiä sähköautojen lukumäärän maksimoimiseen. Ainakin sähköautojen hinnan oletetaan laskevan varsin nopeasti, ja myös suorituskyyvyn parantumisesta on toiveita.”

Selvityksessä todetaan myös että jos kaikki Suomen henkilöautot (2,5 miljoonaa) olisivat sähkökäyttöisiä, niiden käyttämä energiamäärä olisi vain noin 11 % vuoden 2010 sähkön kulutuksesta.

Päivitettyssä **energia- ja ilmastostrategiassa** liikenne ei näy otsikkotasolla. Liikenteeseen liittyviä kysymyksiä on kuitenkin käsitelty laajasti dokumentin eri osissa, esim. (Energia- ja ilmastostrategia 2013):

- *Uusiutuvien energiamuotojen ohjauskeinojen jatkuessa 2020-luvulla, on pyrittävä tukijärjestelmiä ohjaavan lainsäädännön harmonisointiin EU-tasolla sekä paranevaan kustannustehokkuuteen.*
- *Arvioidaan pikaisesti mahdollisuudet edistää nykyistä voimakkaammin maantieliikenteen energiatehokkuuden paranemista, mukaan lukien **liikenteen energiatuki joukkoliikenteen ja tavarankuljetusten energiatehokkuuden parantamiseksi** ja kuljetuspalveluiden kustannusten nousun hillitsemiseksi, **sekä kannusteet nykyistä energiatehokkaampien autojen hankintaan.***
- *Varmistetaan kansallisen älyliikennestrategian toteutuminen eri liikennemuodoissa koko liikennejärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseksi.*
- *Tavoitellaan mineraaliöljyn käytön vähentämistä noin 20 %:lla. Pääosa vähennyksestä tulisi tieliikenteestä ja loppu öljylämmityksen korvaamisesta. Lisätään panostusta kotimaisten biopolttoaineiden kehityshankkeisiin. Tuetaan uuden moottoritekniikan käyttöönottoa sekä luodaan infrastruktuuria ja kannusteita vähäpäästöisten autojen ostajille.*
- *Liikenteen uudet toimenpiteet liittyvät ammattiliikenteen ja koko liikennejärjestelmän energiatehokkuuden parantamiseen, **liikenteen ja maankäytön yhteensovittamiseen sekä kävelyn, pyöräilyn ja joukkoliikenteen edistämiseen.** Energiatehokkuustoimenpiteillä tavoitellaan vähintään 0,3 MtCO₂ ylimääräistä päästövähennystä vuoteen 2020 mennessä, ja samansuuruisia vähennystä tavoitellaan kulkutapavalintoihin vaikuttamisella*
- *Liikenteen osuus päästökaupan ulkopuolisen sektorin päästöistä on merkittävä, noin 40 %. **Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää huomattavasti joukkoliikennettä, kävelyä ja pyöräilyä edistämällä.** Näiden liikennemuotojen edistäminen kaupunkiseuduilla vähentää myös liikenteen muita ympäristöhaittoja, edesauttaa liikenteen sujuvuutta ja parantaa liikenneturvallisuutta. **Pitemmällä aikavälillä kulkutapavalintoihin ja sitä kautta liikennesuoritteisiin vaikuttaminen tulee välttämättömäksi liikenteen päästövähennystavoitteisiin pääsemiseksi.***
- *Joukkoliikenteen houkuttelevuuteen vaikuttaa keskeisesti joukkoliikenteen palvelutaso. Matkaketjun tulee toimia ovelta ovelle ja esimerkiksi liityntäpysäköintimahdollisuuksista on huolehdittava. Joukkoliikenteen käyttöä tukevat sujuvat pyöräilyolosuhteet sekä viihtyisä ja turvallinen kävely-ympäristö. Jalankulun ja pyöräilyn asema liikennejärjestelmäprosessissa vaatii vahvistamista ja valtavirtaistamista. Pyöräilyn potentiaali nimenomaan lyhyiden henkilöautomatkojen korvaajana on merkittävä.*
- ***Joukkoliikenteestä luodaan yhtenäinen palvelukokonaisuus, joka sisältää käyttäjäystävällisen, yhteen toimivan maksu- ja informaatiojärjestelmän.** Selvitetään joukkoliikenteen rahoituksen tarkoituksenmukaista kohdistamista lisäämään järjestelmän tehokkuutta ja kannustavuutta.*

Useat energia- ja ilmastostrategian kirjaukset sopivat itse asiassa suoraan käytettäväksi ohjenuorana HLJ 2015 -valmistelutyössä.

LVM:n ”**Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä**” –työryhmän raportissa tarkasteltiin liikenteen käyttövoimavaihtoehtoa aina vuoteen 2050 asti. Tiivistelmässä todetaan tieliikenteen osalta mm. (Käyttövoimat 2013):

”Työryhmä esittää, että vuoden 2050 tavoitetilassa henkilöautoliikenne on lähes täysin riippumaton öljystä. Raskaassa liikenteessä nestemäisten ja kaasumaisten biopolttoaineiden osuus vuonna 2050 olisi vähintään 70 %. Sähkön osuuden kaupunkien bussi- ja jakeluliikenteessä tulisi olla samaa luokkaa. Henkilöautoilua koskevan tavoitetilan saavuttamiseksi työryhmä esittää välitavoitteenä, että kaikki uudet rekisteröitävät henkilöautot vuonna 2030 olisivat vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöön soveltuvia. Lisäksi energiatehokkuuden tulee parantua lähes kaksinkertaiseksi vuoden 2013 tasosta.”

LVM:n vuoden 2013 ”Toisen sukupolven **älystrategia liikenteelle**” –julkaisussa todetaan (LVM 2013):

”Liikenne sinänsä ei ole itseisarvo, vaan se on mahdollistaja, jolla ihmiset, yritykset ja yhteiskunnat saavuttavat omat tavoitteensa. Uusi liikennepolitiikka on näiden tavoitteiden saavuttamista monipuolisin keinoin. Tieto- ja viestintäteknologia on keino, jonka merkitys ihmisten arjessa ja tulevaisuuden liikennetarkoituksissa tulee varmasti kasvamaan. Toisen sukupolven älystrategia liikenteelle jatkaa älyliikenteen integroimista osaksi kaikkia liikennemuotoja ja oleelliseksi osaksi liikennejärjestelmän asiakaslähtöistä operointia ja suomalaista uutta liikennepolitiikkaa.”

Toisen sukupolven strategian pääteemoina ovat:

- asiakaslähtöinen liikkumisen, kuljetusten ja tietopalvelujen palvelutason parantaminen
- uuden liikennepolitiikan toimeenpanon edistäminen
- EU:n liikenteen valkoisen kirjan ja älyliikenteen direktiivin linjaamien tavoitteiden saavuttaminen
- tieto- ja viestintäteknologian nopean kehittymisen tarjoamien mahdollisuuksien hyödyntäminen.

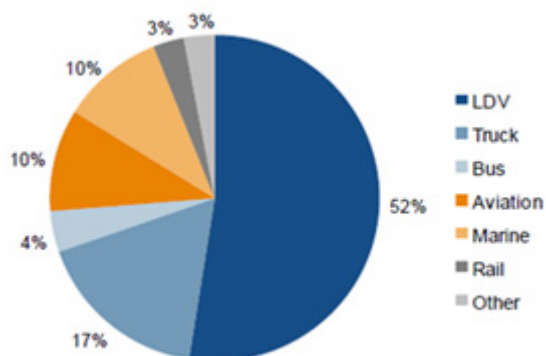
Liikenteellisten tavoitteiden lisäksi älyliikenteen edistämiseen kannustavat mahdollisuudet älyliikenteen kasvavilla markkinoilla. Älyliikenteen toimiala on yksi voimakkaimmin kasvavista toimialoista. Älyliikennepalvelujen kysynnän kasvun taustalla ovat kasvihuonekaasupäästöjen lisääntyminen, yksityisautoilun jatkuva kasvu sekä kaupungistumisen mukanaan tuomat ongelmat. (LVM 2013)

Älyliikenne ja älykkäät liikennepalvelut sisältyvät tärkeinä elementteinä myös Tekesin Fiksu kaupunki –ohjelmaan (<http://www.tekes.fi/ohjelmat-ja-palvelut/ohjelmat-ja-verkostot/fiksu-kaupunki/>, 2013-) ja TEM:in ”Innovatiiviset kaupungit” (INKA) –ohjelmaan (<http://www.tem.fi/inka>, 2013-). Älykäs ja kestävä liikkuminen on myös LVM:n käynnistämän liikenteen osaamis- ja innovaatioverkoston Fintrip:in (Finnish Transport Research and Innovation Partnership) yksi kärkiteema.

3 Yleistä liikenteen energiasta (maailman taso)

3.1 Nykytilanne

Liikenteen osuus maailman kokonaisenergian kulutuksesta on noin 25 %, mikä öljykvivalenttina on noin 2.300 Mtoe. Tieliikenteen osuus on noin 1.700 Mtoe, eli luokkaa 75 %. Kuvassa 5 on eri liikennemuotojen osuudet energiankäytöstä. Suurin segmentti on henkilö- ja pakettiautot 52 %:n osuudella, kuorma-autojen osuus on 17 %.

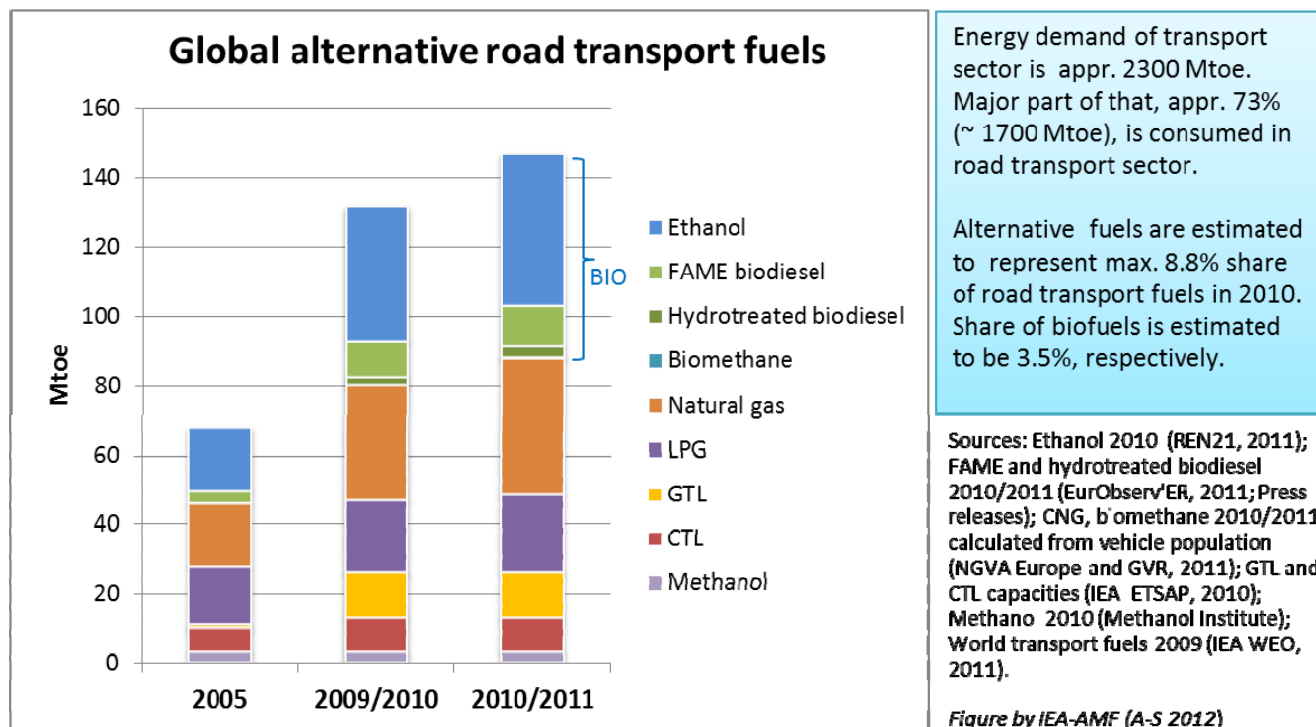


Kuva 5. Eri liikennemuotojen energiankulutusosuudet. (WEF 2011)

Vuonna 2010 vaihtoehtoisten polttoaineiden yhteenlaskettu osuus oli 8,8 %, ja biopolttoaineiden osuus oli noin 3,5 % (kuva 6). Suurimmat yksittäiset vaihtoehtoiset polttoaineet olivat etanoli, maakaasu ja nestekaasu. (AMF 2012)

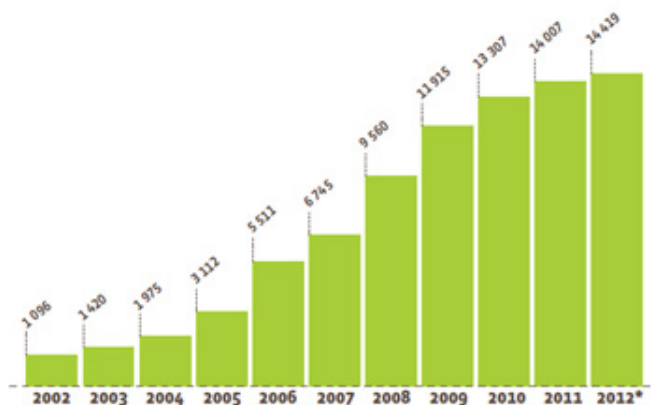
Euroopan osalta biopolttoaineita koskevat luvut päivitetään vuosittain. Vuonna 2012 Euroopassa käytettiin noin 14,5 Mtoe biopolttoaineita (kuva 7), ja niiden osuus tieliikenteen energiasta oli noin 5 %. Kuvasta 3 nähdään, että kehitys on hidastunut, ja myös se, että biodiesel dominoi Euroopan biopolttoainemarkkinoita noin 80 %:n osuudella. Maailman tasolla etanoli on selvästi suurempi kuin biodiesel (kuva 6).

Vuonna 2008 koetun öljyn hintapiikin jälkeen öljyn hintakehitys on hieman tasaantunut (kuva 8), osittain taloudellisen laman vaikutuksesta. Yhdysvalloissa maakaasun hinta on lähtenyt voimakkaaseen laskuun. Maakaasun hintapudotuksen takana on ns. liuskekaasu (shale gas). Perinteisessä öljyn ja kaasun tuotannossa porausreiät tehdään pystysuunnassa. Nyt on kehitetty uusi tekniikka, joka mahdollistaa poraamisen vaakasuunnassa, jolloin todennäköisyys sille että osutaan öljy- tai kaasutaskuihin, kasvaa merkittävästi. Vaakasuuntainen poraus yhdistettynä maakerrosten rikkomiseen ns. fracking-tekniikalla (hydraulic fracturing, kuva 9) on lisännyt varsinkin maakaasun tuotantoa merkittävästi. USA:n on ennustettu saavuttavan energiaomavaraisuuden noin vuoteen 2030 mennessä (USNews 2013). Lisääntynyt maakaasun tuotanto ei kuitenkaan ole vaikuttanut maakaasun hintoihin muilla markkinoilla.



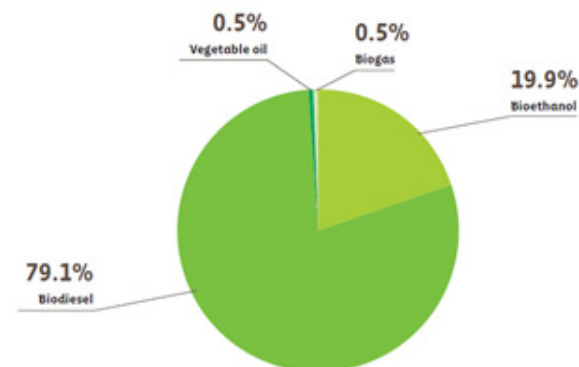
Kuva 6. Tieliikenteen vaihtoehtoiset polttoaineet. (AMF 2012)

Trends in biofuel consumption used in transport across the European Union of 27 (ktoe)



*Estimate Sources: 2002-2010 data (Eurostat 2012), 2011-2012 data (EurObserv'ER 2012).

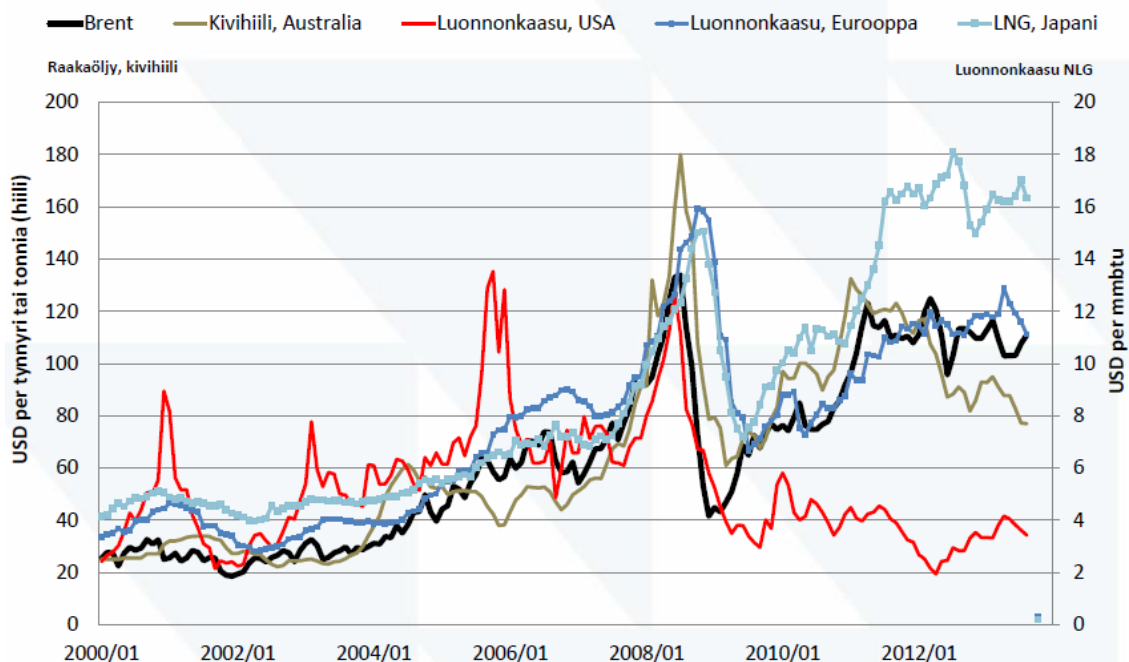
Share of each type of biofuel as energy content of EU biofuel consumption for in 2012*



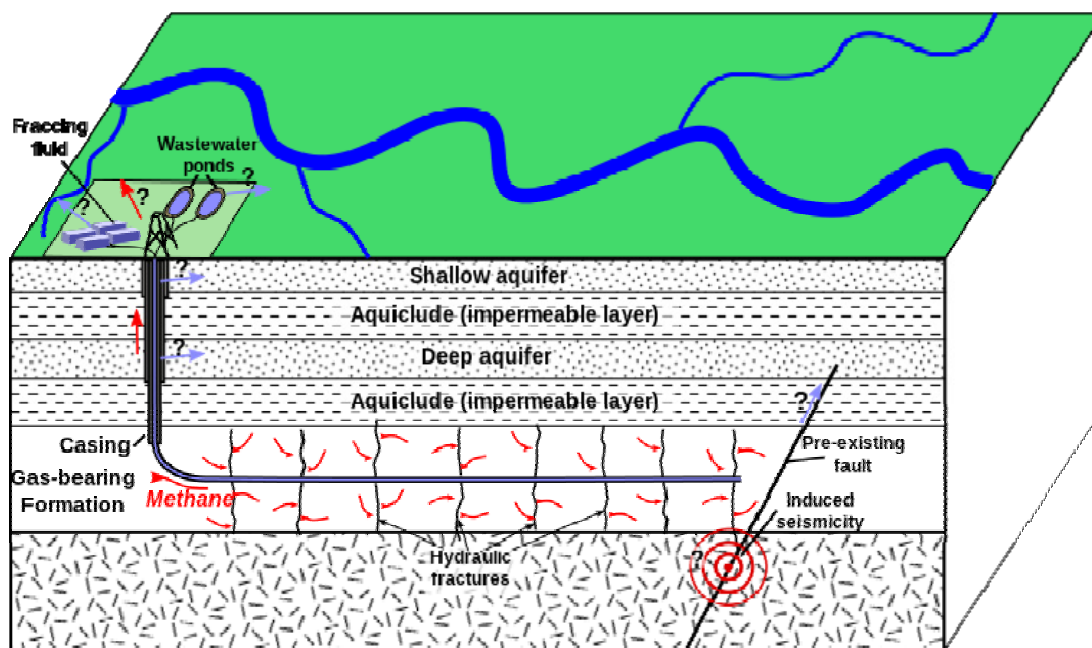
*Estimate Sources: EurObserv'ER 2012.

Kuva 7. Biopolttoainemäärien kehitys Euroopassa ja eri biopolttoaineiden suhteelliset osuudet. (Biofuels Barometer 2013)

Fossiilisen energian hinnat



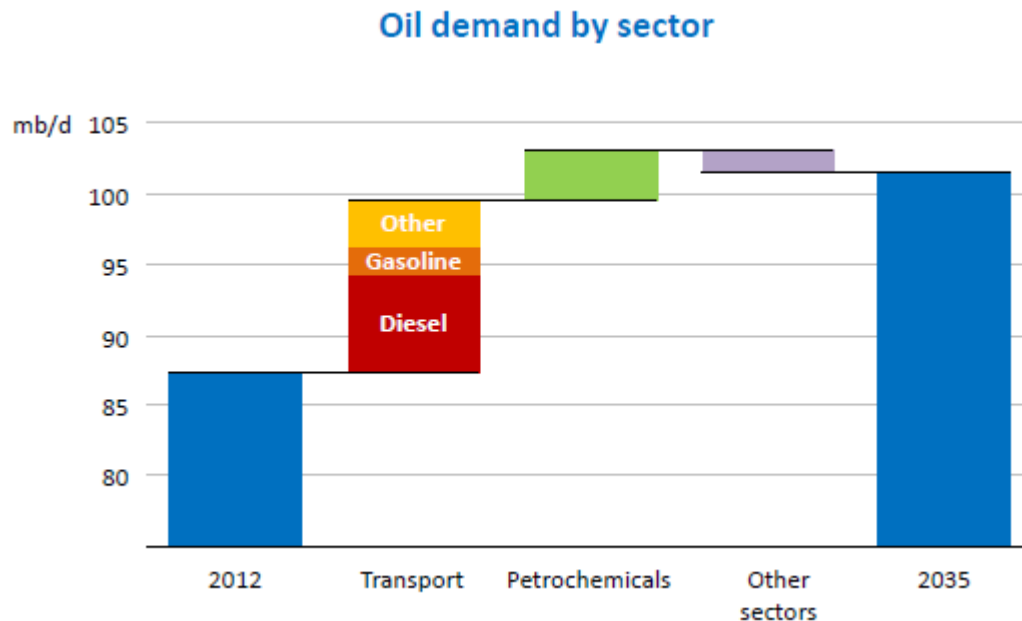
Kuva 8. Fossiilisen energian hinnat. Brent= Pohjanmeren yksi öljyalaatu. (Suni 2013)



Kuva 9. Hydraulic fracturing (fracking) periaate. (Wikipedia)

3.2 Ennusteet tulevasta

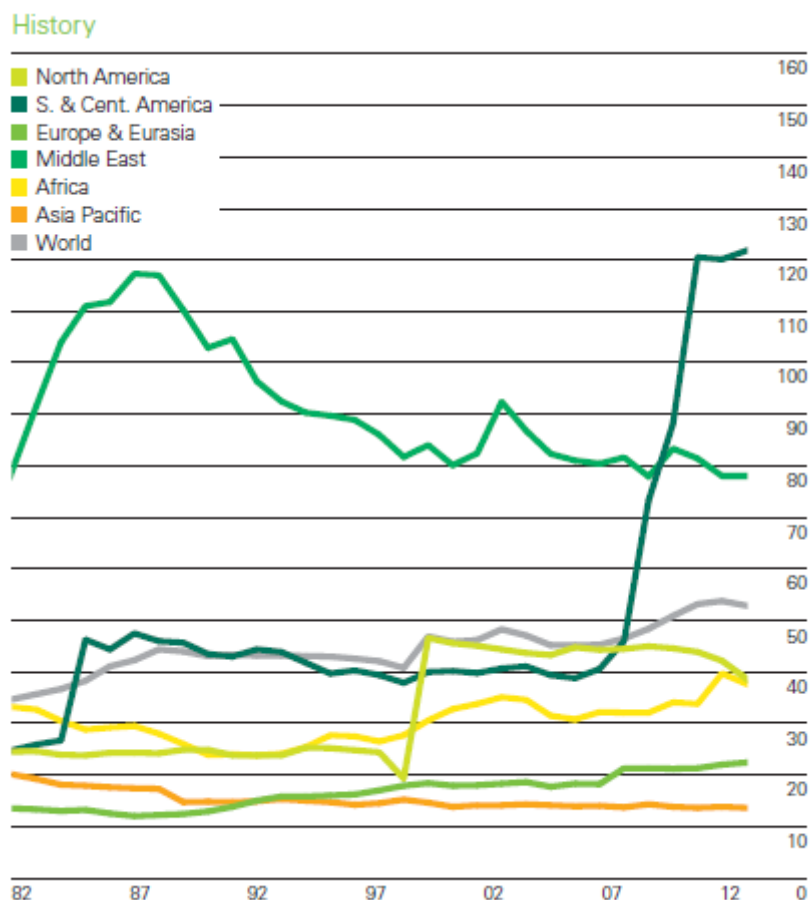
Siitäkin huolimatta, että ei-perinteisten öljylähteiden (öljyhiekat, liuskeöljy) käyttö lisääntyy ja maakaasun tuotanto on kasvamassa, liikenteen käyttämän energian hinta tulee todennäköisesti nousemaan tulevaisuudessa. Öljyn käyttö lisääntyy voimakkaasti OECD:n ulkopuolisissa maissa. Kiinasta tulee maailman suurin öljyn kuluttaja vuoteen 2030 mennessä. Kansainvälinen energiajärjestö International Energy Agency (IEA) ennustaa öljyn kulutuksen kasvavan vajaa 20 % vuoteen 2035 mennessä, kasvun tullessa ensisijaisesti liikenteestä (kuva 10).



Kuva 10. IEA:n öljyn kulutusennuste vuodelle 2035. (IEA WEO 2013)

Vielä joitakin vuosia sitten puhuttiin paljon öljyn tuotannon huipusta, "peak of oil". Öljy ei kuitenkaan ole loppumassa maailmasta lähiaikoina. Öljyn tarjonta riippuu hinnasta, mitä korkeampi öljyn hinta on, sitä vaikeammin hyödynnettävissä olevia öljyn lähteitä otetaan käyttöön. Kuvassa 11 on BP:n arvio todettujen öljyvarojen riittävydestä. R/P-suhde tarkoittaa todettujen öljyvarojen suhdetta nykykulutukseen. Vuonna 1982 luku oli 32 vuotta, vuonna 2012 52 vuotta.

Koska Eurooppa on pääasiassa tuontiöljyn varassa, öljyn käyttöä haluttaisiin rajoittaa niin taloudellisista syistä kuin ilmastosyistä. Liikenteen valkoinen kirja vuodelta 2011 asettaa liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteeksi 60 % vuoteen 2050. Tavoitteen saavuttaminen edellyttäisi niin energiatehokkuuden tuntuvaa parantumista kuin siirtymistä öljypohjaisista liikennepolttoaineista uusiutuvaan energiaan.



Kuva 11. Öljyvarantojen riittävyys vuosina suhteessa nykykulutukseen. Harmaa käyrä kuvaa koko maailmaa keskimäärin. (BP 2013)

Kuvasta 10 nähdään, että IEA ennustaa dieselin kysynnän kasvavan bensiinin kysyntää voimakkaammin. Euroopassa on jo nyt pulaa keskitisleistä. Käytännössä koko hyötyliikenne toimii dieselillä, ja dieselin suosio henkilöautoissa on kasvanut voimakkaasti. Myös kasvussa oleva lentoliikenne käyttää keskitisleitä. Vuonna 2015 Itämerellä astuu voimaan meriliikenteen rikkioksidipäästörajoitus, joka voidaan täyttää: 1) käyttämällä enintään 1000 ppm rikkiä sisältävällä dieselpolttoainetta, 2) käyttämällä LNG:tä tai 3) asentamalla laivoihin pakokaasupesurit (IMO 2013). LNG soveltuu huonosti olemassa oleviin laivoihin, ja myös pakokaasupesureiden jälkiasennus saattaa olla hankalaa. Näin ollen dieselpolttoaineen kysyntä lisääntyy entisestään.

Koska sähköistys sopii parhaiten henkilöautoihin ja taajama-ajoneuvoihin, moni on sitä mieltä että vaihtoehtoiset polttoaineet kannattaisi kohdistaa raskaaseen dieselkalustoon. Kuvassa 12 on Ruotsin Trafikverket:in Olle Hådelin perustelut asialle.

Substitution of fossil diesel oil is crucial!

Threats

- Already shortage of Diesel oil in Europe
- Higher share of diesel cars due to regulations of fuel consumption.
- Aviation fuels and diesel oil are competitors
- Environmental marine regulations will raise demand for diesel oil?

Solutions

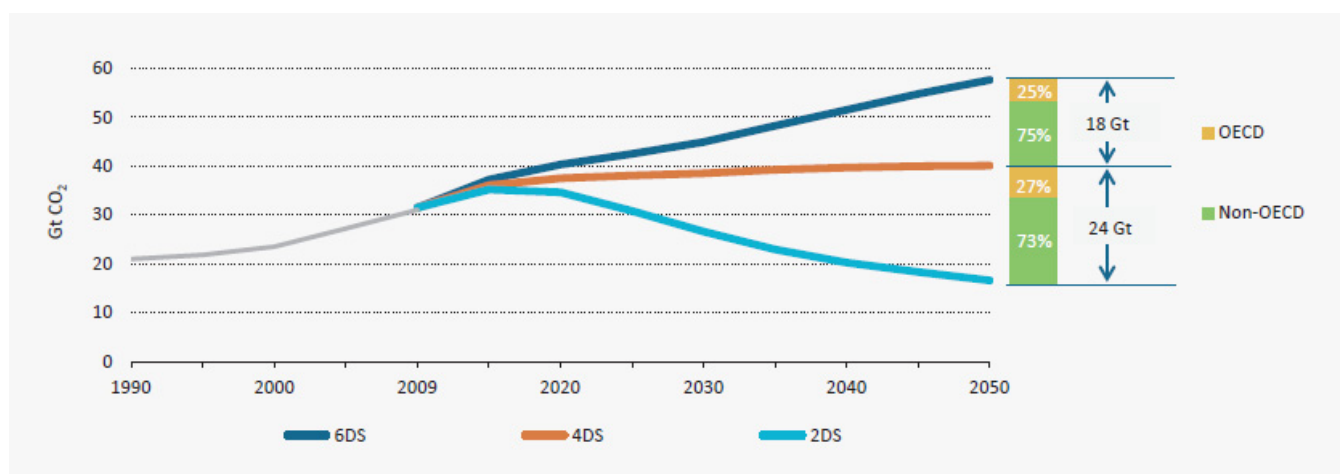
- Biofuels ought to be used in heavy vehicles
- Biomethane
- Synthetic diesel oil
- Dimethyleter (DME)
- Electrification of roads....



11 2013-11-24

Kuva 12. Tarve dieselpolttoaineen korvaamiseksi. (Hådeli 2012)

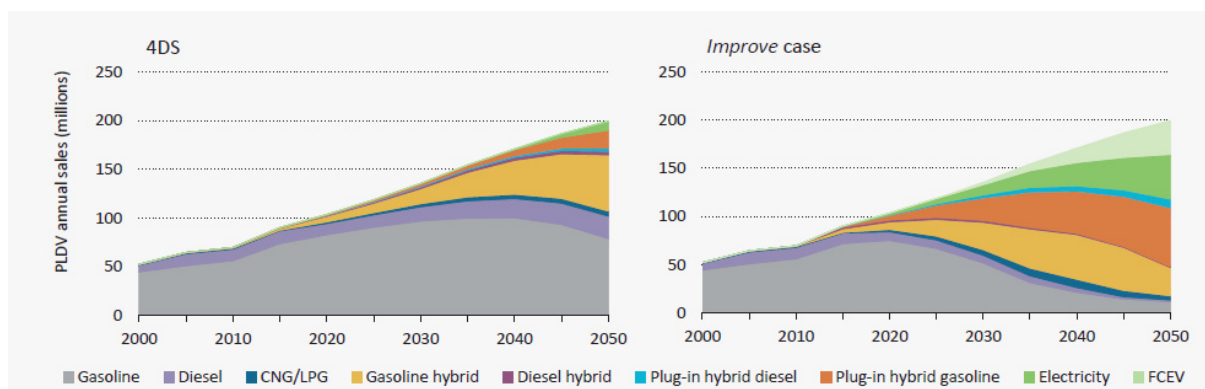
Kahden vuoden välein ilmestyvässä IEA:n Energy Technology Perspectives (ETP) –julkaisussa tähtäin on vuodessa 2050. Vuoden 2012 ETP:ssä esitetään kolme kasvihuonekaasupäästöihin ja maapallon keskilämpötilan nousuun perustuvaa vaihtoehtoista skenaariota (kuva 13): 1) 6 °C (6DS, ei uusia toimenpiteitä päästöjen rajoittamiseksi), 4 °C (4 DS, päästöjä rajoitetaan, päästöt tasaantuvat) ja 2 °C (2DS, tavoitetila, päästöt lähtevät laskuun ja ovat 50 % vuoden 2009 tasosta vuonna 2050).



Kuva 13. IEA:n ETP 2012 julkaisun kolme skenaariota, 2DS, 4 DS ja 6DS. (IEA ETP 2012)

Liikenteen osalta 2DS skenaario sisältää "avoid/shift/improve" –toimenpiteitä (vältetään liikennettä, käytetään tehokkaampia liikkumis- ja kuljetusmuotoja, otetaan käyttöön vähäpäästöisiä energia- ja energiatehokkaita ajoneuvoja). Pelkkä polttoaineiden ja ajoneuvojen parantaminen ei siis riitä aikaansaamaan toivottuja päästövähennyksiä, lisäksi tarvitaan älykkäitä ja energiatehokkaita liikennejärjestelmiä.

Kuvassa 14 esitetään henkilöautojen osalta eri teknologioiden osuudet uusien autojen myynissä. Henkilöautojen vuosimyynti kasvaa noin 70 miljoonasta vuonna 2010 noin 200 miljoonaan vuonna 2050. 4DS skenaariossa voimakkaimmin kasvattavat osuuttaan bensiinihybridit ja bensiiniä käyttävät lataushybridit. Vuonna 2050 perinteisten (ilman hybridisointia olevien) bensiini- ja dieselautojen osuus on yhteensä noin 50 %. 2DS skenaariossa, joka perustuu vahvaan henkilöautojen sähköistämiseen, perinteisten autojen osuus on enää noin 10 %. Verkosta ladattavien autojen (lataushybridit ja täyssähköautot) osuus on noin 60 %, ja polttokennoautojen vajaan 20 %.



Kuva 14. Eri teknologioiden osuudet uusissa henkilöautoissa IEA ETP 4DS ja 2DS skenaarioissa. (IEA ETP 2012)

IEA ja pohjoismaisen ministerineuvoston alainen Nordic Energy Research julkaisivat alkuvuodesta 2013 yhteistyössä valmistellun Nordic Energy Technology Perspectives –julkaisun. Tämä oli ensimmäinen kerta kun ETP-julkaisu tehtiin tietylle maantieteelliselle alueelle. Perustelu Pohjoismaiden valinnalle oli se, että Pohjoismaissa on kunnianhimoiset tavoitteet kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamiselle, ja että Pohjoismaat siten toimivat tiennäyttäjinä. (NETP 2013).

Taulukossa 3 on yhteenveto eri Pohjoismaiden ohjauskeinoista ja päästötavoitteista liikenteeseen liittyen.

NETP:ssä on 4DS ja 2DS skenaarioiden lisäksi esitetty myös hiilineutraali skenaario CNS (Carbon Neutral Scenario), 6DS skenaariota ei ole käsitelty lainkaan. Pohjoismaiden osalta jo 4DS skenaariossa koko energiasektorin päästöt kääntyvät laskuun. CNS skenaarion puitteissa on olemassa myös kaksi muunnosta, CNES (Carbon-Neutral high Electricity Scenario) joka painottaa sähköä ja CNBS (Carbon-Neutral high Bioenergy Scenario) joka painottaa bioenergiaa (liikenne ei tässä skenaariossa käytä lainkaan fossiilisia polttoaineita). Eri skenaarioiden tarkempi kuvaus on esitetty liitteessä 1.

Skenaariosta riippuen henkilöautojen polttoaineen kulutus laskee 45 – 60 % (ilman verkosta ladattavan sähkön vaikutusta). Hyötyajoneuvoille vastaava haarukka on 15 – 45 %.

Taulukko 3. Eri Pohjoismaiden ohjauskeinot ja päästötavoitteet liikenteeseen liittyen. (NETP 2013)

	Denmark	Finland	Iceland	Norway	Sweden
Goals					
Before 2020	10% RE	20% RE		10% RE	14% RE
Before 2030				-100% (if global climate agreement)	A vehicle stock that is independent of fossil fuels
Before 2050	Energy and transport: 100% RE	Energy and transport: -80% GHG	Energy and transport: -50 to -70% GHG	Energy and transport: 100% GHG	Energy and transport: -100% GHG (net)
Policies					
Energy fuel tax	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Carbon fuel tax	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Green ownership tax (annual)	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Green registration fee	Yes	Yes	Yes	Yes	No registration fee (super-green car rebate to cars with very low CO ₂ -emission)
Other important policies	EVs and hydrogen vehicles exempted from registration fee until 2015.		Reykjavik city offers free parking for environmentally friendly vehicles.	Electric vehicles (BEV and FCEV) are exempted from registration taxes, VAT and road tax; ² can drive in the bus lane; have free parking in public parking area; may use toll roads for free. Subsidies for the purchase of certain EV or HEV.	Super-green car rebate to cars with very low CO ₂ -emissions (<50 g/km). Large filling stations required to offer RE fuels.

Biopolttoaineiden osuus liikennepolttoaineissa on:

- 4DS: 10 %
- 2DS: 35 %
- CNS: 75 %
- CNES: 75 %
- CNBS: 100 %

Vastaavasti verkosta ladattavien henkilöautojen osuus autokannassa on (suluissa sähkön osuus liikenteen energiankäytöstä):

- 4DS: 15 % (4 %)
- 2DS: 45 % (13 %)
- CNS: 55 % (19 %)
- CNES: 65 % (20 %)
- CNBS: 55 % (19 %)

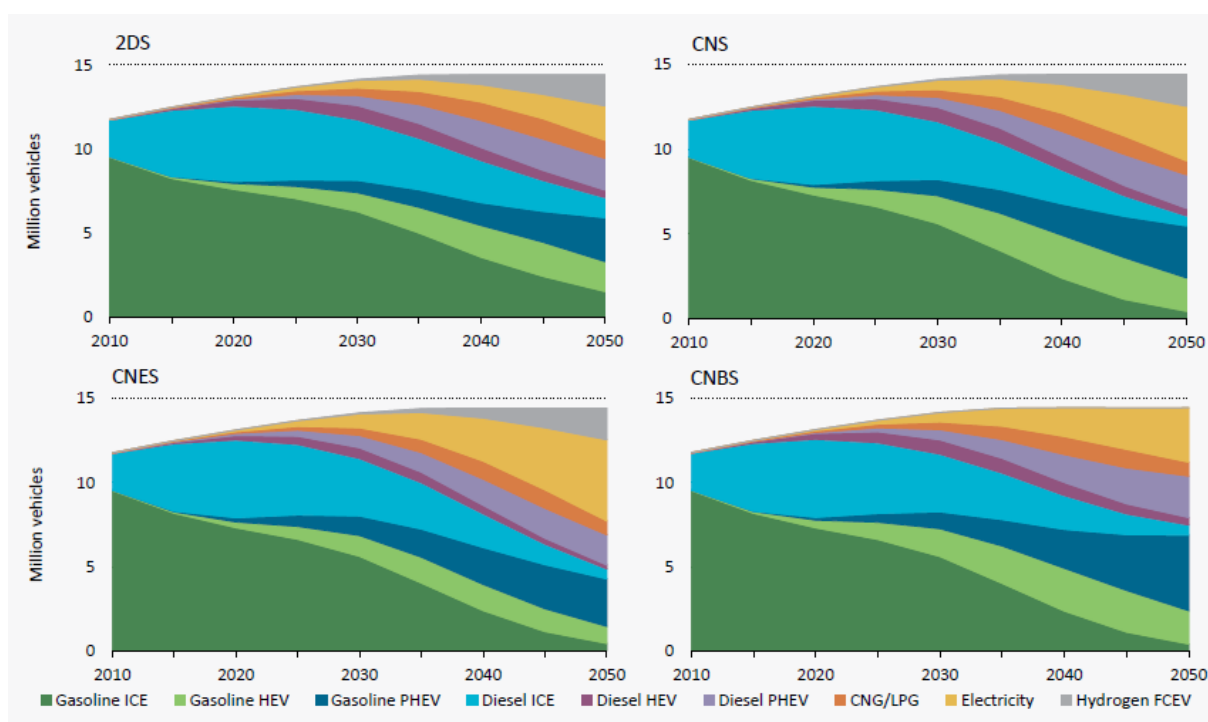
Kuvassa 15 on esitetty käytössä olevan henkilöautokaluston jakauma eri skenaarioissa (ei siis eri tekniikoiden osuudet uusien autojen myynissä kuten kuvassa 14). Kuvassa 16 on liikenteen (kaikki liikennemuodot) käyttämän kokonaisenergian jakauma eri skenaarioissa.

2DS skenaariossa bensiinin ja dieselin yhteenlaskettu osuus liikenteen energiasta on noin 35 % vuonna 2050. Muissa skenaarioissa (CNS eri variaatioineen) bensiini katoaa käytännössä kokonaan vuoteen 2050 mennessä. CNS ja CNES skenaarioissa dieselin osuus on noin 15 %, ja CNBS skenaariossa fossiilista bensiiniä ja dieseliä ei käytetä lainkaan.

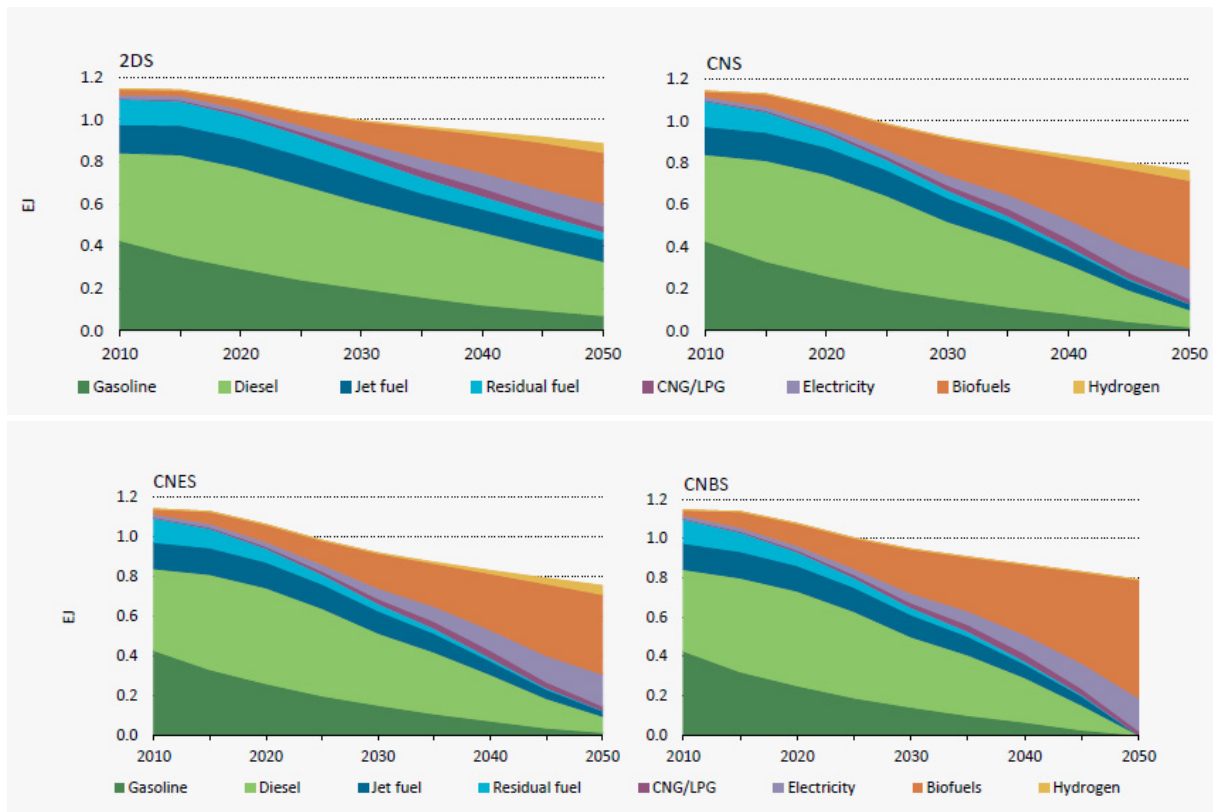
Kuvasta 16 nähdään myös että liikenteen energian kulutus laskee selvästi, skenaariosta riippuen 22 – 37 %.

Variaatio sähkön osuudessa 2DS- ja CNS- skenaarioissa on yllättäväkin pieni.

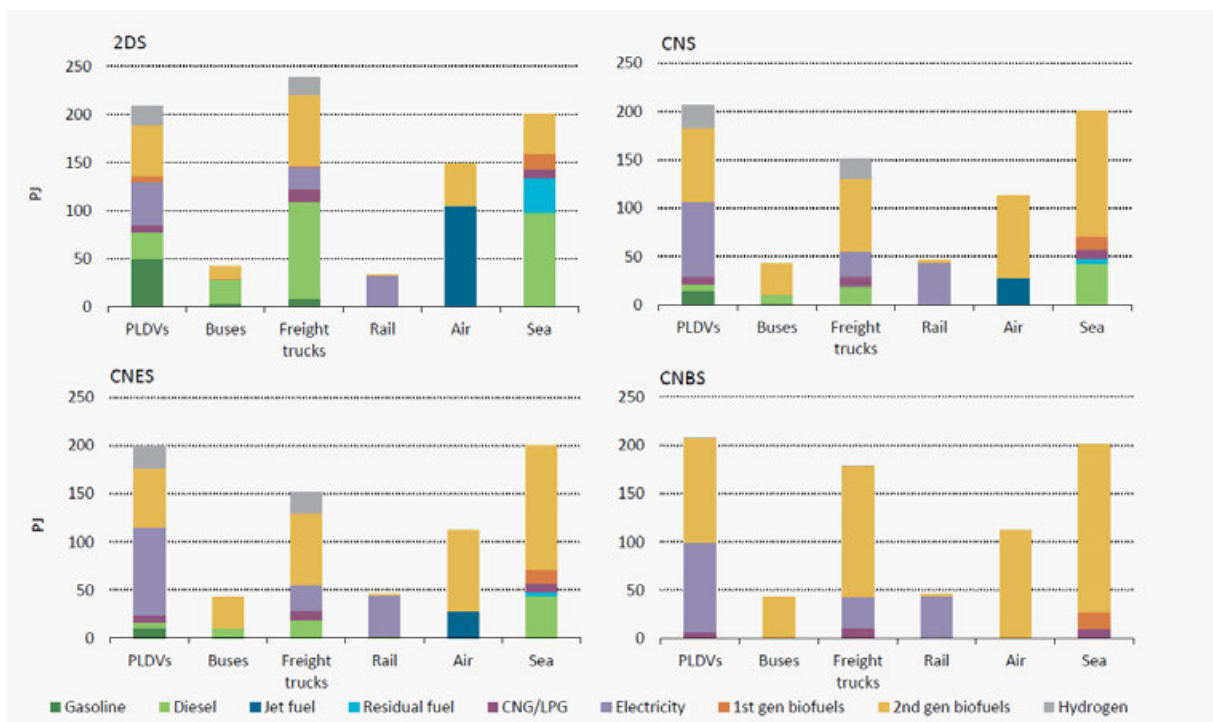
Kuvassa 17 on käyttövoimien jakautuma liikennevälineluokittain. Jostakin syystä sähköä ei ole merkitty bussien kohdalle, vaikka bussien sähköistäminen näyttäisi etenevän vauhdilla.



Kuva 15. Henkilöautokannan jakauma eri NETP skenaarioissa. (NETP 2013)



Kuva 16. Liikenteen kokonaisenergian jakauma eri NETP skenaarioissa. (NETP 2013)

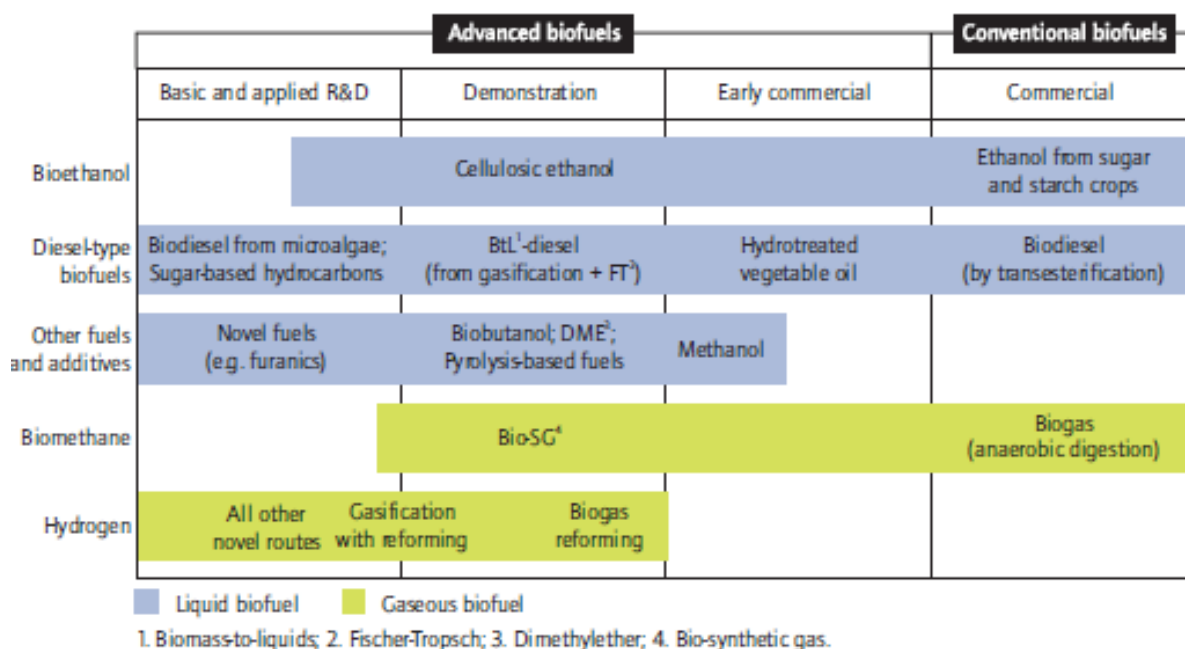


Kuva 17. Energian käyttö liikennevälineluokittain eri NETP skenaarioissa. (NETP 2013)

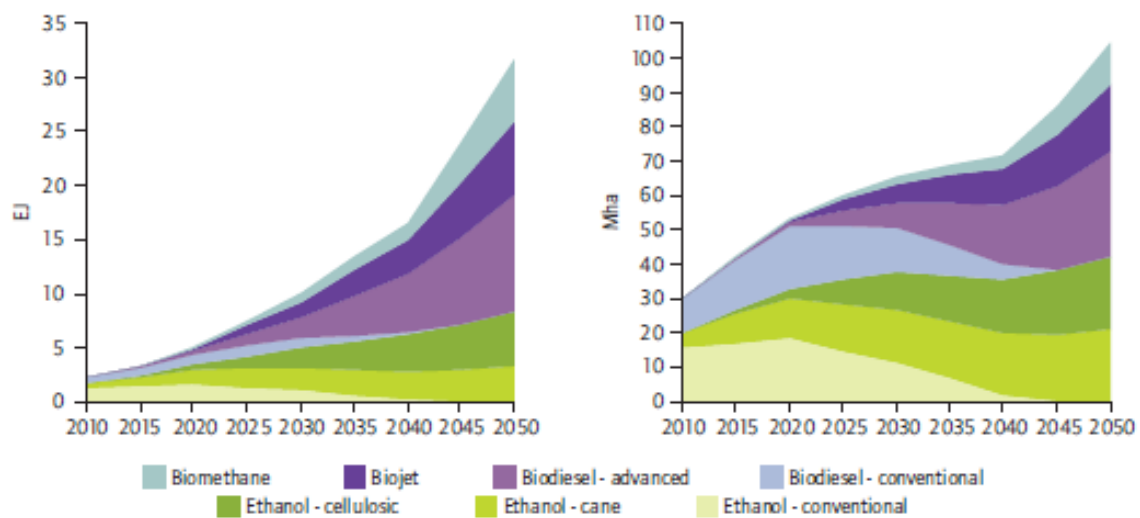
Vuonna 2011 IEA julkaisi ”Technology Roadmap: Biofuels for Transport” tiekartan liikenteen biopolttoaineista. IEA:n mukaan biopolttoaineet voisivat vuonna 2050 kattaa 28 % (32 EJ biopolttoaineita, kokonaisenergia 116 EJ) liikenteen energiantarpeesta. (IEA Bio 2011).

Kuvassa 18 on biopolttoaineiden kehitystilanne. Tämän mukaan kaupallisesti on tarjolla lähinnä perinteisiä ensimmäisen sukupolven biopolttoaineita. Vetykäsitellyn kasviöljyn (hydrotreated vegetable oil HVO, Neste Oilin tuotemerkki NExBTL) todetaan olevan kaupallistumisen alkuvaiheessa, siitäkin huolimatta että Neste Oilin HVO tuotanto on peräti 2 Mtoe vuositasona (www.nesteoil.com). Selvää on kuitenkin että selluloosapohjainen etanoli, kaasutukseen perustuvat BTL (biomass-to-liquids), Bio-SG (bio-synthetic gas eli synteettinen biokaasu), DME, biobutanoli ja erilaiset pyrolyysiin perustuvat polttoaineet ovat vielä kehitys- tai demonstraatiovaiheessa.

Kuvassa 19 on arvio biopolttoainemäärien ja tarvittavan maapinta-alan kehityksestä.



Kuva 18. Eri biopolttoaineiden kehitystilanne. (IEA Bio 2011)



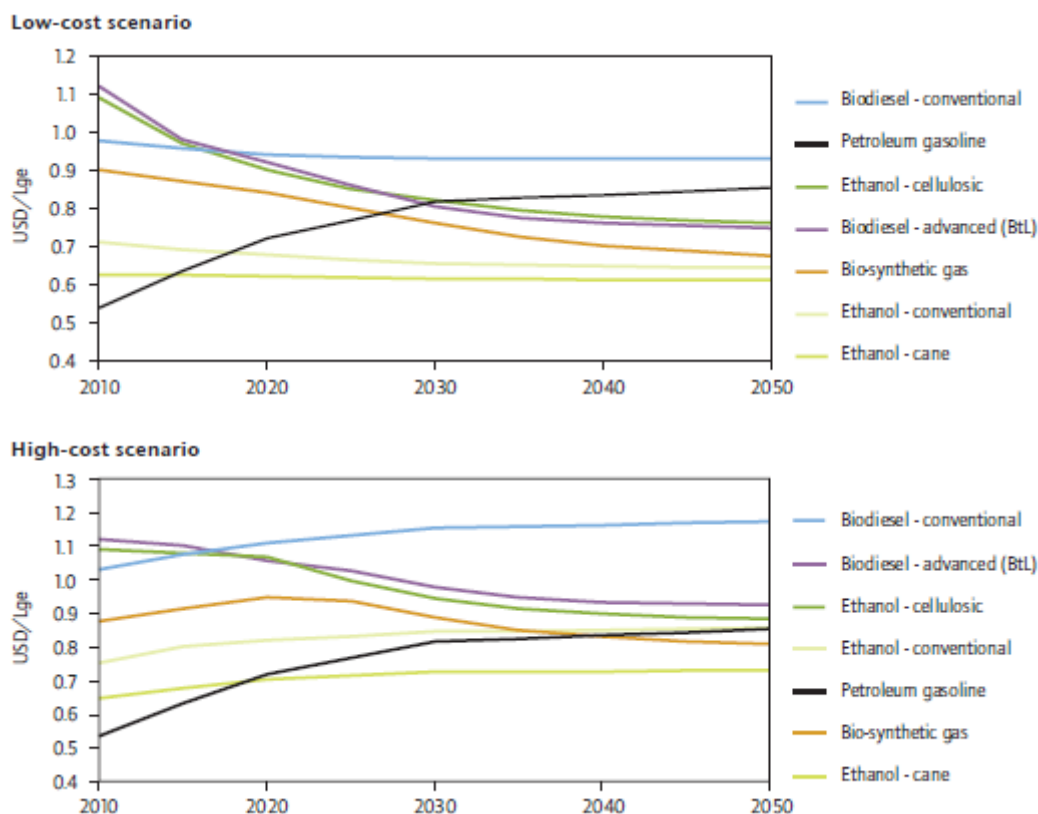
Kuva 19. Arvio biopolttoaineiden kysynnän ja maa-alan tarpeen kehittymisestä. (IEA Bio 2011)

Kuvasta 19 nähdään, että biopolttoaineiden määrän arvioidaan olevan yli kymmenkertainen vuonna 2050 vuoteen 2010 verrattuna. Projektion mukaan perinteinen etanoli ja perinteinen biodiesel (ruokakasvipohjaisina) katoavat noin vuoteen 2040 (poikkeuksena sokeriruokopohjainen etanoli), ja tilalle tulee edistyskellisiä biopolttoaineita. Tästä syystä maa-alan tarve ei lisäännä samassa määrin kuin biopolttoaineiden määrä, tarvittava maa-ala kasvaa vain noin kolminkertaiseksi.

Biofuels roadmap –julkaisussa on myös arvioitu biopolttoaineiden hintakehitystä (kuva 20). Hintakehitys on arvioitu kahdelle tapaukselle, biopolttoaineiden osalta positiivinen kehitys (low cost) ja ”ei niin positiivinen kehitys” (high cost). Molemmassa tapauksissa fossiilisten polttoaineiden hinnan on ennustettu kehittyvän samalla kohtuullisella tavalla, vuoden 2010 tasolta noin 0,55 USD/bensiiniekvivalenttilitra noin tasolle 0,9 USD/bensiiniekvivalenttilitra vuoteen 2050 mennessä. Low cost –skenaariossa sekä sokeriruokoetanoli että perinteinen (maissi- ja viljapohjainen) etanoli saavuttavat fossiilisten polttoaineiden hintatason vuoteen 2020 mennessä, ja kaikki muut vaihtoehdot perinteistä biodieseliä lukuun ottamatta vuoteen 2030 mennessä. High cost –skenaariossa taas ainoastaan sokeriruokoetanoli ja synteettinen biokaasu ovat kilpailukykyisiä vuonna 2050.

Vuoden 2013 raportissa ”Global land transport infrastructure requirements. Estimating road and rail infrastructure capacity and cost to 2050” IEA arvioi maaliikenteen infrastruktuuritarpeita vuoteen 2050. Raportissa todetaan (IEA 2013):

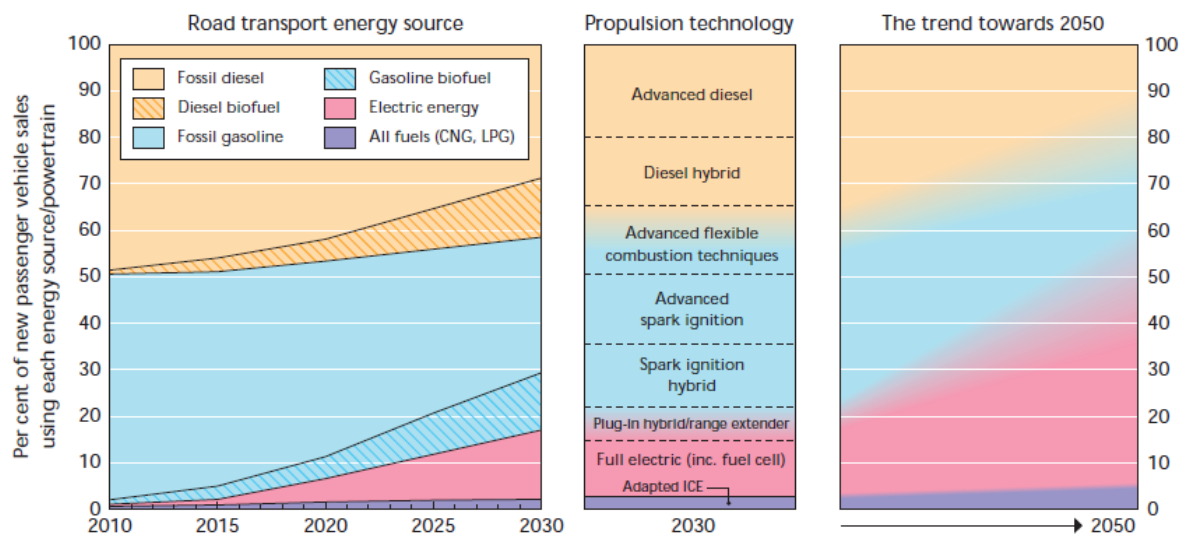
”Maapallomme ei kestä ”business-as-usual” kasvua liikennesektorilla. Tarvitaan merkittäviä muutoksia, joko hyödyntämällä ICT:tä tai siirtymällä tehokkaampiin liikennemuotoihin tai näiden yhdistelmällä. Varsinkaan kehittyvissä maissa ei tule olemaan mahdollista rakentaa teitä 3 miljardia autoa varten vuodelle 2050, riippumatta siitä toimivatko nämä autot sähköllä, kaasulla tai perinteisellä dieselpolttoaineella. Tämä on ilman muuta peruste miettiä muutakin kuin ajoneuvo- ja polttoainetekniikkaa kestävää liikennejärjestelmää kehitettäessä”.



Kuva 20. Biopolttoaineiden arvioitu hintakehitys kahdessa eri skenaariossa. (IEA Bio 2011)

ERTRAC (The European Road Transport Research Advisory Council) on yksi eurooppalaisista teollisuusvetoisista teknologiaplatformeista (kts. myös kuva 1). ERTRAC:n painopiste on ajoneuvoissa, kun taas rinnakkaisen Biofuels Technology Platform'in toiminta nimen mukaisesti keskittyy biopolttoaineisiin.

Vuoden 2010 Strategic Research Agenda (SRA) –julkaisussa ERTRAC on hahmotellut henkilöliikenteen (tieliikenne) energia- ja tekniikkavaihtoehtoja vuoteen 2030 ja 2050 (kuva 21). ERTRAC:in mukaan uusien autojen osalta bensiinin ja dieselin yhteenlaskettu osuus vuonna 2030 on luokkaa 55 %, biopolttoaineiden noin 25 % ja sähkökäytön, ml. polttokennoautot, noin 15 %. Vuonna 2050 sähkökäyttöjen osuus on jo luokkaa 50 %. (ERTRAC 2010)



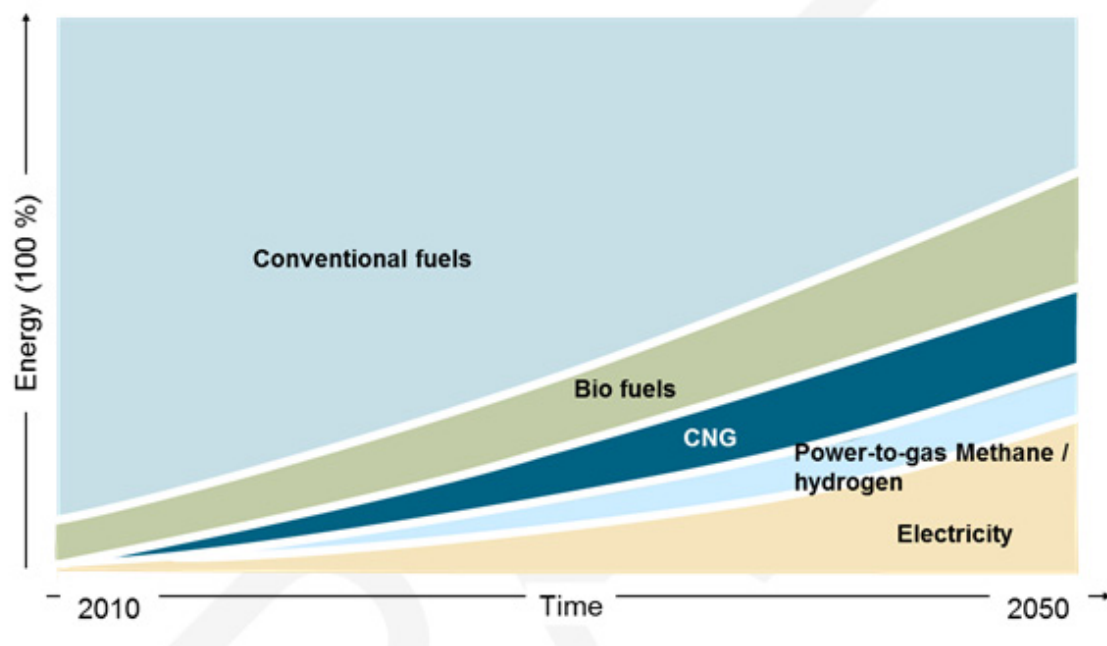
Kuva 21. ERTRAC SRA 2010 projektio vuosiin 2030 ja 2050. (ERTRAC 2010)

ERTRAC on parhaillaan laatimassa uutta raporttia nimeltä "Energy Carriers for Powertrains for Clean and Efficient Mobility". Samalla näkemystä tulevastakin on päivitetty. Kuvassa 22 on syyskuussa 2013 päivättyyn luonnokseen sisältyvä näkemys henkilöliikenteen energioiden osuuksista. Vuoden 2050 energiaosuusiksi ennustetaan nyt (ERTRAC 2013):

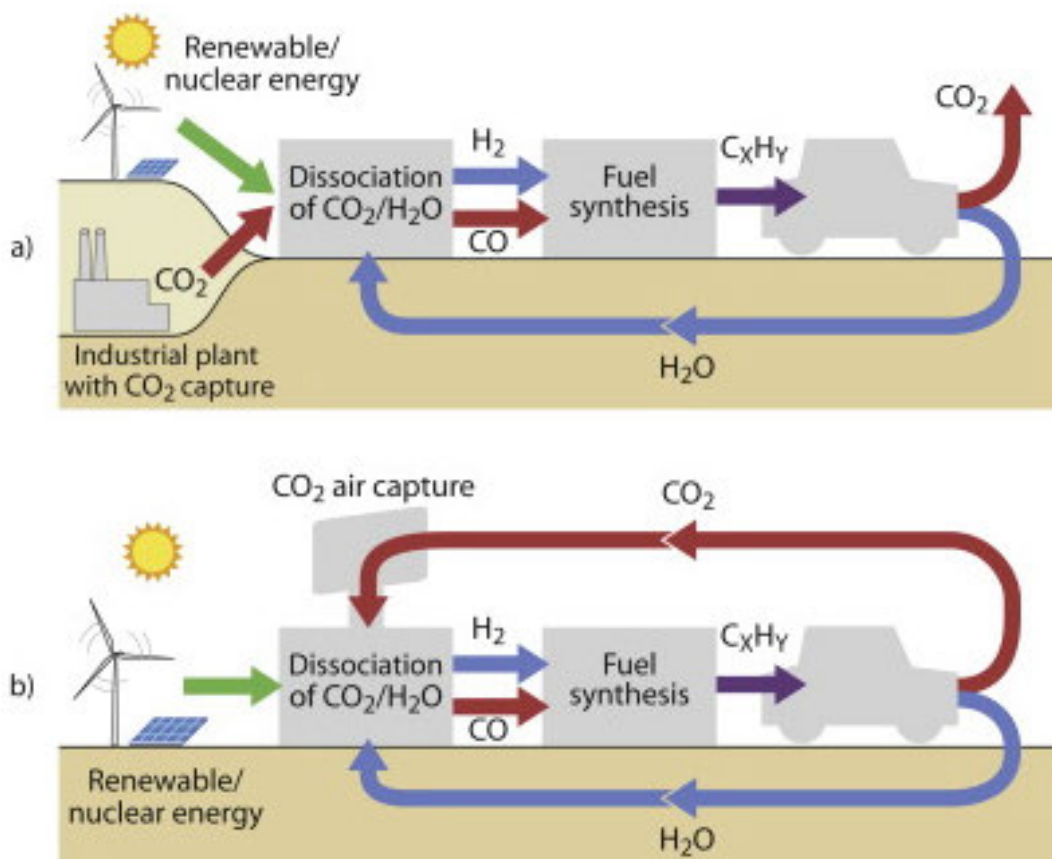
- perinteiset polttoaineet ~28 %
- biopolttoaineet ~23 %
- maakaasu ~11 %
- power-to-gas methane/hydrogen ~9 %
- sähkö ~29 %.

Maakaasulle on nyt annettu entistä suurempi merkitys. Power-to-gas tai power-to-liquids puolestaan on uusi konsepti, joka perustuu esim. tuulivoiman hetkellisesti tuottaman ylijäämänsähkön tai ydinsähkön muuttamiseen kemialliseksi energiaksi. Aikaisemmin on mietitty vedyn valmistusta elektrolyysillä, mutta uutta power-to-gas/power-to-liquids ajattelussa on hiilidioksidin "lainaaminen" esim. savukaasuista ja hiilivetyjen tuottaminen vedyn sijaan. Prosessissa sähköllä hajotetaan sekä hiilidioksidia että vettä muodostamaan synteetikaasua (vedyn ja hiilimonoksidin seos), ja synteetikaasu taas muunnetaan hiilivedyiksi (kuva 23). Etuna tässä on että näin tuotettuja hiilivetyjä, joko metaania tai bensiini/dieseljakeita voidaan käyttää olemassa olevissa ajoneuvoissa.

Kohdassa 2.2 RES-direktiivin päivityksen osalta mainittu nelinkertainen laskenta "ei-biologista alkuperää oleville uusiutuville polttoaineille" viitanee power-to-gas/power-to-liquids konseptiin.



Kuva 22. ERTRAC:in päivitetty näkemys henkilöliikenteen (tieliikenne) energioista. (ERTRAC 2013)



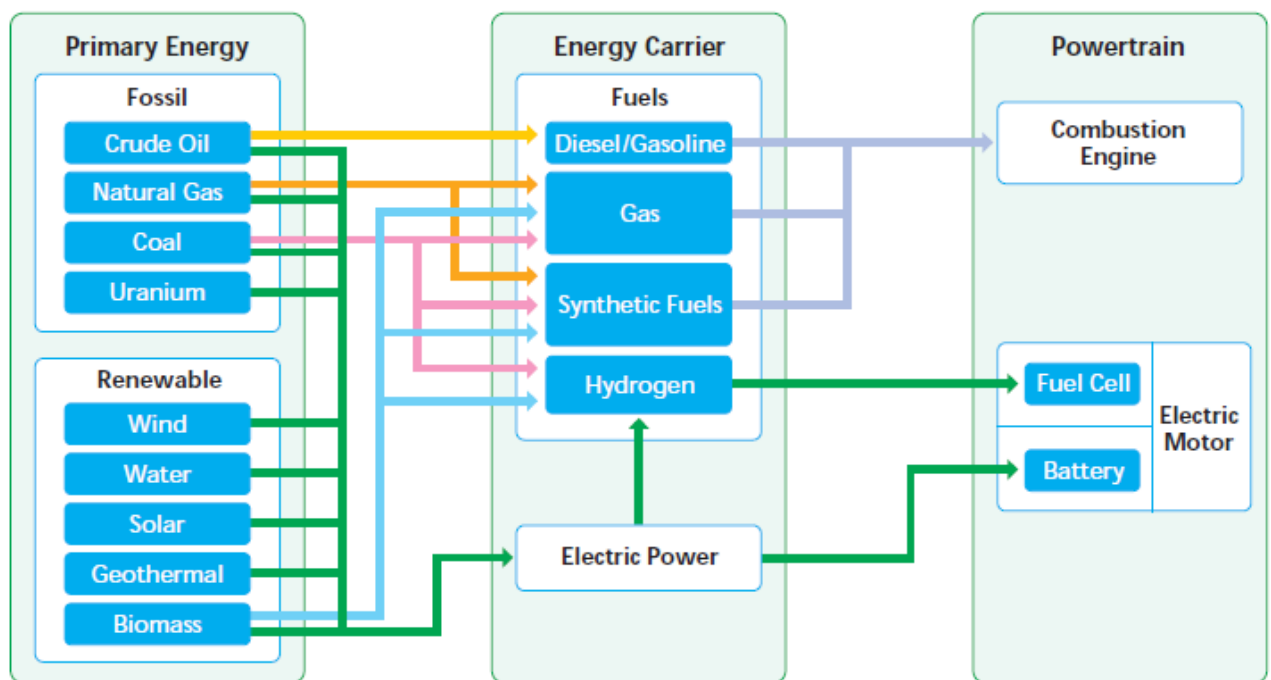
Kuva 23. Power-to-gas/power-to-liquids konsepti. (Graves et al. 2011)

4 Katsaus teknologiavaihtoehtoihin ja niiden kehityssuuntiin

4.1 Yleistä

Tässä kappaleessa pyritään ensisijaisesti painottamaan niitä asioita, jotka ovat muuttuneet tai nousseet esiin vuoden 2009 tilanteeseen verrattuna.

Kuvassa 24 on kaaviollisesti esitetty primäärienergian lähteet, energiantkantajat ja loppukäytön vaihtoehdot. Loppukäytön osalta on kaksi päävaihtoehtoa: polttomoottori tai sähköinen voimalinja, ja myös näiden yhdistelmä (hybridi) on mahdollinen. Kaaviokuvassa biopolttoaineet on kuvattu edistyksellisinä biopolttoaineina, eli biomassassa muutetaan joko synteettisiksi polttoaineiksi (synteettinen biokaasu tai nestemäiset tuotteet) tai vedyksi.

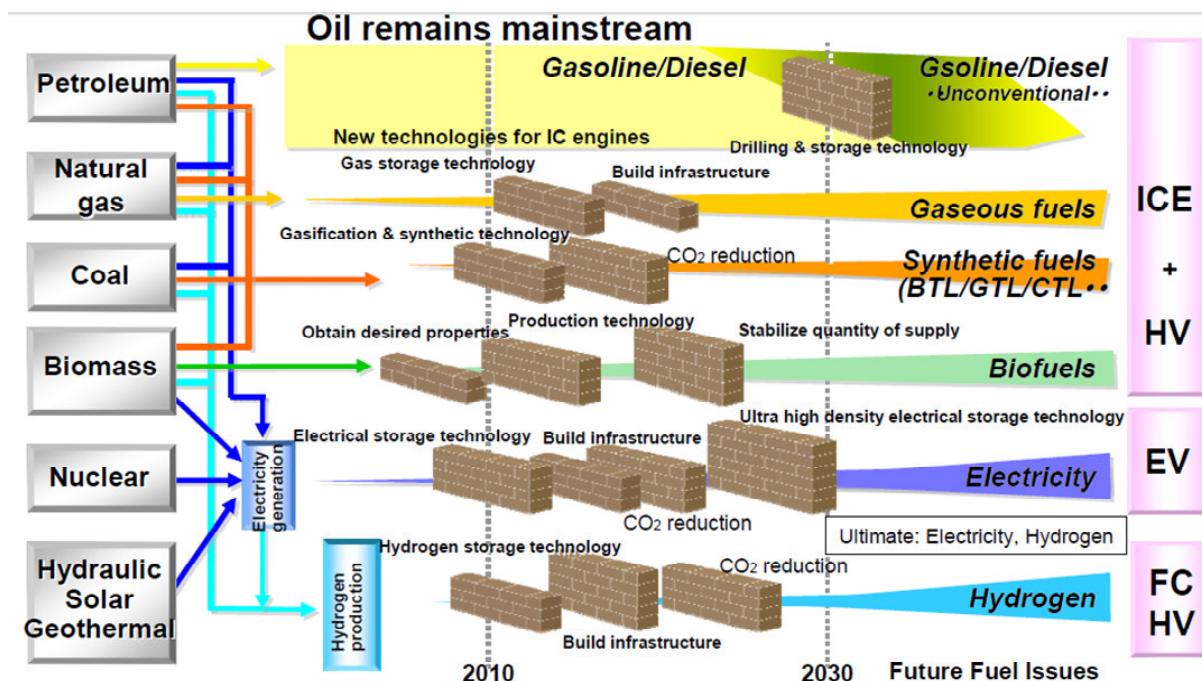


Kuva 24. Primäärienergian lähteet, energiantkantajat ja loppukäytön vaihtoehdot vuonna 2030. (ERTRAC 2010)

Tanaka (2011) on esittänyt vastaavanlaisen kaavion johon on lisätty haasteet eri teknologioiden osalta (kuva 25).

Tanakan mukaan öljypohjaiset polttoaineet tulevat dominoimaan kunnes joudutaan siirtymään pääasiassa ei-perinteisiin öljylähteisiin. Polttomoottoreita kehitetään jatkuvasti.

Kaasumaisten polttoaineiden käyttöä rajoittavat sekä kaasun varastoinnin vaatima tila autossa että tarve erityiselle tankkausverkostolle.



Kuva 25. Eri teknologiapolkujen haasteet. (Tanaka 2011)

Synteettisten polttoaineiden osalta haasteet riippuvat käytetystä raaka-aineesta, biomassan (BTL) osalta haasteet liittyvät kaasutukseen ja synteetikaasun puhdistukseen, maakaasun (GTL) ja hiilen (CTL) osalta lähinnä hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseen.

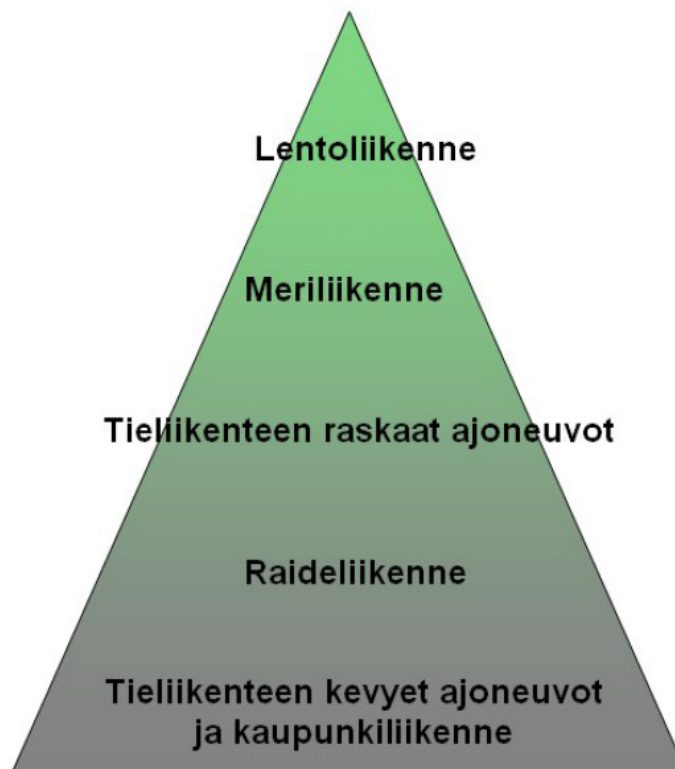
Tanaka näyttää erikseen perinteiset biopolttoaineet. Näiden osalta luetellut haasteet ovat tuotelaatu (yhteensopivuus moottoreihin), valmistustekniikka ja riittävien polttoainemäärien saaminen markkinoille. Näistä kaksi viimeksi mainittua haastetta liittyvät ilman muuta myös edellä mainittuun BTL-vaihtoehtoon.

Sähköautojen osalta luetellaan energian varastointi (nykytekniikan tasolla), latausinfrastruktuuri ja lisäksi hiilidioksidipäästöt. Vähähiilinen sähkö ei ole itsestäänselvyys kaikkialla maailmassa. Lisäksi erityisenä tulevaisuuden haasteena Tanaka mainitsee pitkään toimintamatkaan tarvittavat suuren energiatiheyden energiavarastot.

Polttokennoautojen osalta mainitaan niin ikään energian varastointi (kuitenkin niin että vedyn varastointi on helpompaa kuin sähköön varastointi), infrastruktuurin tarve (vielä suurempi haaste kuin sähköautojen osalta) ja sähköön tapaan hiilidioksidipäästöt jos vety valmistetaan muusta uusiutuvasta energiasta tai ydinsähköstä (joka Japanissa koki pahan takaiskun Fukushimaa takia).

Toyota on panostanut hybridi- ja polttokennotekniikkaan, ja tämä heijastuu jossakin määrin Tanakan esitykseen.

LVM:n "Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä" raportissa pohdittiin eri liikennemuotojen käyttötärpeiden priorisointia vaihtoehtoisten polttoaineiden ja käyttövoimien teknisten rajoitteiden, saatavuuden ja vaikuttavuuden pohjalta (Käyttövoimat 2013). Lento- ja laivaliikenteen osalta vaihtoehtoja on vähän, ainakaan kaupallisessa lentoliikenteessä sähköistys ei ole vaihtoehto. Keveiden ajoneuvojen ja kaupunkiliikenteen osalta vaihtoehtoja on selvästi enemmän (kuva 26).

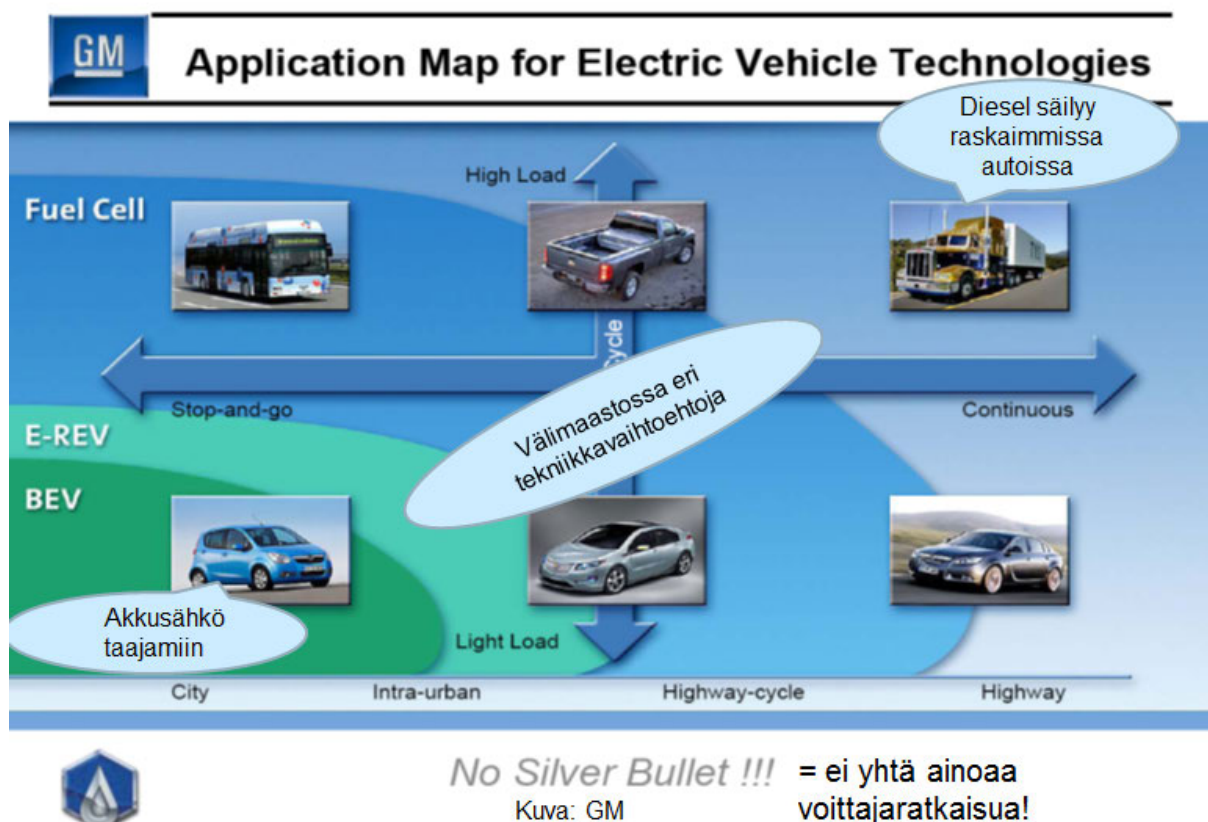


Kuva. 26. Eri liikennemuotojen polttoaineen käyttötarpeiden priorisointi esitettynä hierarkkisesti. (Käyttövoimat 2013)

Kuvassa 27 on tarkasteltu sähköistysten mahdollisuuksia tieliikenteessä. Akkusähkö on parhaimmillaan taajamissa ja alhaisilla kuormilla. Raskaisiin kuorma-autoihin ja pitkille matkoille akkusähkö ei sovellu, välimaasto voisi soveltua polttokennoautoille.

Johdinbusseilla on pitkä historia. HSL selvitytti johdinautojen käyttöönottoa Helsingissä vuonna 2011 (Johdinautoliikenteen hankeselvitys 2011). Tuolloin päätöstä johdinautojen käyttöönotosta ei vielä tehty. Kaupunkibussien sähköistäminen kiinnostaa kuitenkin kaikkialla. Johtimiin perustuva pikalataus saattaa olla yksi tuloillaan oleva tekniikka, eli tulevaisuuden sähköbusseissa saattaa olla sekä akut että ajoittainen energian syöttö reitin varrella (kts. kuva 42).

Kuvassa 12 on mainittu teiden sähköistäminen. Mm. Siemens kehittää johdintekniikkaa myös kuorma-autoihin. Siemens on rakentanut 1,5 km:n pituisen koeradan Berliinin pohjoispuolelle (kuva 28, Siemens 2012).



Kuva 27. Tieliikenteen sähkösovellukset. (Wheeler 2010, täydennetty)



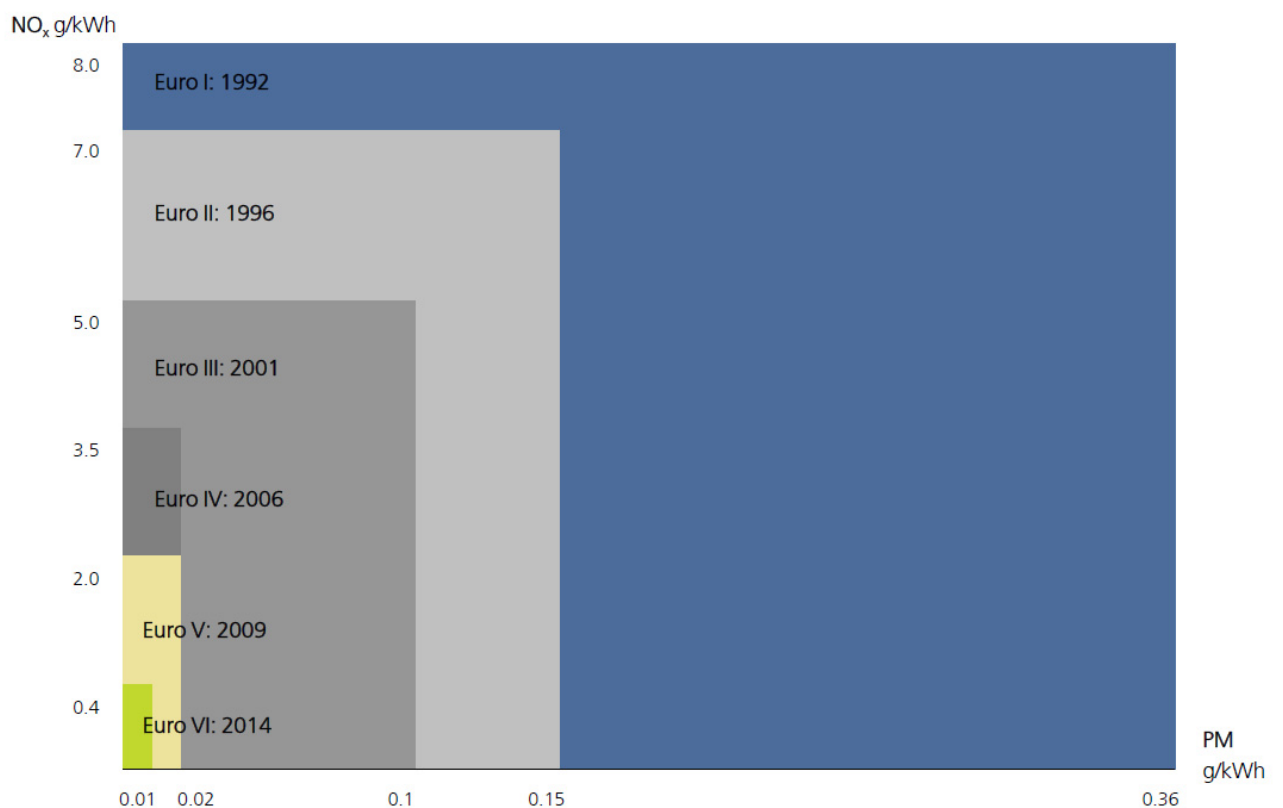
Kuva 28. Siemensin sähköistetyin maantien koerata. (Siemens 2012)

4.2 Polttomoottorien kehittyminen

Tulevina vuosikymmeninä polttomoottorilla tulee edelleen olemaan merkittävä asema tieliikenteen voimanlähteenä, niin henkilöautoissa kuin raskaassa kalustossa. Henkilöautoissa lataushybridikonsepti tulee varmaankin yleistymään.

Polttomoottorin kehitystä ohjaa kaksi päätavoitetta, toisaalta terveydelle ja ympäristölle haitallisten päästöjen (säänneltyjen päästöjen) ja toisaalta energiankulutuksen vähentäminen. Fossiilista bensiiniä ja dieseliä käytettäessä energian kulutus korreloi suoraan hiilidioksidipäästöihin.

Kuva 29 näyttää päästörajoitusten kehittymisen, esimerkki on raskaan kaluston moottoreille. Vuoden 2014 alussa voimaan astuvat Euro VI päästömääräykset tuovat myös raskaat ajoneuvot lähelle nollapäästöisyyttä, ainakin 80–90-lukujen tilanteeseen verrattuna. Euro I vaatimukset astuivat voimaan 1992. Euro VI –määräyksiin mentäessä hiukkaspäästöt ovat alentuneet 97 % ja typenoksidipäästöt 94 %. Useimmat valmistajat käyttävät pakokaasujen takaisinkierrätyksen (exhaust gas recirculation EGR), ureakatalysaattorin (selective catalytic reduction SCR) ja hiukkassuodattimen (diesel particulate filter DPF) yhdistelmää.

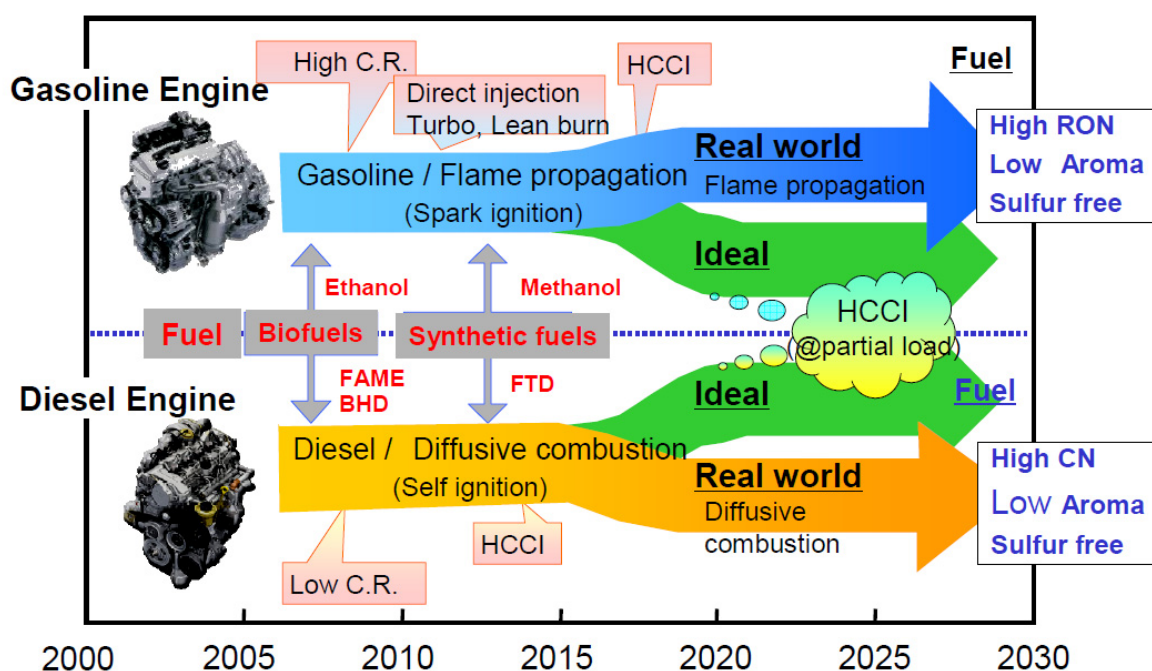


Kuva 29. Raskaan kaluston päästömääräysten kehittyminen. (Integer 2013)

Bensiiniautoissa 90-luvun alussa käyttöön otettu kolmitoimikatalysaattoritekniikka laski säänneltyjä päästöjä todella merkittävästi. Euro 5 päästömääräykset toivat dieselhenkilöautoihin hiukkassuodattimet. Suoraruiskutustekniikan käyttöönotto bensiinimoottoreissa on johtanut siihen, että bensiinimoottoreista saattaa tulla enemmän hiukkaspäästöjä kuin suodattimella varustetuista die-

selaautoista. Niinpä suoraruiskutuksella varustetuille bensiiniautoille on hiukkaspäästöraja (mg/km) Euro 5 päästöluokasta alkaen, ja Euro 6 määräyksiin sisältyy myös raja hiukkasten lukumäärälle (DieseNet). Yhdysvalloissa suunnitellaan jo suoraruiskutteisien bensiinimoottorien varustamista hiukkassuodattimin (Johnson 2013).

Bensiini (otto)- ja dieselmoottorit ovat jo monessa suhteessa lähestyneet toisiaan. Yhteistä on mm. turboahtaminen, polttoaineen suoraruiskutus ja pakokaasun puhdistuslaitteiden soveltaminen. Myös ns. "down-sizing", ts. moottorien fyysinen koon pienentäminen ja keskimääräisen kuormitusasteen nostaminen polttoainetalouden parantamiseksi on käytössä molemmissa moottorityypeissä. Uusista palamisjärjestelmistä, joissa yhdistyvät homogeeninen seos ja itsesyttyminen (esim. controlled auto-ignition (CAI) ja homogenous charge compression ignition HCCI), toivotaan parannusta energiatehokkuuteen ja päästöjen hallintaan (kuva 30).



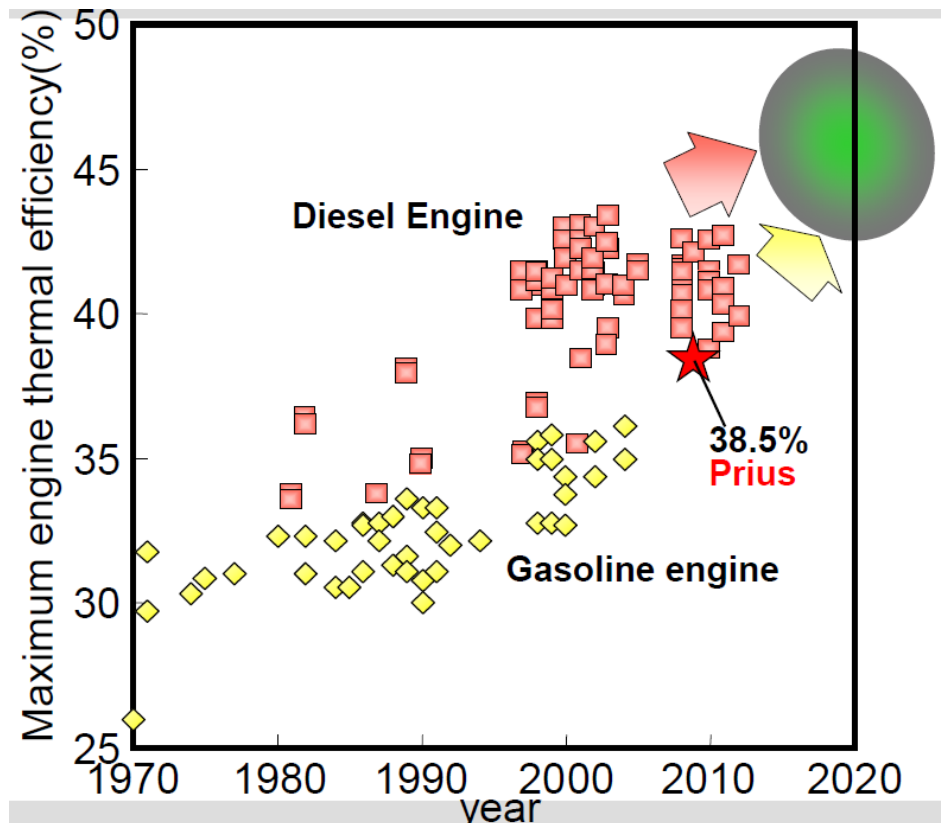
Kuva 30. Bensiini- ja dieselmoottorien kehityssuuntia. (Tanaka 2011)

ERTRAC (2011) luettelee henkilöautomoottoreiden osalta mm. seuraavat kehityskohteet:

- täysin säädettävissä oleva polttoaineen ruiskutusjärjestelmä (paine, polttoaineen laatu, ruiskutuksen jaksottaminen)
- täysin säädettävissä oleva venttiilikoneista
- down-sizing (moottorin fyysisen koon pienentäminen), down-speeding (moottorin pyörintänopeuden alentaminen) yhdistettynä korkeapaineiseen ahtamiseen
- kehittyneet monimuuttuja ohjaus- ja säätöjärjestelmät
- pakokaasuenergian hyödyntäminen
- edistykselliset jäähdytysjärjestelmät
- HCCI toiminta-alueen laajentaminen
- moottorin painon vähentäminen.

Lisäksi todetaan, että polttomoottorin optimaalinen käyttö edellyttäisi täysin säädettävissä olevaa voimalinjaa. Käytännössä tämä tarkoittaa hybridisointia, mikä mahdollistaa polttomoottorin käyttämisen polttoaineen kulutuksen ja/tai päästöjen kannalta optimaalisella kuormalla.

Samat kehityskohteet ovat relevantteja myös raskaan kaluston moottoreiden osalta. Raskaiden ajoneuvomoottoreiden maksimihyötysuhde lähentelee jo 50 %:a. Tanakan mukaan myös bensiinimoottorien hyötysuhde on parantumassa. Henkilöautoissa sekä bensiini- että dieselmootoreille tavoitellaan vajaan 50 %:n maksimihyötysuhdetta vuoteen 2020 mennessä (kuva 31).



Kuva 31. Tavoitteet henkilöautomootoreiden maksimihyötysuhteelle. (Tanaka 2011)

Raskaiden ajoneuvomoottoreiden kohdalla saavutettavissa oleva maksimihyötysuhde pakokaasujen hukkalämpöä hyödyntäen on luokkaa 55 % (Singh et al. 2012). Jossakin vaiheessa mäntämoottorin termodynaamisen kiertoprosessin rajat, moottorin sisäiset kitkat, pakokaasun jälkikäsitteilylaitteiden aiheuttamat häviöt ja tarvittava apulaiteteho tulevat vastaan.

Edellä olevien lukujen valossa potentiaali itse moottoreiden energiankulutuksen vähentämiseksi parhaimman hyötysuhteen toimintapisteessä on suuruusluokaisesti 10 – 20 %. Osakuormilla säästöpotentiaali on suurempi. Todella merkittäviin säästöihin vaaditaan siten entistä pienempiä moottoreita, suorituskyvystä tinkimistä, autojen ajovastusten pienentämistä (keveitä ja kevyesti rullavia vähäisen ilmanvastuksen omaavia autoja) ja/tai hybridisointia.

Down-sizing näkyy hyvin nyt tarjolla olevissa henkilöautomalleissa. Trendin aloitti Volkswagen ahdetuilla 1,2 ja 1,4 litran moottoreilla. Nyt mm. Ford, PSA (Citroen & Peugeot) ja Mini tarjoavat kolmisylinterisillä moottoreilla varustettuja malleja.

Ford tarjoaa keskikokoiseen (ns. C-segmentti) Focus malliin 1,0 litran kolmisylinteristä EcoBoost-moottoria. Tehotasojä on kaksi, 100 ja 125 hv. Fordin mukaan tämän tehotason moottorit ovat yleensä 1,6-litraisia, ja EcoBoost-moottorin polttoaineenkulutus on 18 % pienempi kuin muissa vastaavissa bensiinimoottoreissa ja lähes yhtä pieni kuin dieselmoottoreissa. (Ford 2013)

4.3 Hybridisointi

Hybridisointia hyödynnetään jo nyt sekä henkilöautoissa että hyötyajoneuvoissa, lähinnä kaupunkibusseissa, jäteautoissa ja jakeluautoissa. Autonomisella hybridillä (perinteinen hybridi) tarkoitetaan ajoneuvoa, johon ei ladata sähköenergiaa ulkoa. Autonominen hybridi ei sinällään muuta liikenteen energian jakaumaa, mutta auttaa polttoaineen säästämässä. Vaikutus perustuu kahteen tekijään: 1) auton liike-energiasta osa saadaan talteen sähköisen jarrutuksen ansiosta ja 2) sähköinen voimasiirto ja polttomoottori voidaan sovittaa yhteen niin, että polttomoottori toimii mahdollisimman taloudellisella käyntialueella (edellä mainittu ”täysin säädettävä voimalinja”, sähköjärjestelmä tasaa polttomoottorin toimintaa).

Hybridisoinnilla saavutettava säästö riippuu ajosyklistä. Kaupunkibussi on varsin otollinen hybridisoinnin kohde, ja polttoaineen säästö on tyypillisesti luokkaa 25 - 30 % (kts. 5.2). Bussin hybridisointi ei automaattisesti laske säänneltyjä päästöjä. Raskaiden ajoneuvojen osalta pakokaasusertifiointi tehdään moottoreilla, ei kokonaisilla ajoneuvoilla. Tästä syystä pakokaasujen ja siten myös SCR-katalysaattorin lämpötilat saattavat jäädä niin alhaisiksi ettei ureaa voida ruiskuttaa, eikä typen oksidien pelkistysreaktiot täten toimi.

Volvo on ilmoittanut, ettei se enää jatkossa toimita perinteisellä voimalinjalla varustettuja kaupunkibusseja. Perusmalli tulee olemaan rinnakkaishybridiversio. (Jobson 2012)

Maaliman myydyin hybridiauto, Toyota Prius, saavutti 3 miljoonan yksikön rajan kesällä 2013. (Dai-lyTech 2013)

4.4 Polttoainevaihtoehdot

4.4.1 Yleistä

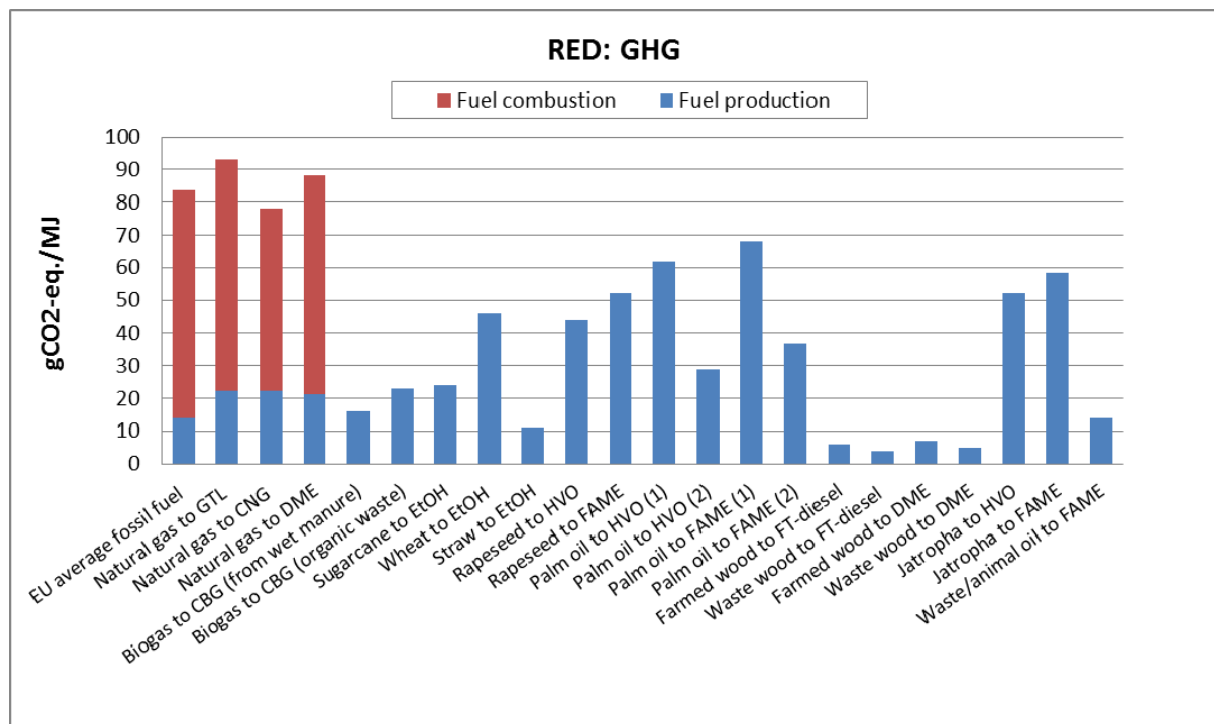
Tieliikenteen polttoainevaihtoehdot jakautuvat karkeasti kahteen ryhmään sen mukaan onko kyse bensiiniä tai dieselpolttoainetta korvaavasta tuotteesta. Alkoholit ja kaasut (metaani, nestekaasu) ovat ensisijaisesti bensiinin korvikkeita, kasviöljyt ja kasviöljyjohdannaiset ensisijaisesti dieselpolttoaineen korvikkeita. Synteetillä voidaan valmistaa niin bensiiniä, dieseliä kuin lentopetrolia korvaavia tuotteita.

Kuvassa 32 on esimerkkejä eurooppalaisen laskentamethodiikan mukaisista hiilidioksidiekvivalenttipäästöistä ($\text{CO}_{2\text{ekv}}$) eri polttoainevaihtoehdoille. Fossiilisten vaihtoehtojen osalta polton päästöt näytetään punaisena, polttoaineketjun alkupään päästöt sinisinä. EU-keskiarvo fossiilisille polttoaineille on $83,8 \text{ g CO}_{2\text{ekv}}/\text{MJ}$, josta polttoaineketjun alkupään osuus on $13,8 \text{ g CO}_{2\text{ekv}}/\text{MJ}$ ja loppukäytön (polton) osuus $70 \text{ g CO}_{2\text{ekv}}/\text{MJ}$. Kuvassa haarukka fossiilisille polttoaineille on 79 – 93

CO_{2ekv}/MJ (paineistettu maakaasu CNG – maakaasusta valmistettu synteettinen diesel GTL). Biopolttoaineille (joukossa myös kaasumaisia vaihtoehtoja) näytetään ainoastaan polttoaineketjun alkupään päästöt (siniset palkit). Biopolttoaineiden osalta haarukka on 4 – 68 g CO_{2ekv}/MJ (BTL jätetuusta – FAME biodiesel palmuöljystä/määrittelemätön prosessi), eli hajonta on melkoinen. Parhaimmillaan biopolttoaine on lähes nollapäästöinen, huonoimmillaan se ei vähennä päästöjä fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna. Tässä tapauksessa huonoin vaihtoehto (maakaasupohjainen GTL) tuottaa laskennallisesti 23 kertaa enemmän kuin paras biopolttoainevaihtoehto (puupohjainen BTL).

RES-direktiivin (2009/28/EY) mukaan biopolttoaineeksi voidaan laskea tuote, joka vähentää kasvi-huonekaasupäästöjä vähintään 35 % fossiiliseen polttoaineeseen verrattuna. Vuodesta 2017 minimivaatimus on 50 %, ja vuodesta 2018 alkaen 60 % uusille tuotantolaitoksille.

Kun moottoritekniikan parantaminen alentaa polttopaineen kulutusta ja siten kasvihuonekaasupäästöjä enimmillään 20 % ja hybridisointi 30 %, on selvää että todella merkittävien kasvihuonekaasupäästövähennemien saavuttaminen edellyttää joko siirtymistä parhaimpiin mahdollisiin biopolttoaineisiin tai vähähiiliseen sähköön.



Kuva 32. Kasvihuonekaasupäästökertoimia eri polttoainevaihtoehdoille. (Nylund & Koponen 2012)

4.4.2 Biopolttoaineet (nestemäiset)

Biopolttoaineet, ainakin matalaseosteiset biokomponentit, ovat jo laajamittaisessa käytössä. Kohdassa 2.1 mainittiin polttoaineiden laatudirektiivin asettamat rajoitteet tavanomaisten biokomponenttien (etanoli, perinteinen esteröity biodiesel FAME) käytölle. Ns. "drop-in" polttoaineilla, kuten parafiinisella dieselpolttoaineella, rajoitteita ei ole.

Vuosien 2007 – 2010 ”Optibio” hankkeessa HSL, Neste Oil, Proventia Emission Control, VTT, Aalto-yliopisto ja Scania autonvalmistaja selvittivät yhdessä parafiinisen uusiutuvan dieselpolttoaineen soveltuvuutta kaupunkibussien polttoaineeksi (Nylund et al. 2011). Noin 300 bussin kenttäkokeessa polttoaineina oli 30 %:n HVO-seos ja 100 %:n HVO (Neste Oilin NExBTL). Kenttäkoe sujui ongelmitta, ja kokeilun tuloksena Scania hyväksyi 100 %:n NExBTL:n käytön DC9-moottorityypissään. Optibio-projekti osoitti niin ikään että parafiinisen polttoaineen avulla voidaan vähentää lähipäästöjä. 17 bussilla suoritetuissa pakokaasupäästömittauksissa 100 %:n HVO alensi hiukkaspäästöjä keskimäärin 30 % ja typenoksidipäästöjä 10 % tavanomaiseen dieselpolttoaineeseen verrattuna. Yksinkertaisen jälkiasennettavan hiukkaskatalysaattorin (partial diesel particulate filter p-DPF) hiukkaspäästöjä voitiin alentaa edelleen. Vastaavanlaisia vähennyksiä lähipäästöissä voi saavuttaa millä tahansa parafiinisella polttoaineella, oli raaka-aine sitten fossiilista tai uusiutuvaa. Raaka-aineen alkuperä vaikuttaa ainoastaan koko polttoaineketjun laskennallisiin kasvihuonekaasupäästöihin.

Henkilöautoissa ns.flex-fuel tekniikka mahdollistaa korkeaseosteisten etanolipolttoaineiden käytön. Flex-fuel auto toimii millä tahansa bensiinin ja E85-polttoaineeseen sekoituksella. Flex-fuel autoja on myyty Suomeenkin jonkin verran. Flex-fuel tekniikan tulevaisuus näyttää kuitenkin jonkin verran epävarmalta. Euroopassa tärkein markkina-alue on ollut Ruotsi, mutta Ruotsissa flex-fuel autojen suosio on romahtanut. Vielä Euro 4 pakokaasumääräysten voimassa ollessa flex-fuel auto pakokaasusertifioitiin pelkästään bensiinillä. Euro 5 määräykset toivat mukanaan vaatimuksen pakokaasutestauksesta E85-polttoaineella normaalilämpötilassa (noin +25 °C). Euro 6 määräysten mukaan flex-fuel autot pitää mitata E85-polttoaineella bensiiniautojen tavoin myös -7 °C lämpötilassa (Delphi 2013). Kylmäkokeen läpäiseminen saattaa olla haasteellista autonvalmistajille.

Suomessa St1 ja VTT ovat tehneet yhteistyötä E85-polttoaineen kehittämiseksi niin että se toimii mahdollisimman hyvin kylmissä olosuhteissa. Ns. RE85-polttoainelaatu mahdollistaa kylmäkäynnistyksen selvästi alemmassa lämpötilassa kuin peruslaatuinen E85 polttoaine (Laurikko et al. 2013). Lähipäästöjen osalta E85/RE85 ei tarjoa yksiselitteisiä etuja lähipäästöjen osalta. Ainakin aldehydipäästöt lisääntyvät korkeaseosteisia etanolipolttoaineita käytettäessä.

Scaniaalla on jo pitkään ollut tarjolla etanolilla toimiva dieselmoottori lähinnä busseihin (Scania). Koska etanoli ei sellaisenaan syty dieselmoottorissa, polttoaineessa käytetään syttyvyyttä parantavaa lisäaineistusta. Lisäksi itse moottoriin on tehty tiettyjä modifikaatioita (korotettu puristussuhde, lisätty polttoaineensyötön määrä, tietyt materiaaliuutokset). Suomessa on ollut koekäytössä kolme etanolikuorma-autoa vuodesta 2011 lähtien, ja kaksi etanolibussia aloitti liikennöinnin pääkaupunkiseudulla syksyllä 2013 (www.st1.fi).

Scanian etanolimoottori ylittää likimain samaan hyötysuhteeseen kuin tavanomainen dieselmoottori. Polttoaineen ominaisuuksista johtuen hiukkaspäästöt ovat etanolilla selvästi alhaisemmat kuin perinteisellä dieselpolttoaineella. (Nylund et al. 2012)

Perimmäinen syy biopolttoaineiden käytölle ei kuitenkaan ole lähipäästöjen vähentäminen vaan kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen. Liikenteen kasvihuonekaasupäästötaseessa biopolttoaineiden käyttö luetaan nollapäästöiseksi. Pakoputkesta vapautuvan hiilidioksidin oletetaan sitoutuvan uudelleen kasveihin. Mahdolliset kasvihuonekaasupäästöt liitetään polttoaineen tuottamiseen, ns. well-to-tank (WTT) osuuteen (”lähteeltä polttoainesäiliöön”). Tämä siis tarkoittaa sitä, että liikenteen päästökuormaa tavallaan siirretään keinotekoisesti muille sektoreille.

4.4.3 Kaasumaiset polttoaineet

Useimmat kaasut soveltuvat käytettäväksi kipinäsytytysmoottoreissa vaan ei normaalirakenteisissa dieselmoottoreissa.

Parikymmentä vuotta sitten raskaan dieselauton korvaaminen autolla, jossa oli kipinäsytytteinen kaasumoottori alensi lähipäästöjä ja etenkin hiukkaspäästöjä, merkittävästi. Ero on pakokaasuväestöjen kiristyessä pikkuhiljaa kaventunut. EEV-tasoisissa autoissa ero on vielä havaittavissa, mutta Euro VI päästövaatimukset (kuva 29) tulevat häivyttämään erot olemattomiin.

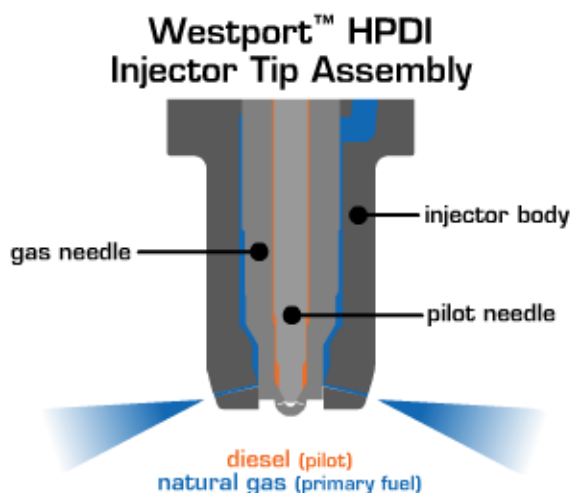
Korvattaessa bensiiniä maakaasulla moottorin hyötysuhde pysyy ennallaan. Kuvan 31 mukaan bensiinin poltto tuottaa 70 g CO₂/MJ ja maakaasun (metaanin) poltto 56 g CO₂/MJ. Näin ollen pakoputkesta mitattu hiilidioksidipäästö alenee noin 20 % metaaniin siirryttäessä. Koko polttoaineketjun ekvivalenttinen hiilidioksidipäästö ei kuitenkaan alene samassa suhteessa. Pitkät maakaasun kuljetusväistydet, putkistojen metaanivuodot ja kaasun paineistuksen tarvitsema energia tekevät sen, että hyöty on enää alle 10 % (83,8 → 78,5 g CO₂ekv/MJ).

Nykyisten raskaiden kaasuautojen osalta tilanne on huonompi. Kipinäsytytysmoottori (ottomoottori) kuluttaa jopa 35 % enemmän energiaa kuin dieselmoottori. Maakaasulla pakoputkesta mitattu hiilidioksidipäästö on samaa tasoa kuin dieselillä, ja koko polttoaineketjun ekvivalenttinen hiilidioksidipäästö jopa korkeampi kuin dieselillä.

Ns. dual-fuel-kaasumoottoreissa on käytössä kaksi polttoainetta samanaikaisesti, pieni osuus dieselpolttoainetta toimii sytytyspolttoaineena ja imusarjaan syötettävä metaani (bio/maakaasu) toimii pääpolttoaineena. Järjestelmän etuna on kipinäsytytysmoottoriin verrattuna dieselmoottorin hyötysuhdetta lähentelevä hyötysuhde. Wärtsilä käyttää tätä konseptia esimerkiksi voimalaitos- ja kaasutankkerimoottoreissa. Ajoneuvokäytössä dieselin korvausaste on 30 – 80 % kuormituksesta ja ajosyklistä riippuen. Kaasun loppuessa moottoria on mahdollista ajaa myös pelkällä dieselpolttoaineella.

Volvolla on tarjolla kaksi dual-fuel kuorma-autoa (Raatikainen 2011): keskiraskas FL/FE-malli 7-litran moottorilla (kaasu paineistettuna, CNG) ja raskas FM-malli 13-litraisella moottorilla (kaasu nesteytettynä, LNG). Viisi Volvo FL dual-fuel-kuorma-autoa on nyt koekäytössä kolmella autooperaattorilla (Itella, PRRS Yhtiöt, Stara) pääkaupunkiseudulla. Volvo on todennut, ettei imusarjaan kaasua suihkuttava dual-fuel tekniikka sovellu kaupunkibusseihin, koska busseille tyypillisessä ajossa korvausaste jää matalaksi.

Seuraava kehitysvaihe on dual-fuel moottori, jossa myös kaasu syötetään suoraan palotilaan. Kanadalainen teknologiayhtiö Westport on kehittänyt ns. HPDI-tekniikan, jossa sekä sytytykseen käytettävä diesel että kaasu syötetään palotilaan saman suuttimen kautta (kuva 33). Tekniikka on monimutkaisempi kuin perinteiden dual-fuel tekniikka, mutta etuina ovat mm. nakutuksen välttäminen, korkeampi kaasun korvausaste ja täydellisemmän palamisen ansiosta pienemmät metaanipäästöt. Westport on tuotteistanut 15-litraiseen Cummins ISX-moottoriin perustuvan HPDI-moottorin. HPDI-moottori tarjoaa täysin dieseliä vastaavat suoritusarvot, ja sitä käytetään rekkavetureissa USA:ssa ja Kanadassa. Riittävän toimintamatkan takaamiseksi kaasu on nestemuodossa (LNG). Pohjois-Amerikan liuskekaasuboomi vaikuttaa siihen, että tämän tyyppisillä tuotteilla on kysyntää. Myös Volvon on kerrottu olevan kiinnostunut Westportin teknologiasta.



Kuva 33. Westportin yhdistetty dieselpolttoaineen ja kaasun HPDI ruiskutussuutin. (Westport 2013)

Volvo teki ensimmäiset DME (di-metyylieetteri) kokeilunsa busseissa 90-luvun lopussa. DME nesteytyy helposti nestekaasun (LPG) tavoin, ja on helposti varastoitavissa. Nestekaasusta poiketen DME:llä on korkea setaaniluku, eli se syttyy helposti dieselmoottorissa. Puhtaasti palava DME mahdollistaa alhaisen päästötason saavuttamisen ilman monimutkaista pakokaasun puhdistusjärjestelmää. Polttoainejärjestelmään joudutaan tekemään muutoksia DME:n alhaisen viskositeetin ja huonon voitelevuuden takia.

Vuosina 2010 – 2012 Ruotsissa toteutettiin kenttäkoe 14 raskaalla FH-autolla (Volvo 2010). Kesäkuussa 2013 Volvo ilmoitti aloittavansa DME-kuorma-autojen myynnin USA:ssa vuonna 2015 (kuva 34, Volvo 2013). DME:tä valmistetaan synteetikaasusta, jota puolestaan voidaan tuottaa joko maakaasusta tai kaasuttamalla kiinteästä biomassasta. Päästövähennysmahdollisuuksien lisäksi lisääntynyt maakaasun tarjonta vaikuttaa myötävaikuttavasti DME:n kiinnostavuuteen Pohjois-Amerikassa.



Kuva 34. Volvon DME-rekkaveturi Pohjois-Amerikan markkinoille. (Volvo 2013)

Koska DME on ilmaa raskaampi helposti syttyvä kaasu, DME:stä tuskin tulee ainakaan kaupunkibussien polttoaine, vaikka Volvo aloittikin kokeilunsa busseista. Sisäterminaaleihin ajaminen aiheuttaisi turvallisuusriskin.

4.5 Sähköajoneuvot

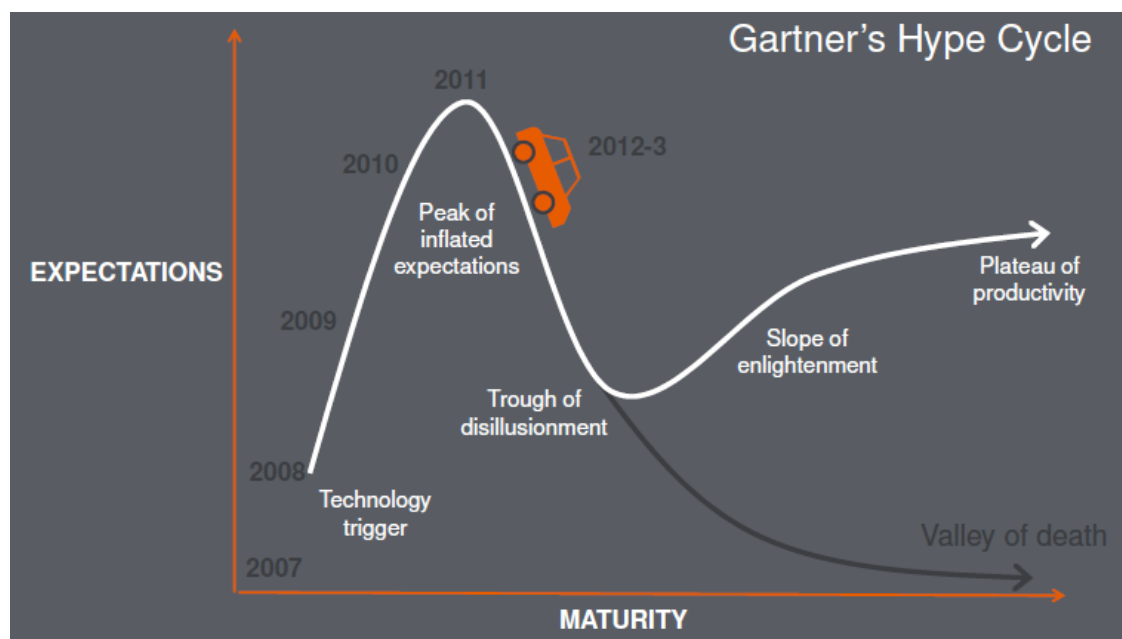
4.5.1 Yleistä

Vuoden 2009 tilanteeseen nähden kehitys on ollut nopeinta sähköautojen kohdalla. Vuoden 2009 HLJ tekniikkaraportissa todettiin:

"Kiinnostus henkilöautoluokan sähköautoihin on viriämässä, ja useampi suuri autonvalmistaja (Mitsubishi, Renault, Toyota) on ilmoittanut tuovansa markkinoille akkusähköautoja..... Siinä missä akkusähköauto ainakin on ensisijaisesti kaupunkiauto ja kakkosauto, plug-in hybridi voisi hyvinkin toimia perheen yleisautona. Niinpä lähes kaikki autonvalmistajat ovat ilmoittaneet kehittävänsä PHEV-ratkaisuja."

Sähköautojen kaupallinen tarjonta on todellakin käynnistynyt. Useat merkittävät autonvalmistajat kykenevät nyt tarjoamaan sähköautoja. Takaiskujakin on koettu, sillä kuluttajat eivät ole ottaneet sähköautoja omikseen niin nopeasti kuin monet tahot olivat uskoneet tai toivoneet. Suomessa takaiskuja olivat mm. European Batteries akkutehtaan konkurssi kesällä 2013, ja Valmet Automotiven kannalta Think ja Fisker Karma sähköautojen tuotannon lyhyt kaari.

Kuvassa 35 on havainnollistettu sähköautoihin kohdistettuja odotuksia. Kuvan mukaan ylimitoitettut odotukset olivat kuumimmillaan 2011. Tämän jälkeen odotuksiin on tullut realismia, ja nähtäväksi jää, tekevätkö sähköautot todellisen läpimurron.



Kuva 35. Sähköautoihin kohdistetut odotukset. (Beeton 2013)

Aikaisemmin eräät tahot ennakoivat, että sähköautojen myötä markkinoille tulee suuri joukko uusia valmistajia. Totuus lienee kuitenkin se, että valtaosa sähköautoistakin tulee tunnetuilta suurilta autonvalmistajilta. Poikkeuksia tietenkin löytyy, esimerkiksi yhdysvaltalainen loistoluokan henkilöautoja valmistava Tesla ja kiinalainen BYD, alun perin akkutehdas, joka nyt valmistaa sekä henkilöautoja että busseja.

Seuraavassa sähköautoilla tarkoitetaan verkosta ladattavia autoja, sekä lataushybridejä että täyssähköautoja.

4.5.2 Henkilöautot

Japanilainen Mitsubishi i-MiEV (ja sen sisarmallit Citroen C Zero ja Peugeot i-On) oli ensimmäinen massamarkkinoille tarkoitettu akkusähköauto. Auton pohjana on alun perin polttomootorilla varustettu japanilaisen pikkuluokan, ns. kei car-luokan, auto. Sähköversion myynti alkoi Japanissa 2009 ja Euroopassa 2010. Renault-Nissan yhteenliittymä on panostanut vahvasti sähköautoihin. Alunperinkin sähköautoksi suunnitellun Nissan Leafin myynti alkoi Japanissa ja USA:ssa vuonna 2010, ja Euroopassa vuotta myöhemmin.

Renault aloitti polttomootoriautoihin perustuvilla Fluence ja Kangoo malleilla. Renault liittoutui akunvaihtojärjestelmiä toimittavan israelilaisen Better Place:n kanssa, ja mm. Tanskaan rakennettiin useita akunvaihtopisteitä. Tässä tuli takaisku keväällä 2013 kun Better Place meni konkurssiin, ja Renault otti takaisin kaikki noin 400 Tanskaan toimitettua Fluence-autoa (Winter 2013). GM toi ensimmäisenä markkinoille lataushybridin. Sisarmalleista Chevrolet Volt tuli myyntiin 2010, eurooppalainen versio Opel Ampera 2011. GM käyttää autotyypistä nimitystä "extended range electric vehicle EREV", tähdentäen tällä sitä että varsinainen ajomoottori on sähköinen.

Toyota puolestaan toi Priuksen PHEV (plug-in hybrid vehicle) version markkinoille 2012.

Sittemmin mm. Audi, BMW, Ford, Mercedes-Benz ja Volkswagen ovat liittyneet sähköautovalmistajien joukkoon. Se että myös eurooppalaiset autonvalmistajat ovat heränneet sähköautoihin, johtuu osittain siitä, että autonvalmistajien keskimääräistä CO₂ päästöä määrittäessä alle 50 g/km päästävät autot, mukaan lukien sähköautot, saavat vuoteen 2016 asti ns. supercreditin. Tämä tarkoittaa että vuonna 2013 yksi nollapäästöinen sähköauto lasketaan keskiarvoon kertoimella 3,5. Vuonna 2014 kerroin on 2,5 ja vuonna 2015 1,5 (asetus (EY) n:o 443/2009).

Taulukkoon 4 on koottu eri sähköautojen (henkilöautojen) tietoja.

Eri autonvalmistajat lähestyvät sähköautoja eri suunnista. Audin ja Volvon PHEV-autoissa painotus on selvästi suorituskyvyssä. Toyota Prius PHEV –autossa on pieni akku, alle 5 kWh, ja ilmoitettu toimintamatka on vaatimattomat 25 km. Opel Amperassa on iso akku, 16 kWh, ja ilmoitettu toimintamatka sähköllä on 40 – 80 km.

Kuvassa 36 oleva uusi BMW i3 on esimerkki kompaktista, vasta vasten sähkökäyttöiseksi tehdystä autosta.

Taulukko 4. Sähköhenkilöautojen tietoja. Suuntaa antavia lukuja. (Eri lähteistä, tähdellä merkityt www.miljofordon.se)

Malli	Myyntiin (vuosiluku)	Tyyppi	Akun koko (kWh)	Sähkön kulu- tus (kWh/km)	Toimintamatka sähköllä (km)
BMW i3	2013	BEV	18.8	0,129	190
Ford Focus EV*	2013	BEV	23	0,15	162
Mercedes-Benz B EV		BEV	28	?	184
Mitsubishi i-MiEV	2009	BEV	16	0,135	150
Nissan Leaf*	2010	BEV	24	0,15	199
Renault Fluence	2010	BEV	22	?	200
Tesla S*	2013	BEV	85	0,17	483
Volkswagen e-up!*	2013	BEV	18,7	0,117	160
Audi A3 e-tron	2014	PHEV	?	?	50
Opel Ampera*	2011	EREV	16	0,24	40 – 80
Toyota Prius PHEV*	2012	PHEV	4,4	0,26	25
Volvo V60*	2013	PHEV	?	0,28	50



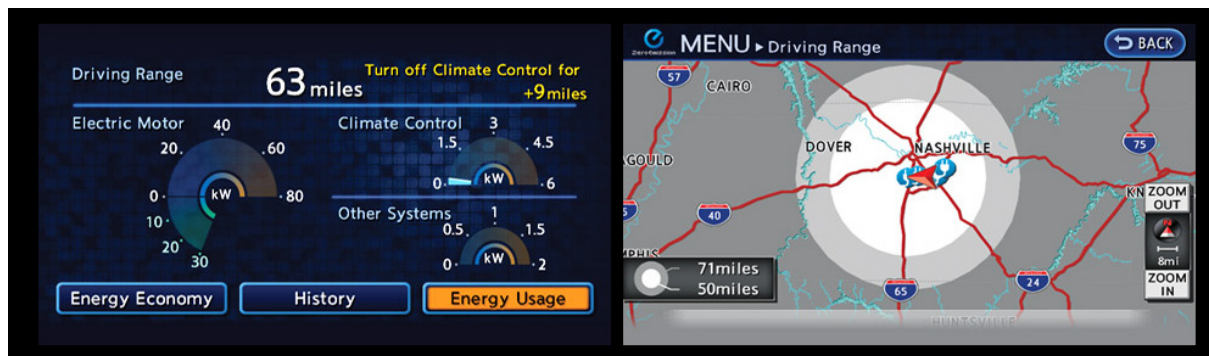
Kuva 36. BMW i3. (www.bmw.com)

Toimintamatka on täyssähköautolle varsin kriittinen suure. Akun tyhjentymässä tien päällä ei ole muuta vaihtoehtoa kuin laittaa auto hinaukseen. Ilmoitettuihin toimintamatkoihin sähköllä kannattaa suhtautua varauksella. Eri valmistajien ilmoitukset vaihtelevat suuresti, ja valmistajien ilmoittamiin lukuihin on käytännössä mahdotonta päästä.

ECE säännösten mukaan sähköauton toimintamatka määritellään toistamalla ns. NEDC-sykliä (myös polttomootoriautojen sertifiointissa käytetty ajosykli) niin kauan kunnes auto ei enää saavuta 50 km/h nopeutta. Lisäksi testi suoritetaan ilman valoja tai lisälaitteiden käyttöä (ECE R-101).

Yhdysvalloissa on käytössä poikkeava, EPA:n (Environmental Protection Agency) määrittelemä mittaumenetelmä.

Kuvassa 37 on Nissan Leafin varsin kehittynyt informaatiojärjestelmä. Näytössä on esillä voimalinjan, ilmastointilaitteiston ja muiden apulaitteiden hetkellinen teho sekä ennuste jäljellä olevasta ajomatkasta. Jäljellä oleva ajomatka näytetään myös ympyränä navigaattorin näytössä.



Kuva 37. Nissan Leafin informaatiojärjestelmä. (www.nissan.com)

VTT:llä on tutkittu sähköautojen energian käyttöä ja tässä yhteydessä sekä lämpötilan, ajosyklin ja sähköisen lämmityslaitteen vaikutuksia ajomatkaan (Laurikko et al. 2012). Taulukossa 5 on esitetty ajosyklin ja testilämpötilan vaikutus toimintamatkaan. Kokeet on tehty Citroen C Zero autolla, jonka toimintamatkaksi ilmoitetaan 150 km (10 km lyhyempi kuin Mitsubishi i-MiEV sisarautolla). Kokeet ajettiin ilman valoja, lämmitystä tai muita apulaitteita.

Lämpimässä (+23 °C) NEDC perusmittauksessa toimintamatka jää jo 17 % alle ilmoitetun arvon (124 km vs, 150 km). Keskiarvo kaikille testisykleille oli 100 km, eli 33 % alle ilmoitetun. Pakkasessa (-20 °C) NEDC tulos on enää 88 km, eli 41 % alle ilmoitetun. Keskiarvo kaikille sykleille on 79 km, eli 47 % alle ilmoitetun.

Taulukossa 6 on tulokset -20 °C niin että käytössä on 4,5 kW:n tehoinen sähköinen lämmityslaitte. Tulokset ovat melko raflaavia, NEDC tulos on enää 53 km, eli vain 1/3 ilmoitetusta. Lämmityslaitteen käyttö lyhentää ajomatkaa 11 – 59 %. Vaikutus on pienimmillään moottoritieajossa, jossa auto itsessään kuluttaa paljon energiaa, ja suurimmillaan hitaassa kaupunkiajossa.

Taulukko 5. Ajosyklin ja testilämpötilan vaikutus sähköauton toimintamatkaan. Lämmityslaite ei käytössä. (Laurikko et al. 2012)

cycle	estimated range		difference -20 vs. +23 %
	+23 °C km	-20 °C km	
NEDC	124	88	-29 %
Helsinki City	125	106	-15 %
Artemis Urban	99	74	-26 %
Road, FIN	91	70	-23 %
Artemis Road, EV*	113	90	-20 %
Artemis Motorway, EV*	72	53	-26 %
average, all cycles	100	79	-21 %

*EV denotes that warm-up part of the cycle is omitted

Taulukko 6. Lämmityslaitteen käytön vaikutus sähköauton toimintamatkaan -20 °C lämpötilassa eri ajosykleillä. (Laurikko et al. 2012)

at -20 °C, using 4.5 kW heater	heater energy kWh	total energy kWh	est. range km	relative impact %
cycle				
NEDC	0.134	0.334	53	-40 %
Helsinki City	0.236	0.402	44	-59 %
Artemis Urban	0.256	0.494	36	-52 %
Road, FIN	0.055	0.307	57	-18 %
Artemis Road, EV*	0.075	0.270	65	-28 %
Artemis Motorway, EV*	0.043	0.371	47	-11 %

Sähköautojen tullessa markkinoille henkilöautojen lataus tapahtuu aluksi pääasiassa ns. hitaalla latauksella 16 A:n pistorasioista. Syöttöteho on tällöin n. 3,7 kW, ja kaikki sähköautojen akkutyypit sietävät latauksen tällä teholla. Suomessa latauksessa voidaan tietyin modifikaation hyödyntää olemassa olevia lohkolämmitinpistorasioita. Laajamittainen sähköautojen käyttöönotto ja tasapuolinen sähköautojen käytön mahdollistaminen edellyttävät kuitenkin julkisen latausjärjestelmän rakentamista, mukaan lukien tietty määrä ns. pikalatausasemia. Suomessa mm. ABC ketju on ryhtynyt rakentamaan pikalatauspisteitä. Tällä hetkellä näitä on 7 kappaletta (www.abcasemat.fi). Ajan- tasainen luettelo sähköautojen latauspisteistä löytyy ositteesta www.sähköinenliikenne.fi.

Lataustekniikan kehittymisen hidasteena on lukuisa joukko erilaisia latauspistokestandardeja ja maakohtaisia turvallisuusmääräyksiä. Kuvassa 38 on esitetty eri latausvaihtoehtoja ja pistoketyyppejä sähköautoille.

Level 1	Normal charging (up to 3.7kW / AC)		
	> 230V, 16A, 1-phase (Plugs: Schuko/CEE blue/Yazaki AC) > Charges a 40kWh battery in about 11 hours > Charging when parking for a long time (at home/workplace)	Schuko	CEE blue
Level 2	Fast Charging (up to 44kW / AC)		
	> 400V, 32A, 3-phases (Plugs: CEE red/Marechal) > 400V, 63A, 3 phases (Plug: Type 2) > 110V-500V, 32A, single- or polyphase (Plug: Type 3) > Charges a 40 kWh battery in about 1 hour > Public charging (e.g. parking areas, parking garages)	Type 1 (Yazaki)	CEE red
Level 3	Ultra fast charging (up to 50 kW / DC and higher)		
	> 400V, 120A DC (Plug: Yazaki JARI Level III – CHAdeMO) > Charges a 40 kWh battery in about 30 minutes > Very expensive charging stations with rectifiers > Charging where high ranges are needed (e.g. freeways)	Type 2	Type 3
			
		Yazaki Jari Level III (DC)	

Kuva 38. Eri latausvaihtoehdot ja esimerkkejä pistokkeista. (RWE 2010)

Sähkölaitteiden kansainvälisestä standardoinnista vastaavan IEC:n (International Electrotechnical Commission) standardi IEC 61851-1 (edition 2.0) määrittelee seuraavat lataustavat (IEC 2010):

Mode 1:

- sähköauton liittäminen vaihtosähköverkkoon (AC= vaihtosähkö) käyttäen standardoituja pistokkeita, virta maks. 16 A, jännite enintään 250 V yksivaiheisena tai 480 V kolmivaiheisena

Mode 2:

- sähköauton liittäminen vaihtosähköverkkoon käyttäen standardoituja pistokkeita, virta maks. 32 A, jännite enintään 250 V yksivaiheisena tai 480 V kolmivaiheisena. Lisävaatimuksena on sähköiskulta suojaava vikavirtasuojakytkin.

Mode 3:

- sähköauton liittäminen vaihtosähköverkkoon käyttäen erikoispistokkeita, virta maks. 63 A, jännite enintään 250 V yksivaiheisena tai 480 V kolmivaiheisena. Liitäntäyksikössä (EVSE = Electric Vehicle Supply Equipment) on kommunikointia auton ja syötön välillä, sisältäen erinäisiä ohjaus- ja suojafunktioita

Mode 4:

- käytetään auton ulkopuolista tasasuuntaajaa, johon sisältyy ohjaus- ja suojafunktioita.

Standardi IEC 61851-1 ei ota kantaa latausnopeuteen. Vesa (2010) määrittelee neljä latausnopeutta: hidas, keskinopea, nopea ja erittäin nopea (taulukko 7).

Taulukko 7. Latausteho- ja aika eri latausvaihtoehdoilla. (Vesa 2010)

Latausteho	Latausaika, 30 kWh akku	
250 kW	6 min	Erittäin nopea DC-lataus auton ulkopuolisella laturilla (Mode 4)
50-75 kW	15-30 min	Nopea DC-lataus auton ulkopuolisella laturilla (Mode 4)
10 kW	3 h	Keskinopea lataus, 400 V, 3P, AC-lataus (Mode 2/3)
3 kW	10-12 h	Hidas lataus kotitalouspistokytkimellä 230 V, 1P, AC-lataus (Mode 1)

Yksinkertaisimmillaan syöttönä on 230 V yksivaiheiliitäntä jossa on joko 10 tai 16 A:n sulake (kuvan 6.1 Level 1 ja IEC Mode 1). Syöttötehoksi tulee tällöin 2,3 tai 3,7 kW. Täyssähköauton akun koko on tyypillisesti 15 – 30 kWh, joten 16 A:n sulakkeella täysin purkautuneen akun lataus kestää suuruusluokkaisesti 4 – 8 tuntia. Akkujen sietämä latausvirta vaihtelee suuresti C-arvon¹ ollessa haarakassa 0,5 – 10. Arvo 0.5C tarkoittaa 2 tunnin latausaikaa, arvo 10C tarkoittaa 6 minuutin latausaikaa.

Keskinopea/nopeassa latauksessa (Level 2, IEC Mode 2/3) latausteho on 10 – 40 kW. Latausaika on muutamien tuntien luokkaa akkukapasiteetista riippuen. Varsinaisessa pikalatauksessa tasasähköllä (Level 3, IEC Mode 4) teho voi olla yli 50 kW luokkaa lataus- ja akkutekniikasta riippuen. Latausaika on alle 30 minuuttia. Nopeutettua latausta käytettäessä latausta hidastetaan lopussa akun suojelemiseksi (Tikka 2010). Vaihtoehtoisesti lataus lopetetaan kun akun varaustila on noin 80 %.

Sähköautojen määrän lisääntyessä lataukseen tarvitaan älykästä ohjausta, muuten sähköautot lisäävät sähköverkon kuormituspiikkejä. Koska sähköautot kuitenkin yleistyvät hitaasti, tulee keskimäärin vuosia ja jopa vuosikymmeniä ennen kuin sähköautoilla on merkitystä tarvittavan sähkön tuotantokapasiteetin kannalta.

¹ Akkujen yhteydessä käytetään usein kirjainta C kuvaamaan akun virransietokykyä lataus- tai purkutilanteessa. C-arvon ollessa 1 (1C) akku voidaan ladata tai purkaa yhdessä tunnissa. Sähköauton akku mitoitetaan tyypillisesti 3C:n hetkelliselle purkausvirralle. Tämä tarkoittaa, että täyssähköauton kohdalla esim. 30 kWh:n akustosta saadaan hetkellisesti 90 kW:n teho. Vastaavalla teholla tai virralla ladattaessa lataus kestäisi 1/3 tuntia eli 20 minuuttia.

4.5.3 Hyötyajoneuvot

Sähköauto on kallis investointi, mutta sähköauton käyttö on yleensä edullista. Niinpä sähköisiin hyötyajoneuvoihin, joita käytetään paljon, on huomattavasti helpompaa saada kannattavuutta kuin yksityisiin henkilöautoihin. Lisäksi hyötyliikenne on usein suunnitelmallista ja sidottua tiettyihin reitteihin, hyvänä esimerkkinä bussiliikenne. Näin ollen tarvittava toimintamatka ja käytettävissä oleva latausaika ovat hyvinkin tiedossa.

Edellisessä kohdassa mainittu Renault Kangoo voidaan katsoa pieneksi hyötyajoneuvoksi. Seuraavaan kokoluokkaan esim. Mercedes-Benz tarjoaa sähköistä vaihtoehtoa, Vito E-CELL (kuva 39). Auton toimintamatkaksi ilmoitetaan NEDC testin mukaisesti 130 km.



Kuva 39. Mercedes-Benz Vito E-CELL. (www.mercedes-benz.fi)

Kuorma-autopuolella tarjonta ei toistaiseksi ole kovinkaan runsasta. Daimler-yhtymään kuuluva Mitsubishi Fuso on kehittämässä sähkökäyttöistä kevyttä kuorma-autoa (kuva 40). Autossa on 40 kWh:n akusto, joka antaa 120 km:n toimintamatkan. Auton kokonaispaino on noin 5000 kg.



Kuva 40. Mitsubishi Fuso E-CELL kuorma-auto. (www.mitsubishi-fuso.com).

Balqon puolestaan on yhdysvaltalainen sähköautoihin keskittynyt erikoisajoneuvojen valmistaja. Valikoimaan kuuluvat lähinnä terminaali- ja rakennusajoneuvot Nautilus XE20 ja XE30 –mallit sekä raskas Mule 150 –kuorma-auto kokonaispainoltaan 24 tonnia (kuva 41). Mule 150:n kantavuus on 7 tonnia. Järeästi rakennetussa autossa on vetävä teli. Moottorin teho on 300 hv (220 kW),

ja autossa on kuusiportainen automaattivaihteisto riittävän vetokyvyn ja nopeuden takaamiseksi. Akuston koko on peräti 280 kWh, ja toimintamatkaksi ilmoitetaan 240 km tyhjällä autolla ja 150 km täyteen kuormatulla autolla. Spesifikaatioidensa perusteella Mule 150 voisi sopia esim. jäteauton alustaksi.



Balqon Mule 150

Kuva 41. Raskas Balqon Mule sähköauto. (www.balqon.com)

Kaupunkibussit ovat sähköisten hyötyajoneuvojen osalta se segmentti, joka kehittyy kaikkein kovinta vauhtia. Syynä on mm. se, että julkinen sektori yleensä vastaa joukkoliikenteen operoinnista tai tilaamisesta. Näin ollen kaupungit ja kuntayhtymät voivat itse määritellä ”pelisäännöt”. Sähköbussit ovat paikallisesti päästöttömiä, ja sähkön tuotantorakenteesta riippuen ne voivat myös alentaa hiilidioksidipäästöjä.

HSL on asettanut tavoitteekseen joukkoliikenteen päästöjen merkittävän vähentäminen vuodesta 2010 vuoteen 2018 (Mäkinen, TransEco-seminariesitys 10.10.2013):

- typenoksidi- ja hiukkaspäästöt -80 %
- hiilidioksidipäästöt -50 %.

Tavoitteiden saavuttaminen edellyttäne bussiliikenteen osittaista sähköistämistä. Metro-lehden (9.12.2013) mukaan HSL tavoittelee noin 100 sähköbussia vuonna 2018.

Volvo Bus:in ympäristöjohtaja Edward Jobson kuvailee sähköbusseja seuraavasti (Jobson 2012):

Tarpeet ja tavoitteet:

- alhainen melutaso
- energiatehokkuus
- matalapäästöisyys/nollapäästöisyys
- kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen
- kestävien energialähteiden hyödyntäminen.

Epävarmuustekijät:

- kestävyys (lähinnä akut)
- toimintamatka
- kustannukset (tulee voimakkaasti esiin liikenteen tilaajien taholta)
- yhteensopivuus infrastruktuurin kanssa.

Sähköisiä henkilöautoja voidaan ainakin jossain määrin tarkastella pelkästään ajoneuvoteknisestä näkökulmasta. Henkilöauton hidas lataus onnistuu melkein mistä tahansa sähkörasiasta.

Sähköbussien kohdalla tilanne on toisenlainen. Sähköbussi poikkeaa merkittävästi niin sähköhenkilöautosta kuin dieselbussista, ja sitä on tarkasteltava kokonaisjärjestelmän kannalta. Diesel- ja sähköbussien vertailussa voidaan todeta seuraavaa (Nylund 2013):

Dieselbussille on ominaista:

- suuri autonomia ja joustavuus
- toimintamatka yhdellä tankkauksella hyvinkin yli 1000 km
- ei erityisiä vaatimuksia infrastruktuurille
- yleispätevyys, voidaan siirtää käyttökohteesta toiseen
- helppo vaihtoehto niin operaattorin kuin liikenteen tilaajan kannalta.

Sähköbussille on ominaista:

- sähköbusseja tulee tarkastella kokonaisjärjestelmän kannalta, ei pelkästään ajoneuvoteknisestä näkökulmasta
- rajoitettu toimintamatka, ei sovellu kaikkiin käyttökohteisiin
- vaatii erityisen infrastruktuurin
- latausjärjestelmiä ei ole vielä standardoitu (vaihtoehtoina kaapeli, pantografi, induktiivinen lataus ja näiden ryhmien sisällä lisäksi eri vaihtoehtoja)
- lataus on huomioitava esim. terminaalien rakenteissa
- epäselvyys infrastruktuurin määrittelyssä ja siinä, kuka vastaa infrastruktuurista
- sähköbusseja ei välttämättä voi siirtää kohteesta toiseen
- sähköbussit ovat suuri haaste niin operaattoreille kuin liikenteen tilaajille
- miten huomioida sähköbussit kilpailutuksessa?

Sähköbussit tulevat olemaan haaste myös sähköverkon osalta. Lataustehot voivat suurimmillaan olla 500 kW bussia kohti, ja jos samaan aikaan varikolla tai terminaalissa pitäisi ladata 10 bussia, tarvittava paikallinen teho on jo 5 MW. Kun bussi pikaladataan, pikalataus vaatii useimmiten fyysisen paikan, missä lataus tehdään. Onko mahdollista järkevällä tavalla rakentaa riittävästi latauspaikkoja, vai pitääkö lataus hoitaa osittaisilla ajojohtimilla?

Kuvassa 42 on esitetty vaihtoehtoisia akku- ja latausratkaisuja. Yksinkertaisin muttei välttämättä kokonaistaloudellisin vaihtoehto on bussin varustaminen niin suurilla akuilla, että se pystyy toimimaan koko ajovuoron yhdellä latauksella. Akun kokoa voidaan arvioida seuraavasti:

- tyypillisessä bussisyklissä akulta otettava energia on noin 1,0 kWh/km
- akkujärjestelmä painaa pyöreästi 10 kg/kWh
- akun kapasiteetista voidaan hyödyntää luokkaa 80 %
- 300 km:n ajoon tarvitaan akku, jonka nimelliskapasiteetti on 375 kWh (tehollinen 300 kWh), ja joka painaa lähes 4000 kg.

Esimerkkinä
12-metrinen bussi



	Lataus reitin varrella	Lataus pääte-pysäkillä	Kertalataus (yöllä)	Akkujen vaihto
Latauksia/pv	150 – 250	5 – 20	1	3 – 8
Akkukapasit.	5 – 10 kWh	50 – 100 kWh	200 – 400 kWh	50 – 200 kWh
Purkunopeus	~ 15 C	~ 2 C	< 0,5 C	~ 1 C
Latausnopeus	~ 50 C	~ 5 - 10 C	< 0,2 C	Riippuu käyttöasteesta
	Pikalataus		Hidas lataus	

Kuva 42. Bussien vaihtoehtoisia akku- ja latausratkaisuja. (Sauer et al. 2013)

Kuvassa 42 esitetyt päävaihtoehdot ovat:

- lataus reitin varrella
otullaan toimeen pienellä akustolla (5 – 10 kW)
okyseessä on käytännössä johdinauton ja akkusähköbussin välimuodosta
- lataus pääte-pysäkeillä
oakuston koko 50 – 100 kW
- kertalataus
otäyskokoiset akut, 200 – 400 kWh
olataus varikolla yön aikana
- akkujen vaihtojärjestelmä
oakkujen koko 50 – 200 kWh
oei kovin todennäköinen ratkaisu (vrt. Better Place konkurssi).

Latausaika vaihtelee ja näin ollen myös akkujen rasitus vaihtelee suuresti. Kertalatauksessa latausnopeus on luokkaa 0,2C, tarkoittaa että lataus kestää noin 5 tuntia. Reititin varrella tapahtuvassa latauksessa latausnopeus on Sauerin et al.:in mukaan luokkaa 50C, mikä aikana tarkoittaa noin 1 minuuttia. Mikä tahansa akkukemia ei kestä näin rajua latausta.

Lataustehon siirrossa on kaksi päävaihtoehtoa:

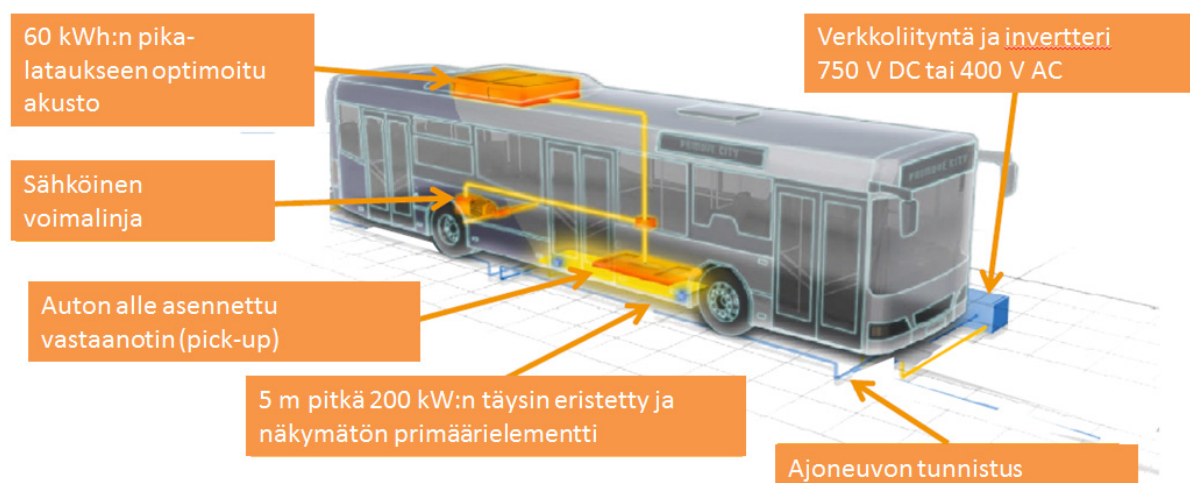
- kosketuksellinen (konduktiivinen)
- induktiivinen.

Kosketuksellinen lataus hoidetaan yksinkertaisimmillaan manuaalisesti kytkettävällä kaapelilla. Tämä tulee lähinnä kyseeseen varikolla yön yli tapahtuvassa latauksessa. Reititin varrella tai pääte-

pysäkillä tapahtuva kosketuksellinen lataus on pakko automatisoida. Siemens on kehittänyt panto-grafiin perustuvan järjestelmän (vrt. kuva 28), jollaista kokeillaan mm. Wienissä (Holl 2013).

Kuvan 42 toisessa pikkukuvassa vasemmalta näkyy ranskalaisten kehittämä WATT-latausjärjestelmä. Vaikka kuvassa 42 tässä kohdin on otsikko ”lataus päätepysäkeillä”, WATT-järjestelmä on kuitenkin tarkoitettua asennettavaksi joka pysäkille. Erikoiseksi järjestelmän tekee se, että siihen kuuluu pysäkkikohtainen superkondensaattoreihin perustuva energiavarasto. Järjestelmä tasaa kuormapiikkejä sähköverkon suuntaan. (Michelin 2013)

Ainakin kanadalainen Bombardier (Köbel 2013) ja saksalainen Conductix-Wampfler (Wechlin 2013) kehittävät induktiivisia latausjärjestelmiä. Kuvassa 43 on Bombardierin järjestelmä. Järjestelmän tehosiirtokyky on 200 kW. Maahan upotetun ”lähettimen” pituus on 5 metriä, autoon asennetun ”vastaanottimen” koko on 0,9 * 2,2 m². Bombardierin mukaan järjestelmä toimii myös lumisissa ja jäisissä olosuhteissa. Ilmeistä on kuitenkin, että tehohäviöt ovat suuremmat kuin kosketuksellisissa järjestelmissä.



Kuva 43. Bombardierin induktiivinen latausjärjestelmä. (Köbel 2013)

Vielä joitakin vuosia sitten sähköbussien (pois lukien johdinautot) tarjonta oli hyvin rajoitettua. Tarjolla oli lähinnä pienten valmistajien ja konversiopajojen alle 10 metrisiä autoja. Nyt sähköbussien tarjonta voimakkaassa kasvussa, ja tarjolla on myös täysikokoisia (12 m) autoja. Voidaan perustellusti sanoa että kiinalaiset valmistajat avasivat pelin, ja että eurooppalaiset valmistajat seuraavat perässä.

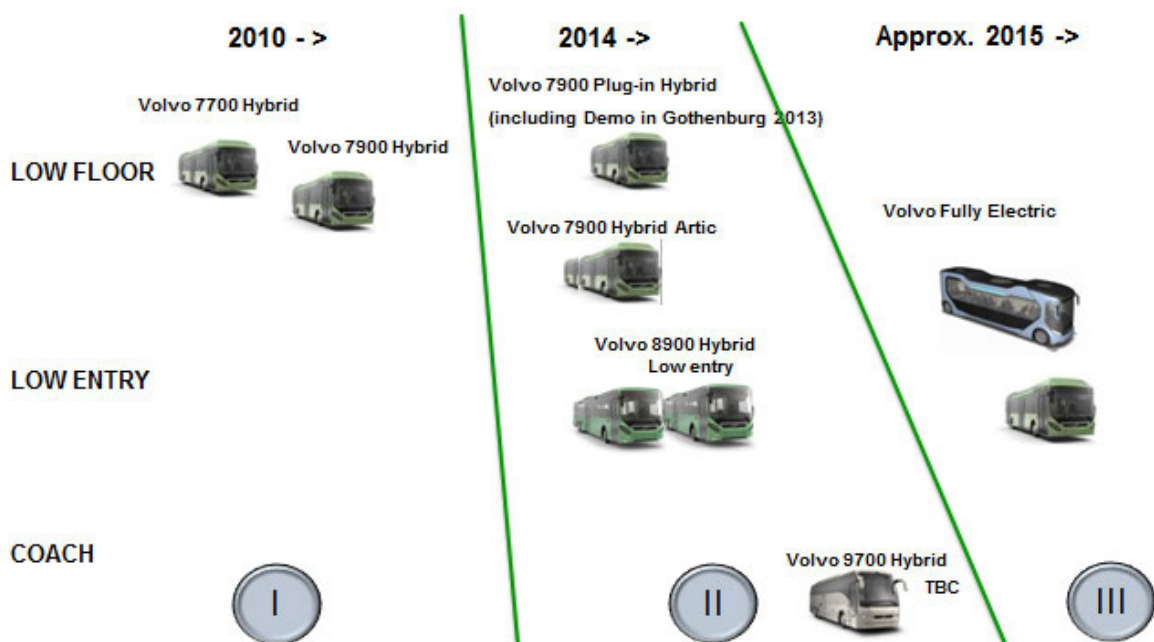
Kiinalaisia valmistajia ovat mm. BYD (ehkä kiinalaisista tunnetuin), Foton, Shandong, Sunwin (Volvo osakkaana), Zhontong ja Yutong. Eurabus puolestaan on saksalais-kiinalainen yhteisyritys, Ebusco hollantilais-kiinalainen. (Ojamo 2012)

Berliinissä järjestettiin helmikuussa 2013 konferenssi ”4th VDV Academy Conference Electric Buses – Market of the Future!” (www.vdv-akademie.de). Vaikka konferenssi pidettiin Saksan maaperällä, paikalliset isot autonvalmistajat eivät pitäneet esityksiä. Suurista valmistajista ainoana esiintyi Volvo. Sen sijaan useampi pienempi tai riippumaton valmistaja esitti sähköautokokemuksiaan:

esim. Solaris, VDL, Hess, Rampini ja Cegelec. Kiinasta todettiin, että Kiinassa on käytössä yli 3000 akkusähköbussia. Eurooppa on selvästi kehityksestä jäljessä. Esim. Solaris esitteli midikokoisilla autoilla (n. 9 m) lyhytaikaisista kokeiluista saatuja tuloksia ("viikko siellä, viikko täällä"). Täysikokoiset (12 – 13 m) eurooppalaiset sähköbussit ovat vasta tuloillaan.

Volvo kuitenkin liputtaa voimakkaasti sähköistyksen puolesta. Kuten kohdassa 4.3 mainittiin, Volvo luopuu kaupunkibussien osalta perinteisestä voimalinjasta. Kuvassa 44 on Volvon sähköistämistästrategia. Jo tuotannossa joitakin vuosia olleen rinnakkaishybridin jatkoksi tulee lataushybridi, aluksi koekäyttöön Göteborgiin 2013 ja sitten markkinoille 2014. Täyssähköinen bussi (muu kuin Sunwin) on odotettavissa vuonna 2015.

Jobson (2012) perustelee etenemistä lataushybridin kautta sillä, ettei lataushybridi aseta yhtä suuria vaatimuksia infrastruktuurille kuin täyssähköbussi. Näin kaupungille ja kunnille jää enemmän aikaa kehittää sähköbussien tarvitsemaa infrastruktuuria. Jobsonin mukaan Volvo on myös tehnyt päätöksen siitä, ettei Volvo jatkossa toimita kaasubusseja.

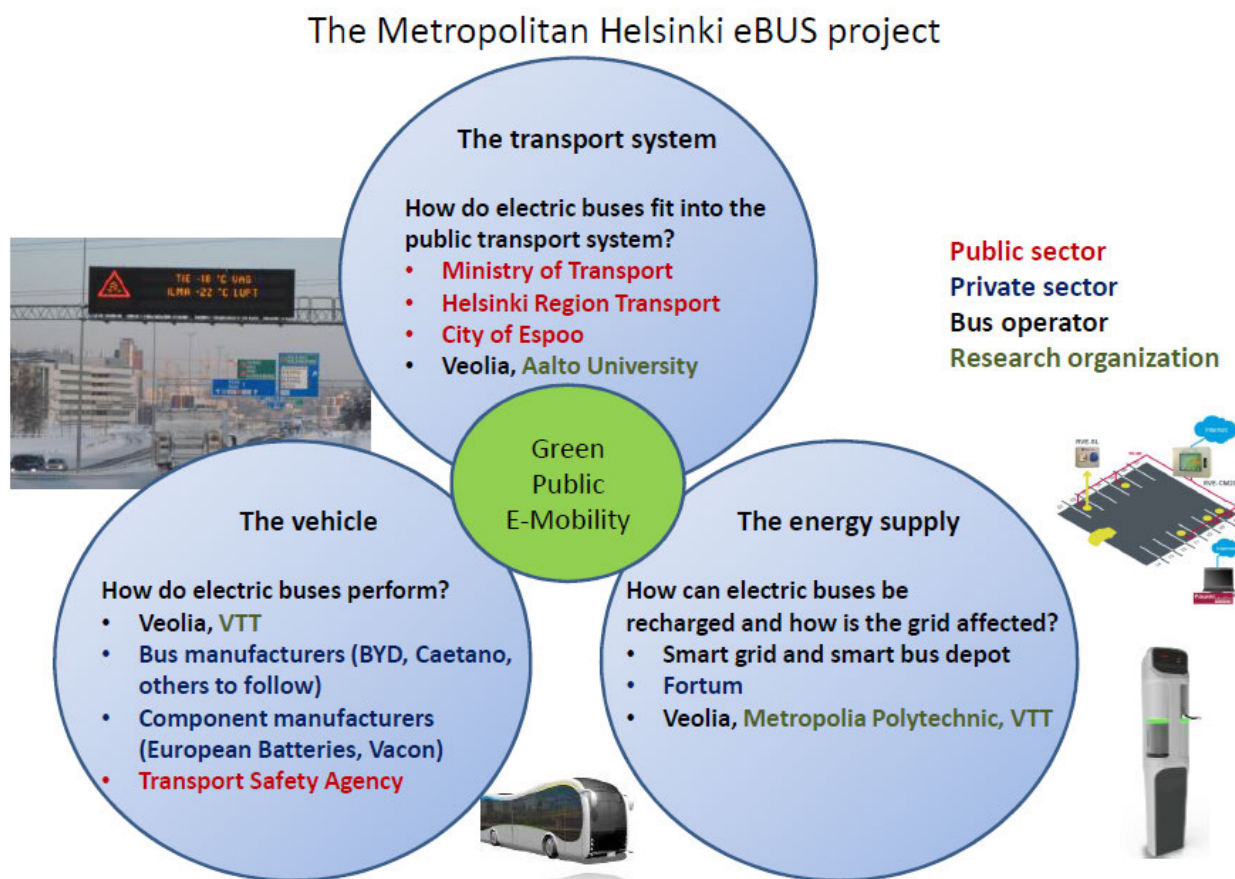


Kuva 44. Volvon sähköistämistästrategia. (Jobson 2012)

4.5.4 Pääkaupunkiseudun eBus hankekokonaisuus

Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus Tekes käynnisti vuonna 2011 ohjelman "EVE – Sähköisten ajoneuvojen järjestelmät 2011–2015" (<http://www.tekes.fi/ohjelmat-ja-palvelut/ohjelmat-ja-verkostot/eve/>). Ohjelma edistää sähköisiin ajoneuvoihin ja työkoneisiin liittyvän liiketoiminnan kehittymistä. Ohjelmassa on yhteensä viisi ns. testiympäristöä, joista yksi on VTT:n koordinoima hyötyajoneuvoihin keskittyvä Electric Commercial Vehicles (ECV). ECV-kokonaisuuteen kuuluu useampia osahankkeita, joista tässä yhteydessä mainittakoon sähköbussihanke eBus ja sähkövarastoihin liittyvä eStorage-hanke (<http://www.ecv.fi/>).

eBus-hankkeen rakenne ja toimijat on esitetty kuvassa 45. Hanketta rahoittavat Tekesin lisäksi liikenne- ja viestintäministeriö, Helsingin seudun liikenne ja Espoon kaupunki. Toimijoina ovat autojen operoinnin osalta Veolia Transport Finland, tutkimuksen osalta VTT, Aalto Yliopisto ja Metropolia ammattikorkeakoulu. Muita partnereita ovat mm. liikenteen turvallisuusvirasto TraFi, komponenttivalmistajat ja latauksen osalta Fortum.



Kuva 45. eBus-hankkeen rakenne ja toimijat. (Nylund 2013)

eBus-hankkeella pyritään varautumaan sähköbussseilla toteutettavaan metron syöttöliikenteeseen. Veolia operoi sähköbussseja Espoon sisäisellä linjalla 11, jonka on päätelty simuloivan tulevaa syöttöliikennettä kohtuullisen hyvin. Tarkoituksena on vertailla usean eri valmistajan autoja toisiinsa. Liikennöinti alkoi syksyllä 2012 Caetano-merkkisellä portugalilaisella bussilla. Caetanossa on kuitenkin ollut paljon teknisiä ongelmia, ja siksi liikennöintimäärät ovat jääneet vähäisiksi. Seuraava auto, hollantilais-kiinalainen Ebusco saatiin liikenteeseen joulukuussa 2013. Seuraava auto tulee olemaan kiinalainen BYD. Kuvassa 46 on Caetano ja HSL:n väreihin maalattu Ebusco Veolian Suomenojan varikolla (missä myös tapahtuu bussien lataus).



Kuva 46. Caetano ja Ebusco sähköbussit Veolian varikolla. Kuva Sami Ojamo.

eBus-hankkeessa VTT:n tehtäviin kuuluu bussien seuranta. Lisäksi VTT on yhteistyössä Metropolian kanssa rakentanut Kabusin kevytrakenteiseen kaupunkibussiin perustuvan koebussin, ns. testimuulin (kuva 47). Testimuulia käytetään mm. sähköisen voimansiirron eri komponenttien testaamiseen.

VTT on ECV-kokonaisuuden puitteissa rakentanut Otaniemeen akkutestauslaboratorioin (eStorage-hanke). Lisäksi kuvassa 47 näkyvä VTT:n raskaiden ajoneuvojen testaustila on sähköajoneuvoja ajatellen varustettu tehonlähteellä/akkusimulaattorilla.

EVE-ohjelman toiselle jaksolle (2014–2015) on suunniteltu seuraavia tehtäviä (<http://www.ecv.fi/>).

- eBus jatko (alkuperäisen suunnitelman mukaan)
- eStorage jatko (alkuperäisen suunnitelman mukaan)
- eCharge (pikalataukseen liittyvä tutkimuslaitoshanke)
- eBusSystem (sähköbussien kokonaisjärjestelmään liittyvä yritysrypäshanke, mukana mm. Veolia, Espoon kaupunki, Lahden kaupunki, HSL, Fortum ja Siemens).

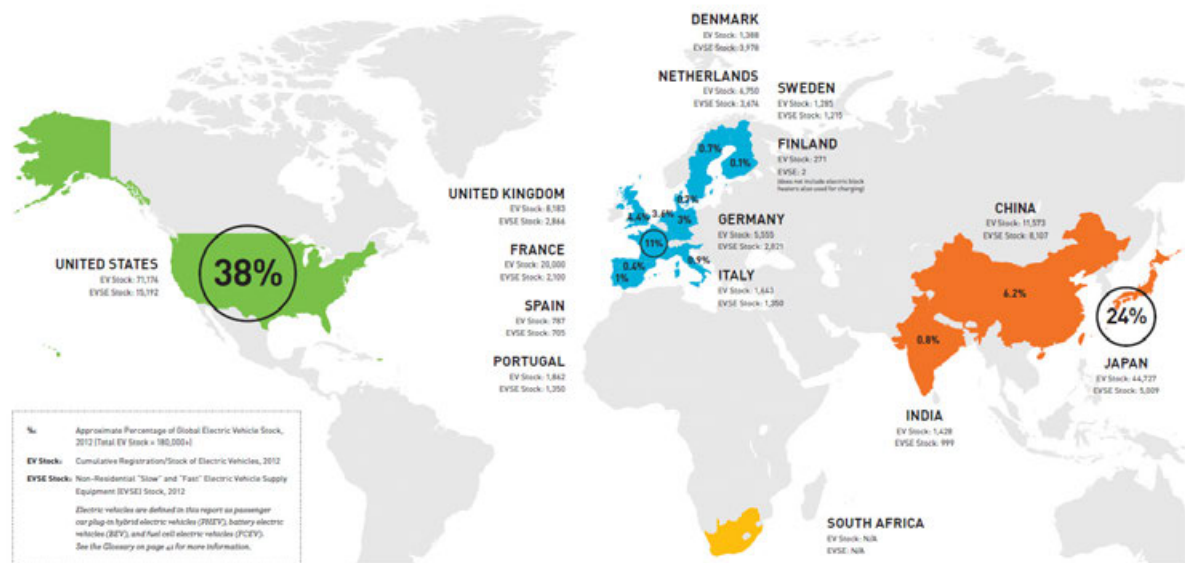


Kuva 47. eBus "testimuuli", eli kevytrakenteisen Kabus kaupunkilinja-auton pohjalle rakennettu sähköbussi. Kuva VTT.

4.5.5 Sähköautojen lukumäärän kehittyminen

Electric Vehicle Initiative (EVI) on Clean Energy Ministerial'in (CEM) aloitteesta syntynyt kansainvälinen yhteenliittymä sähköisen liikenteen edistämiseksi. Myös Suomi on EVI:n jäsen. Käytännössä EVI:n toimintaa vetää IEA. EVI on tuottanut erittäin hyviä tilastoja maailman sähköautokannasta. Uusimmat tilastot koskevat vuotta 2012, ja nämä löytyvät "Global EV Outlook" julkaisusta huhtikuulta 2013.

Kuvassa 48 on maailman sähköautokanta vuoden 2012 lopussa. Maailman sähköautokanta ylitti 180.000 yksikköä (sisältää sekä täyssähköautot että lataushybridit). Suurimmat kannat löytyvät USA:sta ja Japanista. Suomen sähköautokannaksi on merkitty 271 ja pikalatausasemien lukumääräksi 2.



Kuva 48. Maailman sähköautokanta vuoden 2012 lopulla (EVI 2013).

Kuvassa 49 on esitetty sähköautojen myynti maittain vuonna 2012. Kuva on jaettu kahteen osaan, yläosassa ladattavat hybridit ja alaosassa täyssähköautot. Mielenkiintoista kyllä niin osuudet menevät melkein tasan, noin 55.000 lataushybriditä ja noin 57.000 täyssähköautoa. Vuoden 2012 myynti oli siis yhteensä noin 112.000 autoa, eli yli 60 % sähköautokannasta. Tämä kuvaa hyvin kehityksen nopeutta tällä hetkellä. Toisaalta, suhteutettuna vuoden 2012 autojen kokonaismyyntiin, arviolta noin 81 miljoonaa yksikköä, sähköautojen myynti on täysin marginaalista, 0,14 %.

Figure 6a. 2012 World PHEV Sales, by Country

Source: EVI, MarkLines Database.

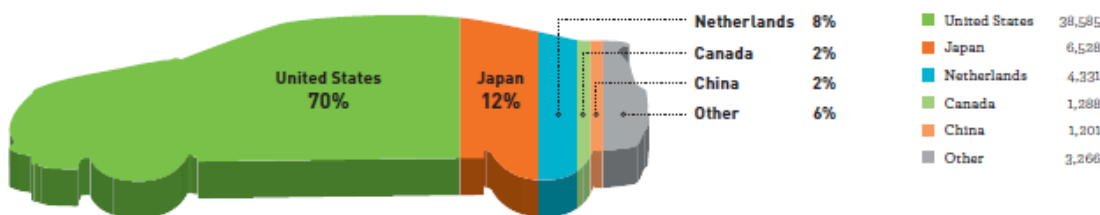
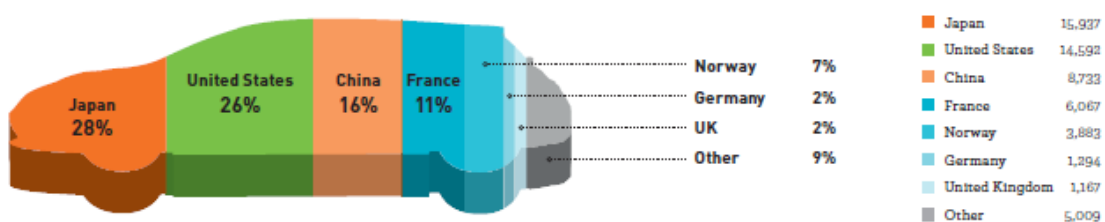


Figure 6b. 2012 World BEV Sales, by Country

Source: EVI, MarkLines Database.



Kuva 49. Sähköautojen myynti 2012. (EVI 2012)

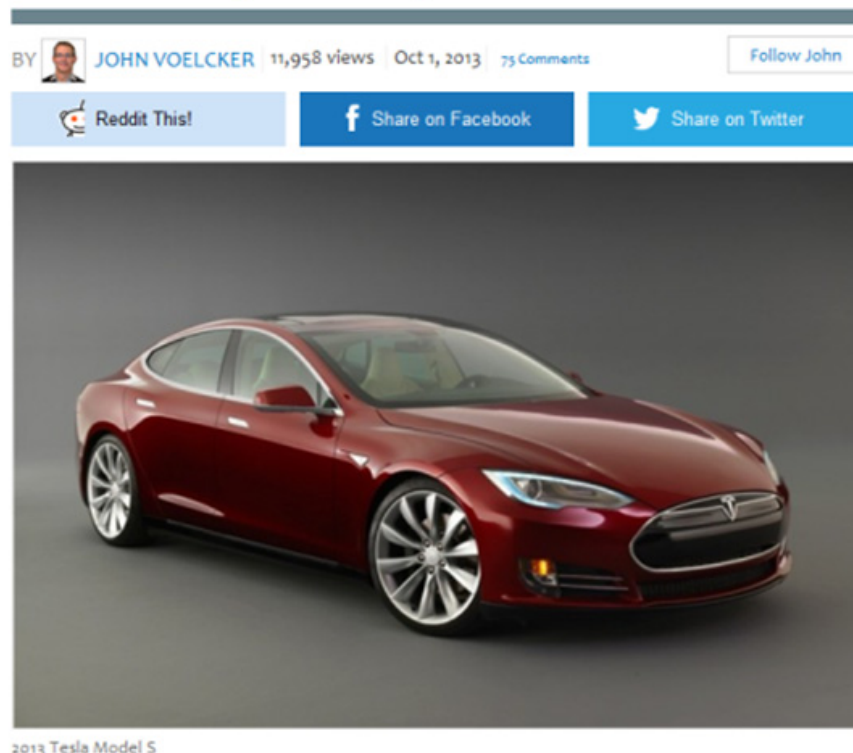
Norjassa on erikoinen sähköautojen markkinatilanne. Norjassa polttoaineita ja autoja verotetaan raskaasti. Sähköautot huojennetaan sekä autoverosta että 25 %:n suuruisesta arvonlisäverosta. Muita kannustimia sähköautoille ovat (Sønstelid 2010):

- sähköautot saavat käyttää joukkoliikennekaistoja
- sähköautoilta ei peritä pysäköintimaksuja julkisilla pysäköintipaikoilla
- sähköautoilta ei peritä tiemaksuja
- sähköautoilta ei peritä maksuja valtateiden lautoilla
- sähköautot saavat 50 % alennuksen työsuhdeautojen verotuksessa
- sähköautojen vuotuinen vero on ainoastaan 390 NOK (n.50 €).

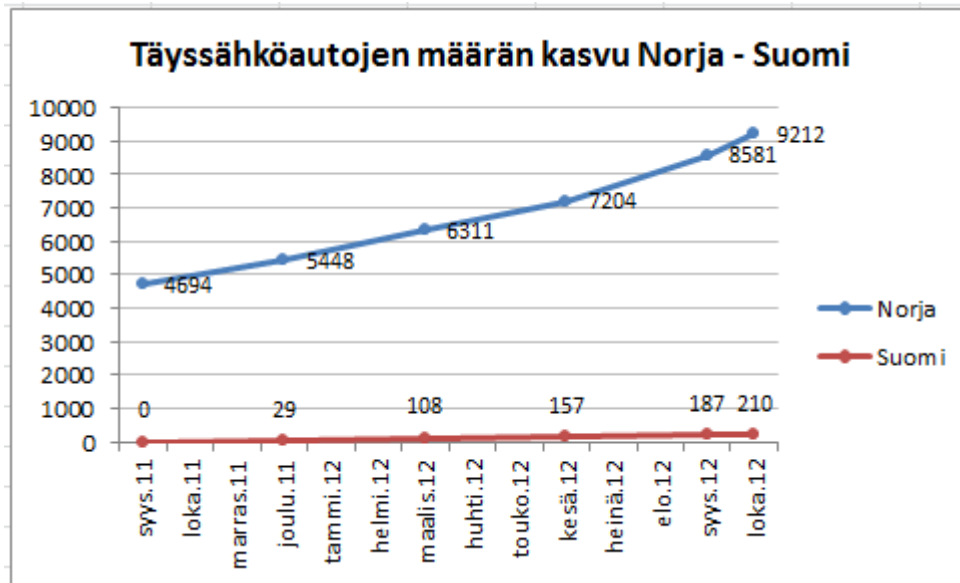
Kannustimet ovat johtaneet siihen, että Nissan Leaf on ajoittain ollut Norjan myydyin henkilöauto. Varsinainen uutispommi saatiin lokakuussa 2013, kun selvisi että luksusauto Tesla S oli Norjan myydyin auto syyskuussa 2013 (kuva 50). USA:ssa Tesla S:n ”alkaen” hinta on 62.400 \$ (www.teslamotors.com).

Liikennepolitiikan näkökulmasta Norjan yksityisautoilua ja joukkoliikennettä haittaavat sähköauto-kannustimet voidaan tietenkin kyseenalaistaa. Kuvassa 51 on vertailu Norjan ja Suomen sähköautomäärien välillä.

Tesla Model S Was Best-Selling Car In Norway For September



Kuva 50. Tesla S oli Norjan myydyin auto syyskuussa 2013. (Green Car Report)



Kuva 51. Vertailu Norjan ja Suomen täyssähköautojen lukumäärien välillä. (WintEVE 2013)

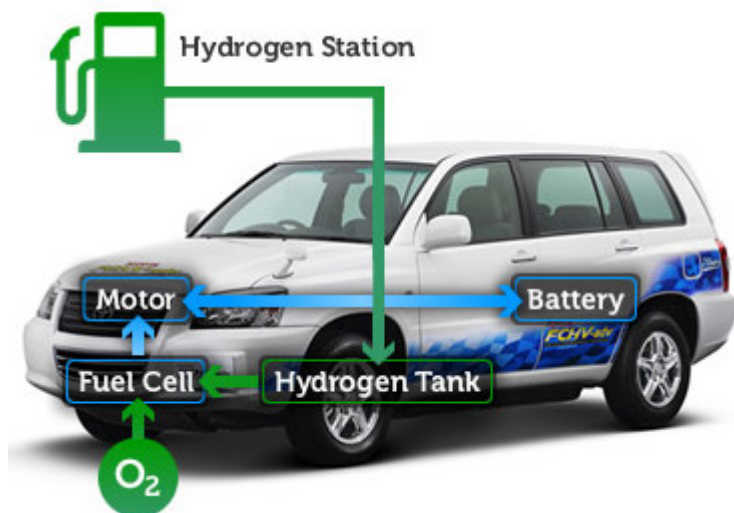
4.6 Polttokennoajoneuvot

Autonvalmistajista mm. BMW ja Ford tutkivat aikaisemmin vedyn käyttöä polttomoottoriautojen polttoaineena. Näistä hankkeista on sittemmin luovuttu, ja vedyn osalta kiistämätön päälinja on vedyn hyödyntäminen polttokennoautoissa.

Polttokenno muuttaa vedyn ja ilman hapen saasteettomasti sähköksi ja vedeksi. Polttokennoauto onkin eräällä tavalla sähköautojen alaryhmä, koska ajo tapahtuu sähköä avulla (kts. kuva 26). Perusrakenne vastaa ns. sarjahybrididiä, jota tekniikkaa mm. Irisbus ja Daimler käyttävät busseissa. Perinteisessä ratkaisussa kemiallinen energia on varastoituna dieselpolttoaineeseen (tai bensiiniin), ja ajomoottorien tarvitsema sähkö tuotetaan polttomoottorin ja generaattorin yhdistelmällä. Polttokennoautossa kemiallinen energia on varastoituneena vetyyn, ja sähköä tuottamassa on polttokenno. Molemmissa tapauksissa järjestelmään kuuluu akusto, joka mahdollistaa jarrutusenergian talteenoton ja järjestelmän toiminnan tasaamisen (kuva 52).

Polttokennoauton etuja täyssähköautoon verrattuna on pitempi toimintamatka (henkilöautoissa tyypillisesti noin 500 km) ja nopeampi tankkaus (luokkaa 3 minuuttia). Lisäksi tullaan toimeen akulla, jonka koko vastaa tavanomaisen hybridiauton akkua. Polttomoottoriautoon verrattuna etuihin kuuluu saasteettomuuden lisäksi korkea hyötysuhde, varsinkin osakuormalla. Koko energiaketjun hyötysuhde ja hiilidioksidipäästöt riippuvat kuitenkin siitä, miten vety on tuotettu. Tässä tarkastelussa ei polttokennotekniikka välttämättä ole ylivoimainen muihin tekniikoihin verrattuna.

Polttokennoautot vaativat täysin oman tankkausinfrastruktuurin. Vedyn varastoinnin osalta tekniikka on konvergoinut kaasumaiseen vetyyn 700 barin paineessa. Aikaisemmin tutkittiin myös mm. nesteytettyä vetyä ja vedyn tuottamista itse autossa reformerilla hiilivedyistä tai alkoholeista.



Kuva 52. Polttokennoauton pääkomponentit. (Toyota 2013)

Useat autonvalmistajat allekirjoittivat vuonna 2009 aiesopimuksen polttokennoautojen tuomiseksi markkinoille vuoteen 2015 mennessä. Valmistajat tavoittelevat tuotannossaan ”merkittäviä määriä”, tähdäten yli 100.000 auton kokonaistuotantoon vuodelle 2015. Painopisteet polttokennoautojen markkinoille tuomisessa ovat USA/Kalifornia, Japani/Tokyo & Yokohama ja EU/Saksa (Green Car Congress 2009). Polttokennotekniikka on demonstroitu myös bussikäytössä.

Suunnitelmat ovat sittemmin tarkentuneet. Lokakuussa 2013 Automotive World kertoo seuraavaa (Automotive Word 2013):

”Tällä hetkellä kehityksen kärjessä kulkee korealainen Hyundai, jonka ix35 (Tuscon) polttokennoauton rajoitettu koetuantanto on käynnistynyt (kuva 53). Polttokennoautot halutaan tuoda markkinoille Euroopassa vuonna 2015 ja USA:ssa vuonna 2020. Hyundai lisäksi GM, Ford ja Daimler ovat ilmoittaneet tarjoavansa polttokennoautoja Euroopan markkinoille 2015. Toyota puolestaan esittelee sarjatuotantoon tarkoitetun polttokennoautonsa Tokion autonäyttelyssä syksyllä 2013. Daimler on liittynyt H2Mobility-nimiseen konsortioon, jossa muita osapuolia ovat Air Liquide, Intelligent Energy, Linde, OMV, Shell ja Total. H2Mobilityn tavoitteena on aikaansaada 400 vedyn tankkausasemaa Saksaan vuoteen 2023 mennessä.”



Kuva 53. Hyundai ix35 polttokennoauto. (Hyundai 2013)

Polttokennoautot ovat teknisesti varsin pitkälle kehittyneitä, ja tarjoavat tavalliselle kuluttajalle riittävän suorituskyvyn ja toimintamatkan. Rajoittavat tekijät ovat toisaalta tekniikan kalleus ja se, ettei polttokennoautojen tarvitseman polttoaineen eli vedyn jakeluinfrastruktuuria ole vielä olemassa kuin paikoitellen.

Puhtaasti kaupalliselta pohjalta vetyinfrastruktuuri ei rakennu, vaan kaikkialla, jossa sitä on alettu kehittää, on takana jonkinlainen julkisen ja yksityisen sektorin yhteistoiminta eli public-private-partnership –toimintamalli (PPP). Merkittävin syy lienee raskaissa investoinneissa, joita joudutaan tekemään voimakkaasti etupainotteisesti, jolloin vie vuosia - ellei jopa vuosikymmeniä – ennen kuin polttoaineen myynnistä alkaa kertyä riittävää liikevaihtoa ja –voittoa. Takaisinmaksuajat ovat siis erittäin pitkiä.

Tulevaisuutta on vaikea ennustaa. On kuitenkin hyvin mahdollista, että polttokennoautoihin kohdistuu nyt vastaava yliooptimistinen innostus kuin sähköautoihin joitakin vuosia sitten (katso ”hypekuva” 35).

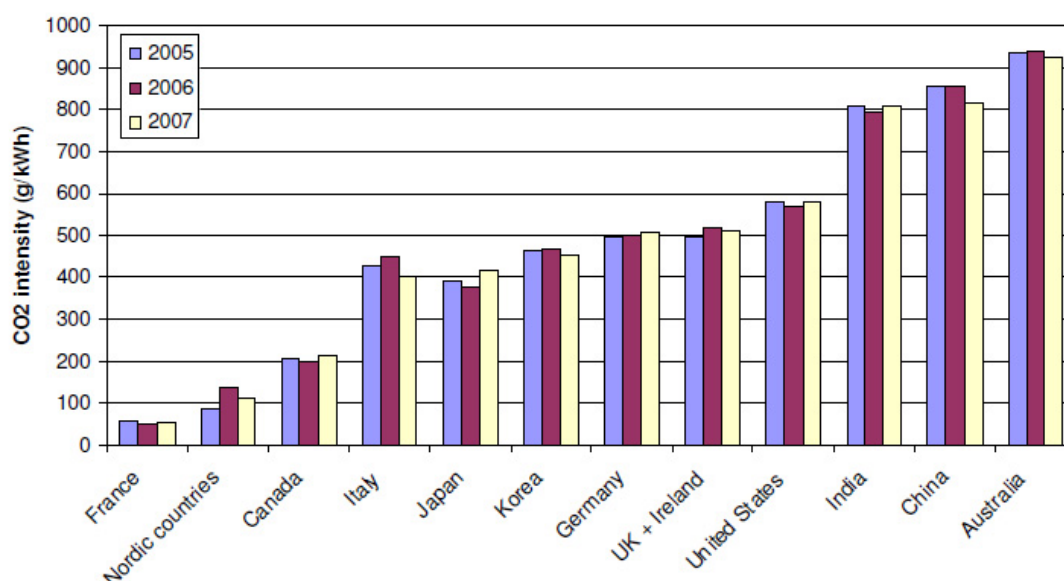
5 Esimerkkejä eri ajoneuvotekniikoiden päästöistä

5.1 Yleistä

Kohdassa 4.4.1 käsiteltiin eri polttoainevaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästöjä. Käytön osalta niin biopolttoaineet kuin sähkö lasketaan kasvihuonekaasu- tai hiilidioksidipäästöjen osalta nollapäästöisiksi. Kaikkia energiavaihtoehtoja tulisi kuitenkin tarkastella koko polttoaineketjun yli, huomioiden myös energian tai polttoaineen tuotannosta aiheutuvat päästöt. Kuvan 32 osalta todettiin, että huonoin vaihtoehto (maakaasupohjainen GTL) tuottaa laskennallisesti 23 kertaa enemmän kuin paras biopolttoainevaihtoehto (puupohjainen BTL).

Myös sähköön hiili-intensiteetti vaihtelee suuresti, uusiutuvan sähköön nollapäästöisyydestä hiilellä tuotetun sähköön noin 1000 g CO₂/kWh. Sähköauto ei tästä syystä automaattisesti ole vähähiilisempi vaihtoehto kuin perinteinen polttomoottoriauto. Sähköautojen puolesta puhujat väittävät että sähköautoissa käytetään aina uusiutuvaa sähköä, sähköautojen vastustajat että sähköautoissa joudutaan käyttämään korkean päästötason ns. marginaalisähköä.

Kuvassa 54 on sähköön tuotannon keskimääräinen hiili-intensiteetti eri maissa. Arvot vaihtelevat Ranskan luvusta n. 50 g CO₂/kWh (ydinvoiman osuus suuri) Australian lukuun n. 900 g CO₂/kWh (kivihiili dominoi). Pohjoismaat on niputettu yhteen, keskiarvon ollessa n. 100 g CO₂/kWh.



Kuva 54. Sähkön tuotannon hiili-intensiteetti eri maissa. (Ecofys 2010)

Motivan (2011) mukaan Suomen sähköntuotannon kesimääräinen CO₂-päästö on 207 g/kWh ja marginaalituotannon päästö 700 g CO₂/kWh. Sähkön siirron häviöiksi arvioidaan yleensä noin 5 %.

Tekniikan Maailma –lehti koeajoi Nissan Leaf täyssähköauton keväällä 2012 (TM 2012). Auton energian kulutukseksi mitattiin noin 0,2 kWh/km. Keskimääräisellä suomalaisella sähköllä huomioiden myös siirtohäviöt koko energiaketjun (well-to-wheel) todelliset CO₂-päästöt ovat noin 45 g/km ja marginaalisähköllä noin 150 g/km.

Kesällä 2013 päivitetty Joint Research Centerin, EUCAR:in ja CONCAWE:n Well-to-Wheel raportti antaa bensiinille ja dieselille seuraavat CO_{2ekv} päästöarvot (JEC WTW 2013, luvut hieman korkeammat kuin kuvan 32 luvut):

- bensiinin well-to-tank (WTT) 13,8 g CO_{2ekv}/MJ (polttoaineketjun alkupää)
- bensiinin tank-to-wheel (TTW) 73,4 g CO_{2ekv}/MJ (loppukäyttö)
- bensiini yhteensä (WTW) 87,2 g CO_{2ekv}/MJ
- dieselin well-to-tank (WTT) 15,4 g CO_{2ekv}/MJ (polttoaineketjun alkupää)
- dieselin tank-to-wheel (TTW) 73,2 g CO_{2ekv}/MJ (loppukäyttö)
- diesel yhteensä (WTW) 88,6 g CO_{2ekv}/MJ.

Jos dieselhenkilöauto kuluttaa 4,5 l/100 km, niin auton energian kulutus on 1,6 MJ/km, ja well-to-wheel (WTW) CO₂-päästöt 145 g/km.

Eli keskimääräisellä suomalaisella sähköllä sähköauto on vastaavaa polttomoottoriautoa selvästi vähäpäästöisempi, marginaalisähköllä päästöt ovat samaa tasoa kuin polttomoottoriautolla tai hieman korkeammat. Keskimääräinen sähkön tuotannon CO₂-päästö lienee oikeudenmukainen vertailuperuste.

Ecofysin (2010) julkaisussa on myös listattu sähkön tuotannon hyötysuhteita. Keskimääräinen hyötysuhde maakaasuun perustuvassa tuotannossa (kaasuturbiinit) on 48 % ja hiileen perustuvassa

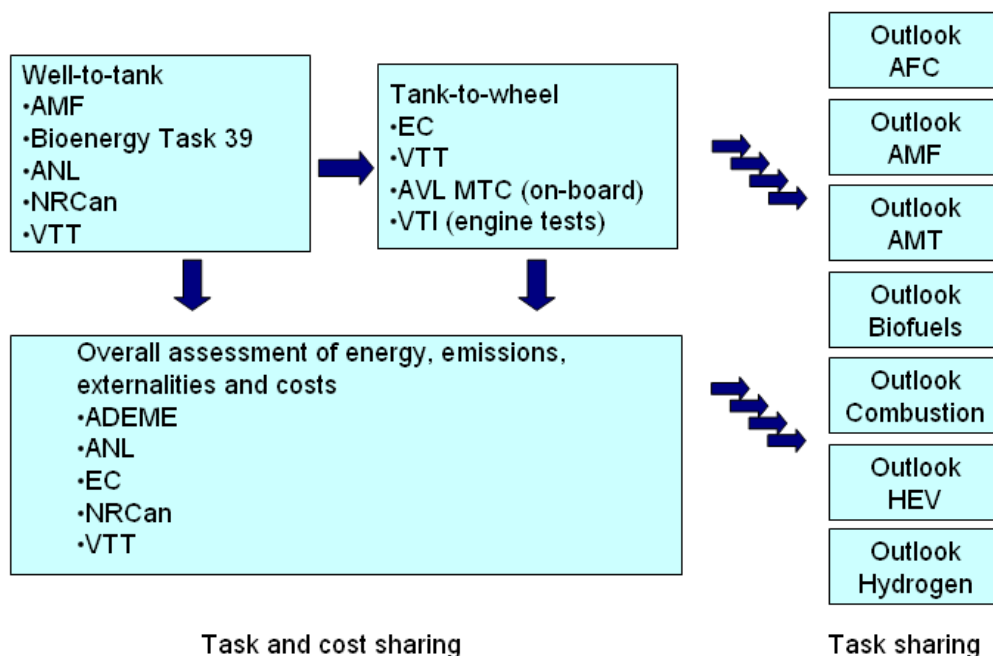
tuotannossa 35 % (höyryprosessi). Usein kuulee väitettävän, että sähköauto on energiahyötysuhteeltaan täysin ylivoimainen polttomootoriautoon verrattuna. Tämä on totta loppukäytön osalta, ja myös silloin, kun käytetään uusiutuvaa sähköä. Jos sähkö tuotetaan perinteisellä tekniikalla kivihiilestä, sähkön tuotannon häviöt tasaavat eroja merkittävästi. Polttomoottori- ja sähköautojen välisiä eroja tarkastellaan lähemmin seuraavissa kappaleissa.

VTT on hiljattain ollut mukana kahdessa kansainvälisen energiajärjestön IEA:n moottoripolttoaineita käsittelevän Advanced Motor Fuels –tutkimusohjelman mittaamassa erilaisten autojen ja polttoaineiden suorituskykyä. Toinen hanke ”Annex 37: Fuel and technology alternative for buses. Overall energy efficiency and emission performance (IEA Bus)” liittyi kaupunkibusseihin, ja toinen hanke ”Annex 43: CARPO – Comparison and full fuel cycle evaluation of passenger car powerplant options” henkilöautoihin.

5.2 Bussit

5.2.1 IEA Bus –hankkeen tuloksia

IEA Bus –hankkeen tavoitteena oli tuottaa bussiliikenteestä päättävälle tahoille varmennettua tietoa erilaisten ajoneuvotekniikoiden ja polttoaineiden todellisesta suorituskyvystä. Hanke raportoitiin vuonna 2012 (Nylund & Koponen 2012). Hankkeen rakenne on esitetty kuvassa 55. Tärkeimmät elementit olivat polttoaineketjujen analysointi (well-to-tank), bussimittaukset (tank-to-wheel) ja synteesit koko polttoaineketjun yli (well-to-wheel). Suomesta hankkeen rahoitukseen osallistuivat Tekes, HSL ja VTT.

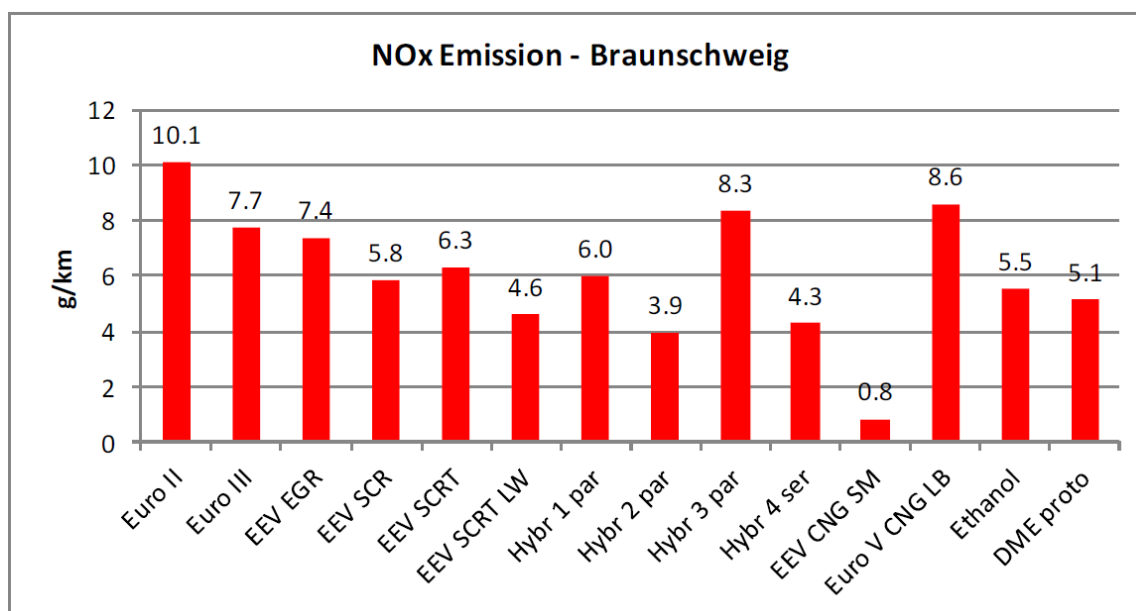


Kuva 55. IEA Bus –hankkeen rakenne. (Nylund & Koponen 2012)

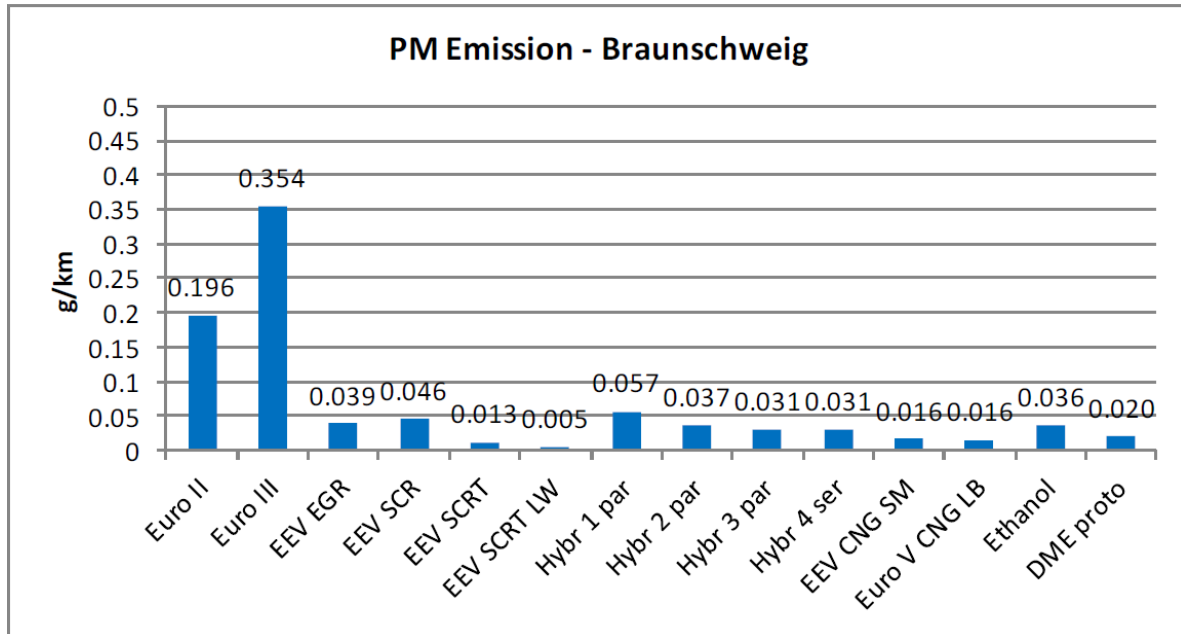
IEA Bus –hankkeessa kanadalainen Environment Canada ja VTT tekivät mittauksia yhteensä 21:llä eri bussilla. Busseista, polttoaineista ja erilaisista testisykleistä syntyi yhteensä 178 erilaista kombi-

naatiota, joista VTT:n vastuulla oli 14 erilaista bussia ja yhteensä 112 erilaista testikombinaatiota. Mukana oli sekä uusia että vanhempia autoja, joten haarukka oli 90-luvun lopun Euro II ja US EPA 1998 autoista uusiin eurooppalaisiin EEV autoihin ja US EPA 2010 määräykset täyttäviin pohjois-amerikkalaisiin autoihin. Mittauksiin ei vielä saatu Euro VI autoja, mutta toisaalta US EPA 2010 vaatimukset vastaavat kutakuinkin Euro VI vaatimuksia. Polttoaineketjujen osalta yhdysvaltalainen Argonne National Laboratory, kanadalainen National Resources Canada ja VTT analysoivat polttoainevaihtoehtoja eri menetelmin.

Kuvissa 56 (typen oksidit NO_x) ja 57 (hiukkaset PM) on VTT:n mittaustuloksia säännellyistä päästöistä Helsingin keskustan ajoa hyvin kuvaavalla Braunschweig-syklillä. VTT:n mittaussarjassa oli Euro II, Euro III ja EEV dieselautoja tavallisella voimansiirrolla, neljä erilaista EEV-tasosta hybridiä, kaksi kaasubussia (stoikiometrinen EEV auto ja Euro V luokan laihaseosauto), EEV tason etanolibussi sekä prototyyppi DME-kuorma-auto, jota simuloitiin bussina.



Kuva 56. Eurooppalaisten bussien NO_x -päästöt Braunschweig-syklissä. (Nylund & Koponen 2012)

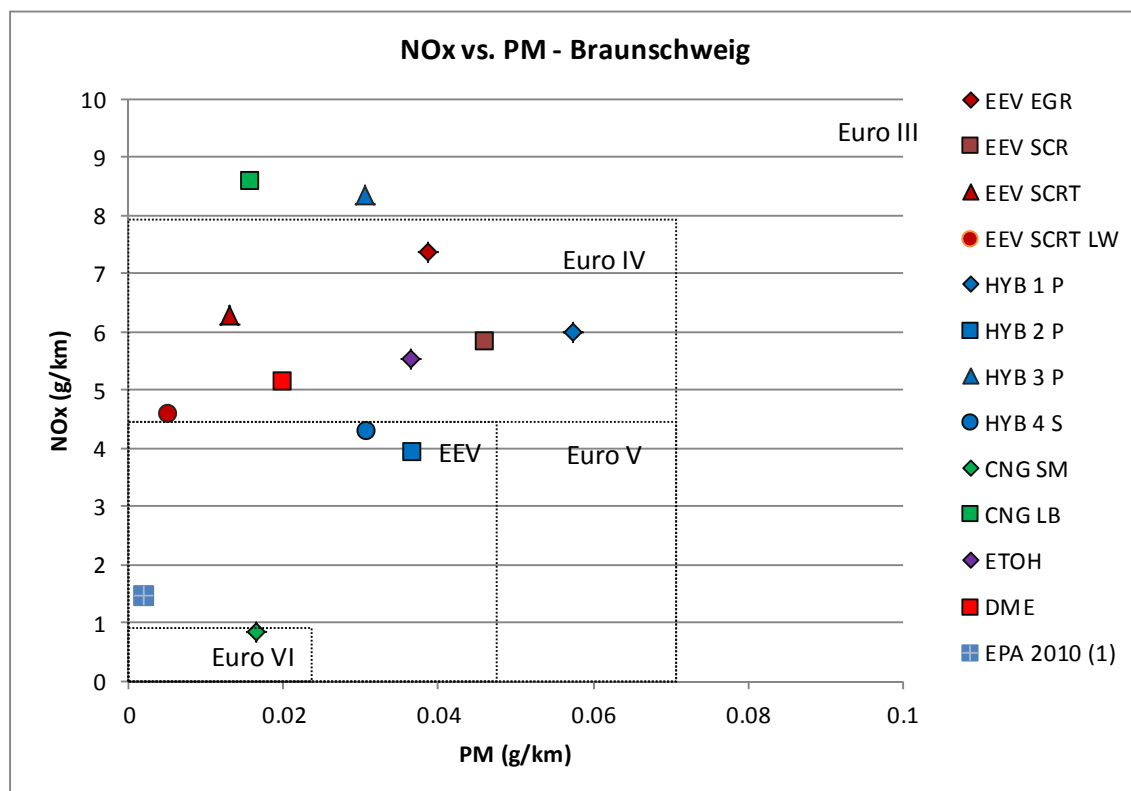


Kuva 57. Eurooppalaisten bussien hiukkaspäästöt Braunschweig-syklissä. (Nylund & Koponen 2012)

Kuvasta 56 nähdään, ettei NO_x -päästöjen osalta ole tapahtunut mitään aivan dramaattista kehitystä. Mentaessä Euro II -luokasta EEV-luokkaan NO_x -päästöt ovat karkeasti puolittuneet. Uudempien autojen osalta kaasuautoet vastaavat sekä matalimmasta (stoikiometrinen) että korkeimmasta (laihaseostekniikka) NO_x -arvosta. Hybridit eivät välttämättä tuo etuja NO_x -päästöjen suhteen.

Hiukkasten osalta tilanne on lohdullisempi, Euro II ja Euro III autojen jälkeen hiukkaspäästöt ovat alentuneet merkittävästi. Varsinaisella hiukkassuodattimella varustettujen dieselautojen hiukkaspäästöt ovat jopa alhaisemmat kuin kaasuautojen hiukkaspäästöt.

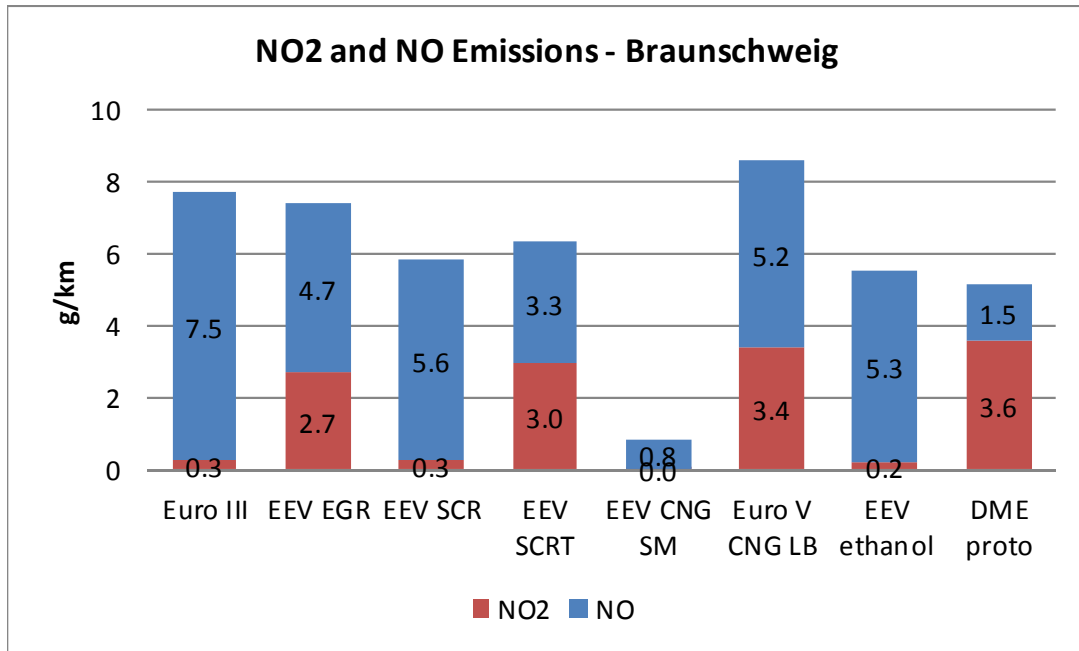
Kuvassa 58 on uusien eurooppalaisten autojen ja yhden US EPA 2010 auton päästöt NO_x/PM kartalla. Mittaukset on tehty Braunschweig-syklillä. Kuvaan on myös merkitty arvio siitä, mihin eri päästöluokkaa olevien autojen tulisi sijoittua. Kuvasta nähdään, että ainoastaan kolme eurooppalaista bussia tarjoaa todellista EEV-suorituskykyä, kaksi hybridibussia ja stoikiometrinen kaasubussi. Itse asiassa kaasubussi on päästöiltään Euro VI -tasoa. Myös US EPA 2010 bussi pääsee hyvin lähelle Euro VI -päästötasoa. Korkeiden NO_x -päästöjen takia kaksi mitatuista autoista on käytännössä Euro III tasoa.



Kuva 58. Uusien bussien sijoittuminen NO_x/PM kartalla. Kuvaan on myös merkitty arvio eri päästöluokkien vastaavuudesta. (Nylund & Koponen 2012)

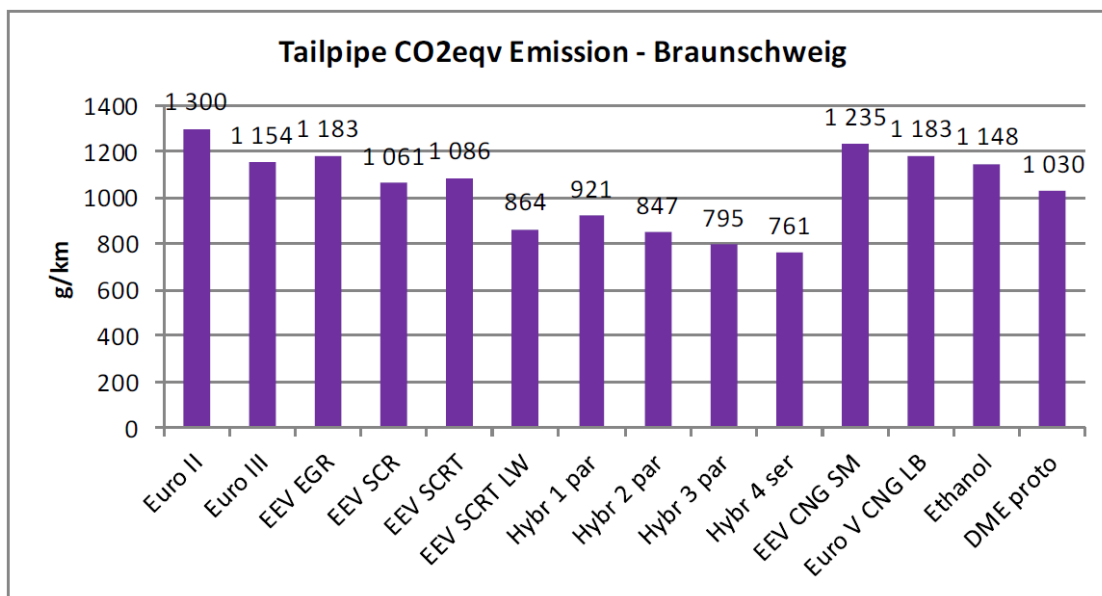
Kuvassa 59 on näytetty erikseen NO (typpioksidi) ja NO_2 (typpidioksidi) päästöt eräille tekniikoille. Suora NO_2 päästö on ei-toivottava ilmiö, koska se voi johtaa kohonneisiin NO_2 pitoisuuksiin kaupunkiympäristössä ja katukuiluissa erityisesti. Nimenomaan NO_2 pitoisuutta käytetään ilman laadun mittarina. Helsingissäkin käy niin, että sekä vuorokausi- että tuntiohjearvot NO_2 :lle ylittyvät ajoittain, vaikka typenoksidien kokonaismäärä (NO_x) on kääntynyt laskuun. Myös typpidioksidin vuosiraja-arvo ylittyy Helsingin vilkkaissa katukuiluissa (HSY 2013).

Autoissa, joissa ei ole voimakkaasti hapettavaa pakokaasujen jälkikäsittelyä, suora NO_2 päästö on alhainen. Parhaita vaihtoehtoja tässä ovat vanha dieselbussi, pelkällä SCR-järjestelmällä varustettu dieselbussi, stoikiometrinen maakaasubussi ja etanolibussi.

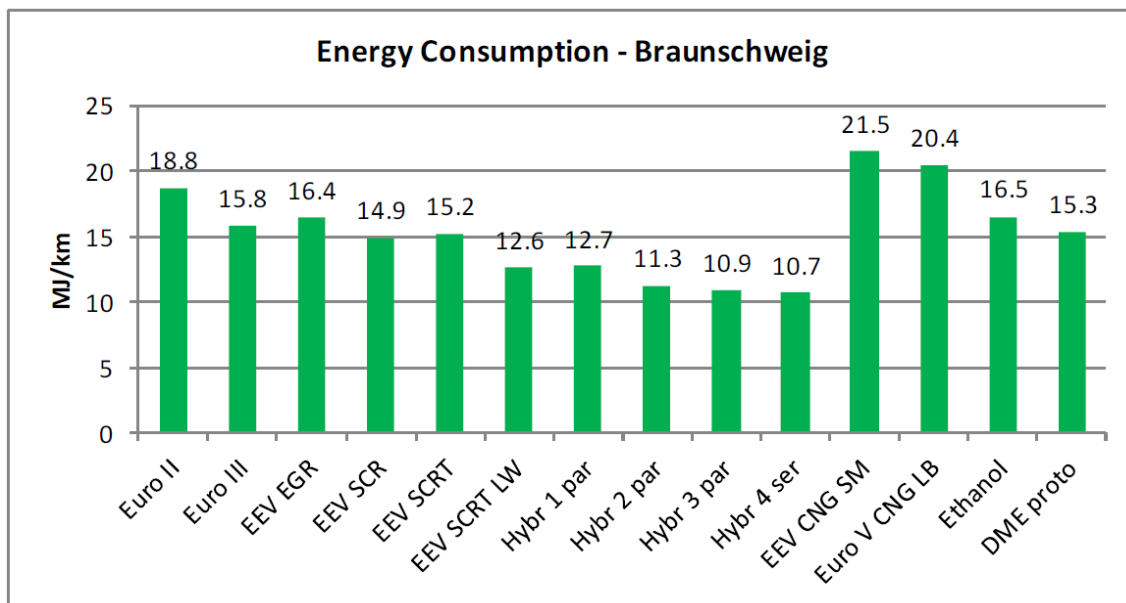


Kuva 59. NO₂ ja NO osuudet eri tekniikoilla. (Nylund & Koponen 2012)

Kuvassa 60 on esitetty pakoputkesta mitattu CO_{2ekv}-päästö eri tekniikoilla ja kuvassa 61 energian kulutus. Kuvasta 59 nähdään, että vanha diesel (Euro II) ja stoikiometrinen maakaasuauto antavat korkeimmat CO₂-päästöt. Energian kulutuksessa erot ovat merkittäviä, stoikiometrinen kaasubussi kuluttaa kaksi kertaa enemmän energiaa parhaimpaan dieselhybridiin verrattuna (21,5 MJ/km vs. 10,7 MJ/km). Hybridisointi vähentää polttoaineen kulutusta Braunschweig-syklissä keskimäärin 26 %. Energiategohokkuudessa kevytrakenteinen bussi (lisämerkinnällä LW= light weight) on yhtä energiatehokas kuin huonoin hybridibussi.

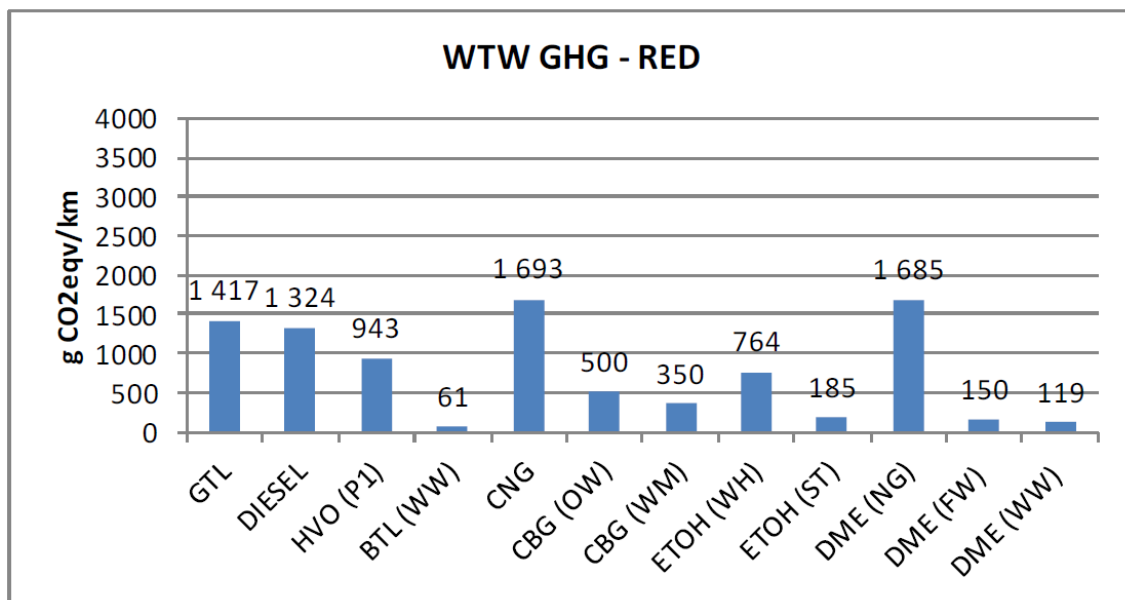


Kuva 60. Eurooppalaisten bussien CO_{2ekv}-päästöt Braunschweig-syklissä. Luvuissa huomioitu kaasuautojen palamaton metaani. (Nylund & Koponen 2012)



Kuva 61. Eurooppalaisten bussien energian kulutus Braunschweig-syklissä. (Nylund & Koponen 2012)

Kuvassa 62 on arvio koko polttoaineketjun (well-to-wheel) CO₂-päästöistä. Kuvassa on tulokset SCRT dieselautolle (SCR ureakatalysaattori + varsinainen hiukkassuodatin) eri polttoaineilla ja ”varsinaisia” vaihtoehtoisia polttoaineita käyttäville autoille. Kuva pätee tavanomaisella voimalinjalla varustetuille normaalipainoisille autoille (ei hybridisointia tai kevytrakennetekniikkaa). Polttoaineketjun alkupään päästöjen arviot perustuvat direktiivissä 2009/28/EY esitettyyn metodiikkaan.



Kuva 62. Koko polttoaineketjun (well-to-wheel) CO₂_{ekv}-päästöt eri tekniikoille. Braunschweig-sykli. Dieselautona on EEV-tasoinen ureakatalysaattorilla ja varsinaisella hiukkassuodattimella varustettu auto. (Nylund & Koponen 2012)

Parhaimpaan kategoriaan, alle 200 g/km, pääsevät jätepuusta valmistettu BTL-dieselpolttoaine, oljesta tehty etanoli sekä DME joko jätepuusta tai viljellystä puusta. Biokaasu joko talousjätteestä tai lannasta sijoittuu keskikastiin, 200 – 500 g/km. Vehnäpohjainen etanoli tai määrittelemättömällä prosessilla tuotettu palmuöljy HVO:ksi muutettuna antavat kohtuullisen vaatimattomia päästövähennyksiä, päästötason ollessa 700 – 1000 g/km. Kaikki maakaasun perustuvat vaihtoehdot (synteettinen GTL dieselpolttoaine, paineistettu maakaasu CNG ja maakaasusta tuotettu DME) antavat dieseliä korkeammat päästöt.

Raportin yhteenvedossa todetaan mm. seuraavaa (Nylund & Koponen 2012):

Ajoneuvon tasolla

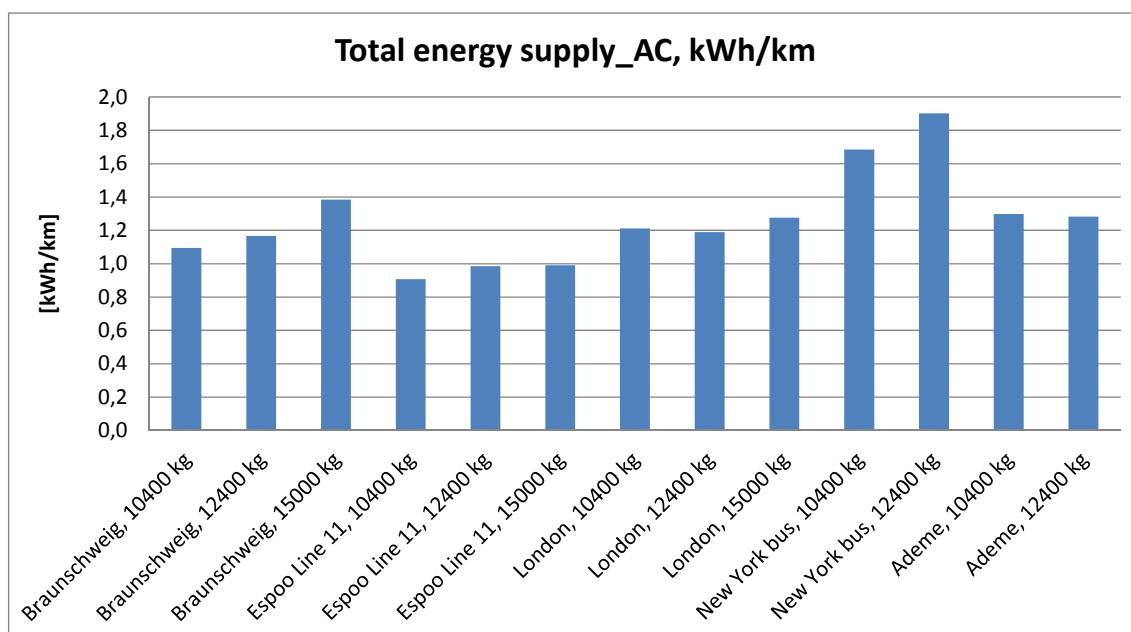
- *vanhat vs. uudet autot*
 - o10:1 ja jopa enemmän säänneltyjen päästöjen osalta
 - o100:1 hiukkasten lukumäärän osalta
 - olähestulkoon neutraali energiatehokkuuden suhteen
- *hybridisointi ja kevytrakennetekniikka*
 - opolttoaineen säästö 20 - 30 %
 - ohybridisointi ei automaattisesti vähennä lähipäästöjä
- *ajosyklin vaikutus*
 - o5:1 polttoaineen kulutuksen ja säänneltyjen päästöjen osalta
- *polttoaineen vaikutus korvattaessa perinteistä dieselpolttoainetta*
 - oenimmillään 2,5:1 (hiukkasten osalta)
- *vaihtoehdot polttoaineet erikoisrakenteisissa ajoneuvoissa*
 - oalhaiset hiukkaspäästöt muttei automaattisesti alhaiset NO_x-päästöt
 - oenergiatehokkuus riippuu palamisjärjestelmästä (puristussytytys vs. kipinäsytytys)
 - odiesel ja maakaasu kipinäsytytysmoottorissa antavat likimain saman CO₂-päästöt pakoputkesta mitattuna.

Koko polttoaineketjun tasolla

- *CO_{2ekv} perinteistä dieselpolttoainetta käytettäessä*
 - oWTT osuus noin 20 % ja TTW osuus noin 80 % WTW-kokonaisarvosta
 - o2:1 WTW:n osalta tietyllä polttoaineella (eniten energiaa kuluttava auto vs. tehokkain hybridi)
- *CTL diesel CO_{2ekv}*
 - oWTT osuus noin 60 % ja TTW osuus noin 40 % WTW-kokonaisarvosta
- *CTL vs. perinteinen diesel CO_{2ekv} osalta*
 - o2:1
- *CNG, DME, and GTL vs. perinteinen diesel CO_{2ekv} osalta (keskimäärin)*
 - o~ +5...+15%
 - oCNG parhaimmillaan samaa tasoa kuin diesel (paikallinen kaasu)
- *biopolttoaineet vs. perinteinen diesel CO_{2ekv} osalta*
 - osuhteellinen vähenemä ~ 30...70 % (biopolttoaineet perinteisistä raaka-aineista)
 - osuhteellinen vähenemä ~ 85...95 % (lignoselluloosa- ja jättepohjaiset polttoaineet dieselprosessia hyödyntävissä moottoreissa)

- *perinteinen biokaasu vs. CNG CO_{2ekv} osalta*
osuhteellinen vähenemä ~ 65...90 %
- *CTL vs. paras biopolttoaine CO_{2ekv} osalta*
o120:1 (pelkkä polttoaine)
- *biopolttoaineet vs. perinteinen diesel kokonaisenergian kulutuksen osalta*
o2.5:1...1.75:1
- *CNG, DME ja GTL maakaasusta vs. perinteinen diesel kokonaisenergian kulutuksen osalta*
o~1.5:1.

eBus-hankkeen puitteissa on tehty ensimmäisiä mittauksia sähköbussseilla. Kohdassa 4.5.4 mainitulla testimuulilla on tutkittu ajoneuvon painon ja ajosyklin vaikutuksia energian kulutukseen (kuva 63).



Kuva 63. Sähköbussin energian kulutus eri painoilla ja ajosykleillä. Luvut kuvaavat verkosta otettua tehoa ja pitävät sisällään latauksen aiheuttamat häviöt. (Nylund 2013)

Yhdistelemällä IEA Bus –hankkeen tuloksia ja sähköbussimittauksia voidaan tehdä mielenkiintoisia johtopäätöksiä. Taulukossa 8 on arvioitu kokonaisenergian kulutusta eri tekniikkavaihtoehdoille.

Vaihtoehdot ovat:

- dieselauto perinteisellä voimalinjalla ja dieselhybridi
- polttoaineena perinteinen diesel ja BTL
- kaasuauto maakaasulla ja biokaasulla
- sähköauto eri sähkön tuotantovaihtoehdoilla
- uusiutuva sähkö
- maakaasulla tuotettu sähkö
- biokaasulla tuotettu sähkö
- kiinteästä biomassasta tuotettu sähkö.

Polttoaine- ja energiaketjujen alkupään osalta on käytetty kohdassa 5.1 mainittuja JEC WTW 2013 lukuja. Laskelmissa ei ole huomioitu prosesseissa syntyvän lämmön mahdollista hyödyntämistä.

Taulukko 8. Kokonaisenergian käyttö eri tekniikkavaihtoehtoilla. Laskelmat on tehty Braunschweig-ajosyklille. (Nylund 2013)

	Diesel	Diesel	Hybridi	Hybridi	CNG	CBG	BEV	BEV	BEV	BEV
		BTL		BTL			uusituva	maak.	biokaasu	kiinteä biom.
Loppukäytön energia (MJ/km, VTT)	15	15	11	11	21	21				
Loppukäytön energia (kWh/km, VTT)	4,2	4,2	3,1	3,1	5,8	5,8	1,4	1,4	1,4	1,4
WTW kerroin (JEC 2013)	1,2	1,91	1,2	1,91	1,16	1,99				
Sähkön tuotanto 1/n (Ecofys, JEC 2013)*)							1	2,1	2,1	2,6
Kaasun tuotanto & siirto (JEC 2013)								1,09		
Kaasun tuotanto & puhdistus (JEC 2013)									1,5	
Sähkön siirron häviöt (arvio)							1,05	1,05	1,05	1,05
Kokonais WTW energia (kWh/km)	5,0	8,0	3,7	5,8	6,8	11,6	1,5	3,4	4,6	3,8
Kokonais WTW energia (MJ/km)	18	29	13	21	24	42	5	12	17	14

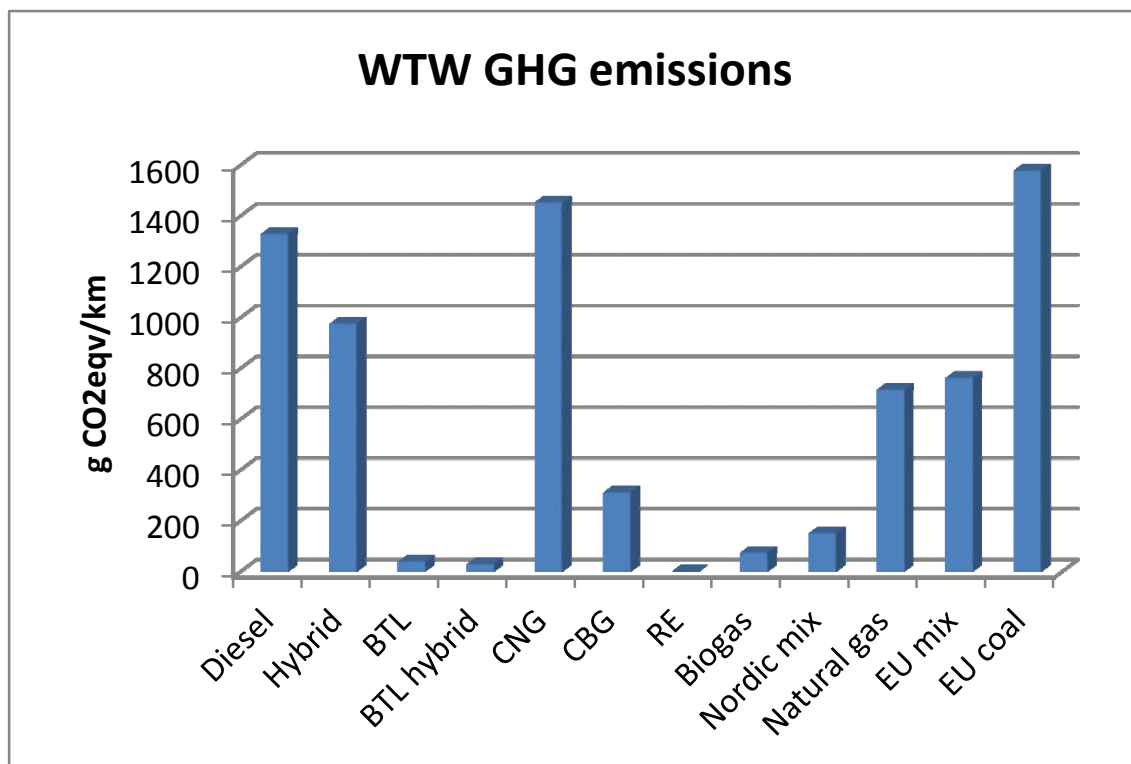
*) vastaavuus hyötysuhteena 2,1 ~ 48 %, 2,6 ~ 38 %.

Kokonaisenergian kulutuksen haarukka on 5 MJ/km (uusituva sähkö) – 42 MJ/km (biokaasu kaasuautossa). Sähköistys on useimmiten energiatehokkain vaihtoehto. Hybridi tavanomaisella diesel-polttoaineella pääse samalle tasolle kuin sähköbussi maakaasusta tai kiinteästä biomassasta tuotetulla sähköllä. Uusiutuvia vaihtoehtoja verrattaessa voidaan todeta, että tiettyä bioenergiämäärää kohti, oli sitten kyse kiinteästä biomassasta tai biokaasusta, sähköbussilla saavutetaan 1,5 – 2,5 kertainen ajomatka verrattuna siihen että bioenergiasta tehdään biopolttoainetta ja sitä käytetään polttomoottoreissa.

Kuvassa 64 on kuva 62 tavoin esitetty koko polttoaineketjun (well-to-wheel) CO₂-päästöistä. Tähän kuvaan sähkön tuotantovaihtoehtoiksi on otettu:

- uusiutuva sähkö
- biokaasulla tuotettu sähkö
- keskimääräinen pohjoismainen sähkö
- maakaasulla tuotettu sähkö
- keskimääräinen EU-sähkö
- keskimääräinen hiilellä EU:ssa tuotettu sähkö.

Taulukon 8 ja kuvan 64 perusteella, ja huomioiden lisäksi sähköbussien paikallinen päästöttömyys, suosituksena voisi olla kaupunkibussiliikenteen sähköistäminen aina kun se on mahdollista. Tällä hetkellä rajoitteita aiheuttavat mm. vasta kehittymässä oleva autojen tarjonta, autojen korkea hinta, rajoitteet toimintamatkassa, vakiintumattomat latausratkaisut ja sähköbussiliikenteen aiheuttamat vaatimukset yleiselle infrastruktuurille.



Kuva 64. Koko energiaketjun (well-to-wheel) CO₂_{ekv}-päästöt eri tekniikoille (perus-diesel, hybridi, kaasuauto, sähköauto eri sähkön tuotantotavoilla). Braunschweig-sykli. (Nylund 2013)

5.2.2 Katsaus HSL:n bussikaluston päästöihin

-tekstiosuus Petri Saari/HSL-

HSL edistää vähäpäästöistä ja kestäväää liikennettä. Strategisena tavoitteena on vähentää bussiliikenteen hiilidioksidipäästöjä 50 % ja terveydelle haitallisimpia lähipäästöjä 80 % vuoteen 2018 mennessä vuoden 2010 tasosta. Jotta nämä tavoitteet voivat toteutua, tarvitaan uusinta ajoneuvoteknologiaa, parhaita polttoaineita sekä sähkön hyödyntämistä voimanlähteenä.

Bussien ympäristövaikutukset muodostuvat palvelutason perusteella määräytyvistä suoritteista, kaluston ominaisuuksista, polttoaineiden ominaisuuksista ja ajotavasta. Joukkoliikenteen päästöjen vähentämiseksi HSL suosii vähäpäästöistä kalustoa. Bussiliikenteen päästötaso on alentunut tavoitteiden mukaisesti kaluston uusiutumisen ja biopolttoaineen käytön ansiosta. Nykyisin 51 % HSL-alueen busseista on vähäpäästöisiä (EEV). Vuonna 2012 ratkaistujen sopimusten mukaisesti liikenteeseen on tullut 126 uutta EEV-bussia ja kaikkein vähäpäästöisimmän Euro VI –luokan busseja (HSL:n vuosikertomus 2012).

HSL kokeili uusinta ajoneuvoteknologiaa, jolla saatiin vähennettyä polttoaineenkulutusta sekä lähi- ja hiilidioksidipäästöjä. Liikenteessä aloitti 59 kevytrakennebussia, Helsingin linjalla 24 alkoi liikennöidä kaksi hybridibussia ja lisäksi Espooseen linjalle 11 on saatu täyssähköbussi koekäyttöön. Liikennöitsijöille järjestettiin ensimmäistä kertaa erillinen kilpailutus ympäristöbonuksesta, joka kannustaa päästöjä alentaviin toimenpiteisiin.

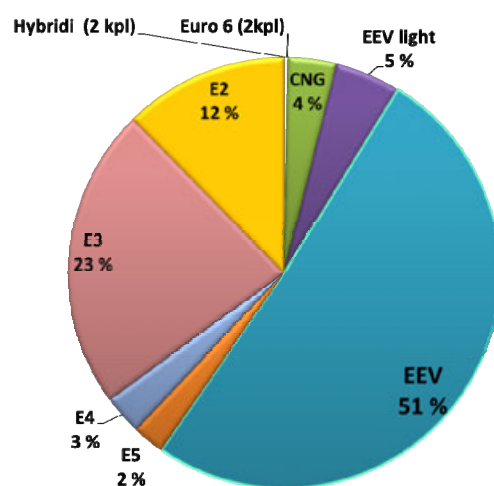
Käytössä oleva kilpailutuksen päästöihin liittyvä pisteytys on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Kilpailutuksen päästöihin liittyvä pisteytys.

HSL-päästöluokka	Euroluokka	Pisteraja	
1	Euro 2	0	
2	Euro 3	2	
3	Euro 4	2,8	
4	Euro 3 CNG	3,2	
5	Euro 5	3,5	
6	EEV Di	4,2	
7	EEV energiatehokas*	5,5	
8	EEV CNG	6,1	
9	Euro 6	6,5	
10	Sähköbussi**	7,5	
* = oletettu kulutussäästö min. 25 % esim. hybriditekniikalla			
**=lähipäästöt 0g/km			

Lähipäästöjen osalta, päästö pisteet määritellään oheisen porrastetun päästöluokkataulukon osalta.

Päästöluokkia käytetään HSL:ssä kilpailutuksessa pisteytyksen perusteena. Pisteytyksen lineaarisuus ei ole kuitenkaan perusteltua, sillä hyöty ei kasva samassa suhteessa. Haitallisten lähipäästöjen osalta Euro-luokkiin perustuvien päästötasojen pisteporaitaissa huomioidaan mittausten perusteella todelliset päästöarvot. Käytettyjen bussien päästöluokkaa on mahdollista parantaa jälkiasennettavien (retrofit) laitteiden avulla. Kuvassa 65 on HSL:n tilaaman bussiliikenteen kalustojakautuma syksyllä 2013.



Kuva 65. HSL:n tilaaman bussiliikenteen kalustojakauma (9/2013).

Vaihtoehtoisia käyttövoimaratkaisuja voidaan myös erikseen kokeilla vaatimalla joissakin soveltuvissa kohteissa käyttöön tietynlaista kalustoa. HSL:n tavoitteena on edistää uuden tekniikan käyttöönottoa, esim. kalustovaatimuksissa hybridibussit (kulutussäästö vähintään 25%) sallitaan direktiivin mukaisilla istuinväljyyksillä.

Autotyyppien päästöjä seurataan käytönaikaisilla mittauksilla, joiden avulla HSL:n päästöluokkia edelleen tarkennetaan vuosittain 2 – 3 kertaa järjestettävillä kilpailukierroksilla. Hiilidioksidipäästöjen osalta referenssisitasoa selvästi paremmalle kalustolle eli päästöjä vähentäville käyttövoimaratkaisuille kuten hybridi- ja sähköbusseille annetaan hyvitystä (taulukko 10).

Taulukko 10. CO₂ päästövähennemien pistetaulukko.

	vähennelmä	pistettä
CO ₂ päästövähennelmä referenssisitasosta	25 %	0,5 pistettä
CO ₂ päästövähennelmä referenssisitasosta	50 %	1,0 pistettä
CO ₂ päästövähennelmä referenssisitasosta	75 %	1,5 pistettä
CO ₂ päästövähennelmä referenssisitasosta	100 %	2,0 pistettä

Kaluston kasvihuonekaasupäästöjen päästövähennelmä suhteessa pisteytykseen.

HSL:n tavoitteena on, että vuonna 2015 sen bussikalustosta 1 % on sähköbusseja, vuonna 2020 10 % osuutta ja vuoteen 2025 mennessä tavoitellaan 30 % osuutta. Hybridibusseja tavoitellaan vuonna 2015 olevan 2,5 %, 2020 mennessä 12 % osuus ja vuoteen 2025 mennessä 22 %.

Sähköbussin akusto/latausjärjestelmä voidaan optimoida liikennöintikohdetta varten. Kaupunkiliikenteen bussit ovat sähköistämisen kannalta hyvin potentiaalisia. Korkea käyttöaste bussiliikenteessä mahdollistaa korkean investoinnin takaisinmaksun matalilla käyttökuluilla. Sähköbussin äänimaailma ja lähipäästöttömyys nostavat joukkoliikenteen houkuttelevuutta.

HSL:n ympäristöbonusjärjestelmää varten varattiin vuosille 2012 - 2013 yhteensä 600 000 euroa. Vuonna 2014 summa on 1 miljoonaa euroa. Hyväksytyt toimenpiteet vuonna 2012 olivat jäteperäisten biokaasun ja biodieselin käyttö, pakokaasujen jälkikäsittelylaitteiden asentaminen vanhaan kalustoon sekä kaluston uusiminen.

Vuosittain ratkaistava bonus mahdollistaa joustavasti parhaiden kulloinkin käytettävissä olevien toimenpiteiden edistämisen ja se mukautuu teknologian kehitykseen sekä päästövaikutusten laskentamenetelmien ja mittaustulosten muutoksiin. Jaettavan ympäristöbonussumman kasvua voidaan nopeuttaa tai hidastaa tarpeen mukaan, jolloin voidaan ottaa huomioon saavutetut tulokset, käytettävissä olevien toimenpiteiden rajahyöty, liikenteen päästövähennystavoitteiden saavuttaminen muilla keinoilla

Ympäristöbonusjärjestelmän avulla on pystytty vähentämään HSL:n bussiliikenteen päästöjä vuoden 2012 marraskuusta vuoden 2013 joulukuun loppuun seuraavasti: hiilidioksidipäästöjä CO₂ 7% (7372 tonnia), typen oksidien päästöjä NO_x 2,7 % (19,8 tonnia) ja hiukkaspäästöjä PM 6 % (700 kg).

5.2.3 Henkilöautot

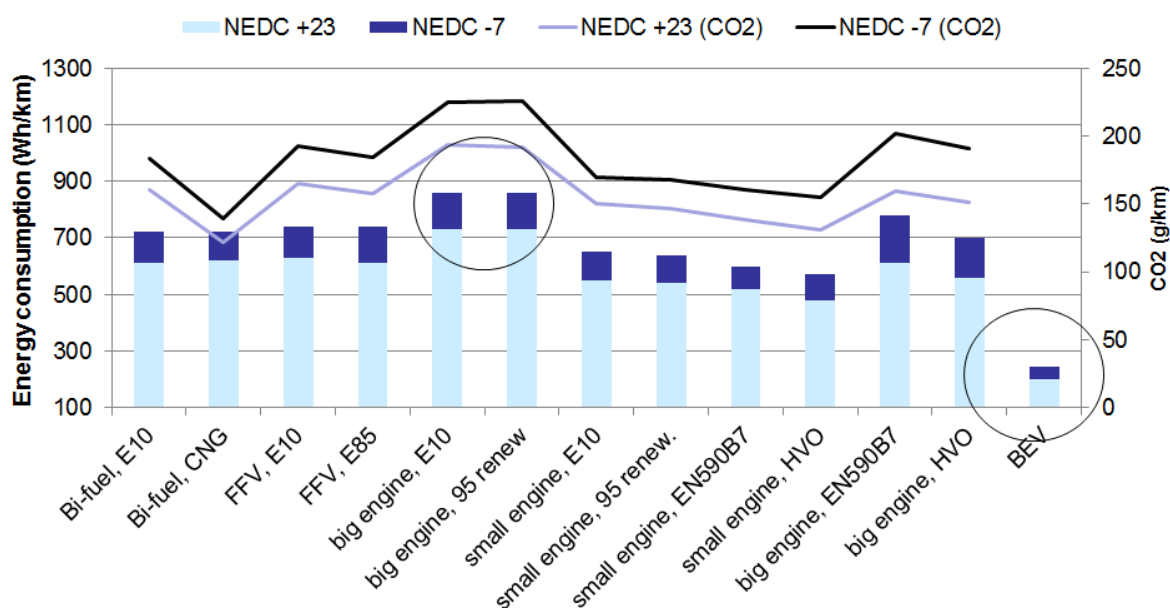
IEA CARPO-hankkeessa tarkasteltiin henkilöautojen tekniikkavaihtoehtoja vastaavalla tavalla kuin bussien vaihtoehtoja IEA Bus –hankkeessa. CARPO-hankkeessa osallistuvat laboratoriot valitsivat kukin mittauksiin yhden henkilöautotyyppin, johon on tarjolla mahdollisimman monta moottori- ja polttoainevaihtoehtoa. VTT:n osalta valinta kohdistui varsin suosittuun perhekokoluokan autoon, johon on tarjolla seuraavat vaihtoehdot (Nuottimäki 2012):

- useita bensiinimoottoreita
- useita dieselmootoreita
- flex-fuel etanoliversio
- bi-fuel kaasuersio.

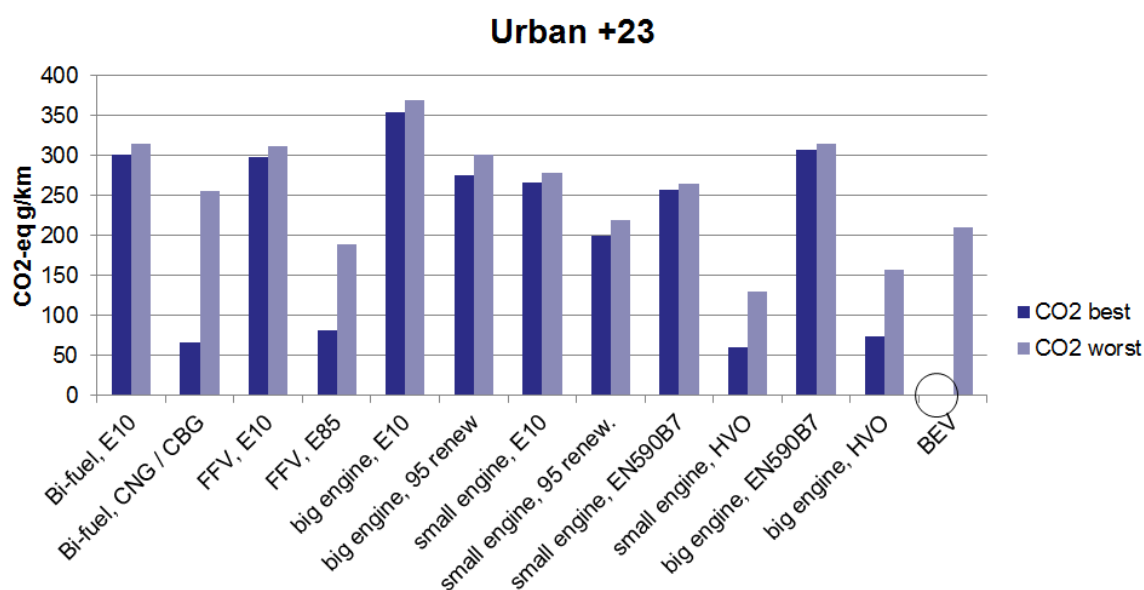
Polttomoottoriversioiden päästöluokka oli Euro 5. Lisäksi automallista oli käytettävissä muunnos-sähköauto (jälkiasennuksena tehty sähkökonversio), joten valitun automallin osalta oli käytettävissä kaikki vaihtoehdot paitsi hybridi.

Kuvassa 66 on eri versioiden energian kulutus mitattuna NEDC tyyppihyväksymistestissä. Mittaukset tehtiin kahdessa lämpötilassa, +23 ja -7 °C. Tulokset ovat odotetunlaisia. Suurella bensiinimoottorilla versio kuluttaa eniten energiaa, kylmässä noin 0,86 kWh/km (n. 9,7 l/100 km), ja sähköauto vähiten, 0,2 kWh/km (ilman sähköistä lämmityslaitetta). Isolla dieselmootorilla varustettu versio kulutti käytännössä yhtä paljon kuin pienehköllä moottorilla varustetut bensiini-, FFV- ja bi-fuel-mallit. Pieni dieselmootori HVO-polttoaineella oli polttomoottoriversioista energiatehokkain. Kuvaan on myös merkitty pakoputkesta mitattu CO₂-päästö. Bensiinillä, dieselillä ja etanolilla CO₂-päästö korreloi energian kulutukseen. Bi-fuel –auton päästöissä on selvä ero bensiinillä ja maakaasulla ajettaessa. Maakaasu antaa edullisemman kemiallisen koostumuksensa ansiosta pienemmät CO₂-päästöt (bensiniin ominais-CO₂ 73,4 g/MJ, metaanin 55,0 g/MJ).

Kuvassa 67 on arvioitu koko polttoaine/energiaketjun (well-to-wheel) CO₂-päästöjä kaupunkiajossa. Paras vaihtoehto nollapäästöisenä on sähköauto uusiutuvalla sähköllä. Biokaasu, etanoli ja uusiutuva HVO-dieselpolttoaine mahdollistavat CO₂-päästöjen tuntuvaan alentamisen sillä edellytyksellä, että raaka-aine on valittu oikein.



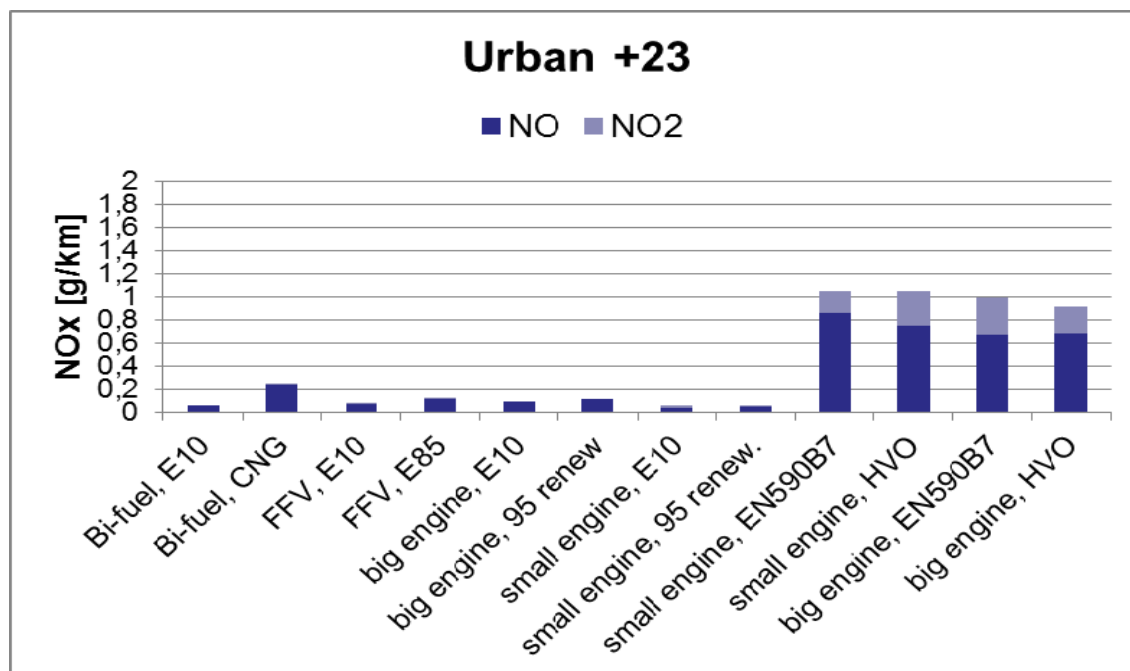
Kuva 66. Henkilöauton eri tekniikkavaihtoehtojen energian kulutus ja CO₂-päästöt NEDC-kokeessa. (Nuottimäki 2012)



Kuva 67. Koko energiaketjun (well-to-wheel) CO_{2ekv}-päästöt eri tekniikoille kaupunkiajossa. (Nuottimäki 2012)

Autoista mitattiin myös säänneltyjä päästöjä. Kuvassa 68 on kaupunkiajon NO_x-päästöt jaoteltuna (NO ja NO₂). Bensiini ja etanoli antavat alaiset NO_x-päästöt, ja NO₂-osuus on olematon. Kaasulla ajettaessa bi-fuel versio antaa hieman em. autoja korkeammat NO_x-päästöt. Dieselautojen ongelmana on sekä korkea NO_x-päästö, noin 5 – 10 –kertainen muihin tekniikoihin verrattuna että merkittävä NO₂-osuus, korkeimmillaan noin 25 % NO_x:n määrästä. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että dieselautoista tulee enemmän suoraa NO₂-päästöä kuin mitä muista versioista tulee NO_x:ää tai

NO₂:ta. Hiukkassuodattimella varustettujen dieselhenkilöautojen lisääntyminen selittää omalta osaltaan kohdassa 5.2.1 selostettua NO₂-ongelmaa.



Kuva 68. NO₂ ja NO osuudet eri tekniikoilla. (Nuottimäki 2012)

6 Yhteenveto

Käsillä oleva raportti on vuonna 2009 silloiselle YTV:lle tehdyn ajoneuvo- ja polttoaineteknisen selvityksen päivitys. Käsillä olevassa raportissa on tekniikan lisäksi käsitelty toimintaympäristössä ja ohjauksessa tapahtuneita muutoksia. Ajoneuvotekniikan osalta painopiste on nyt sähkö- ja polttoakkuautoissa. vuoden 2009 jälkeen sähköautojen tarjonta on käynnistynyt toden teolla.

EU:n suuret linjaukset vuodelle 2020, ml. yleiset 20-20-20 –tavoitteet ja uusiutuvan energian edistämistä koskeva direktiivi, olivat tiedossa vuonna 2009. Vuonna 2011 Komissio julkaisi liikenteen valkoisen kirjan, joka linjaa liikennesektorin kehitystä vuoteen 2050. Puhtaiden ajoneuvojen ja polttoaineiden lisäksi valkoinen kirja painottaa itse liikennejärjestelmän tehokkaampaa hyödyntämistä. Paraikaa neuvotellaan biopolttoaineiden kestävyyskriteereistä ja vaihtoehtoisten energioiden infrastruktuuriin liittyvästä direktiiviehdotuksesta.

Vuoden 2009 jälkeen Suomessa on tehty useita tieliikenteeseen liittyviä linjauksia liittyen älyliikenteeseen, biopolttoaineisiin ja sähköautoihin. Myös Suomessa näkyy muutos siinä että nyt myös järjestelmätason asiat tuodaan näkyvämmiin esiin. "Transport as a service" ajattelu on vahvistunut, eli ollaan siirtymässä tarvelähtöiseen ajatteluun sen sijaan että keskitytään infrastruktuuriin ja ajoneuvoihin. Nyt puhutaan paljon yhteistoiminnallisista järjestelmistä sekä matka- ja logistiikkaketjuista. Vuoden 2013 energia- ja ilmastostrategia sisältää useita kirjauksia jotka soveltuvat HLJ-työn ohjenuoraksi.

Maa- ja metsätalouden öljyperäiset tuotteet kattavat edelleen yli 90 % tieliikenteen energiantarpeesta. Merkittävimmät vaihtoehtoiset polttoaineet ovat suuruusjärjestyksessä etanoli, maakaasu ja neste-kaasu. Vuonna 2012 biopolttoaineiden osuus oli Euroopassa noin 5 % ja Suomessa 6 %. Suomen uusiutu biopolttoaineiden jakeluvuorotilaki edellyttää biopolttoaineille 20 %:n osuutta vuonna 2020.

Uudet öljyn ja kaasun tuotantotekniikat ovat johtaneet siihen, että kasvaneesta energian kulutuksesta huolimatta varannot ilmaistuna jäljellä olevina vuosina ovat pikemminkin kasvussa kuin laskussa. Euroopassa on jo nyt dieselpolttoaineen vajetta, jota paikataan tuonnilla. Tilanne vaikeutuu edelleen kun laivaliikenne siirtyy keskitisleisiin vuonna 2015.

Komission lisäksi mm. IEA on tehnyt liikenneprojektioita vuoteen 2050. Yhteistyössä pohjoismaisen ministerineuvoston alaisen Nordic Energy Research'in kanssa tehtiin 2013 julkaisu Nordic Energy Technology Perspectives. Skenaariosta riippuen henkilöautojen polttoaineen kulutus laskee 45 – 60 % (ilman verkosta ladattavan sähkön vaikutusta) vuoteen 2050 mennessä. Hyötyajoneuvoille vastaava haara on 15 – 45 %. Liikenteen kokonaisenergian kulutus laskee selvästi, skenaariosta riippuen 22 – 37 %. Julkaisussa esitetyssä hiilineutraalissa skenaariossa fossiilinen bensiini katoaa kokonaan, ja liikenteen käyttövoimana on pieni määrä dieseliä lopun ollessa biopolttoaineita ja sähköä.

Liikenne- ja viestintäministeriön ”Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä” –työryhmässä katsottiin tilannetta Suomen osalta. Työryhmän raportissa esitetään mm. että vuonna 2030 kaikki Suomessa uutena rekisteröitävät henkilöautot olisivat vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöön soveltuvia. Vuoden 2050 tavoitetilassa henkilöautoliikenne on lähes täysin riippumaton öljystä. Raskaassa liikenteessä nestemäisten ja kaasumaisten biopolttoaineiden osuus olisi vähintään 70 %. Sähkön osuuden kaupunkien bussi- ja jakeluliikenteessä tulisi olla samaa luokkaa. Raportissa pohdittiin myös eri liikennemuotojen käyttötarpeiden priorisointia vaihtoehtoisten polttoaineiden ja käyttövoimien teknisten rajoitteiden, saatavuuden ja vaikuttavuuden pohjalta. Lento- ja laivaliikenteen osalta vaihtoehtoja on vähän, ainakaan kaupallisessa lentoliikenteessä sähköistys ei ole vaihtoehto. Keveiden ajoneuvojen ja kaupunkiliikenteen osalta vaihtoehtoja on selvästi enemmän.

Euro 6/VI pakokaasuvaatimusten astuessa voimaan tavanomaisetkin polttomoottoriautot lähestyvät nollapäästöisyyttä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että ilmanlaatuongelmat poistuvat kokonaan. Kaikissa dieselautoissa tulee jatkossa olemaan varsinainen hiukkassuodatin, ja tämä lisää NO₂:n osuutta suhteessa NO_x:hon. Vaikutus saattaa kuitenkin jäädä vähäiseksi, jos merkittävä typen oksidien kokonaismäärän (NO_x) vähennys toteutuu todellisuudessa siirryttäessä Euro 5/VI –tasosta Euro 6/VI –tasoon. Tällä hetkellä suoraruiskutuksella varustetuista bensiinimoottoreista tulee enemmän hiukkasia kuin varsinaisella hiukkassuodattimella varustetuista dieselautoista. Näköpiirissä on, että hiukkassuodattimet tulevat myös bensiinautoihin. Miten tämä vaikuttaa NO₂-päästöihin, ei ole vielä tiedossa.

Jatkossa esim. vaihtoehtoisilla polttoaineilla on vaikea saavuttaa etuja lähipäästöjen osalta. Vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön perusteena on jatkossa joko kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen tai öljyperäisten polttoaineiden korvaaminen. Suomessa on merkittävää teollista mielenkiintoa edistyksellisiin biopolttoaineisiin. UPM aloittaa mäntyöljyn pohjautuvan uusiutuvan dieselpolttoaineen valmistuksen Lappeenrannassa vuonna 2014.

Komission valmisteleva infrastruktuuridirektiivi kattaa nestemäisen maakaasun (LNG) sekä laivaliikenteeseen että raskaaseen tieliikenteeseen. Ns. dual-fuel tekniikka saattaa tulla raskaaseen tavaraliikenteeseen, mutta tuskin busseihin. Toinen raskaisiin kuorma-autoihin painottuva tekniikka on DME, jonka odotetaan kaupallistuvan USA:ssa vuonna 2015.

Edellisen selvityksen ajankohtaan, 2009, verrattuna sähköautojen kohdalla on tapahtunut merkittävää edistymistä. Sähköautojen kaupallinen tarjonta on todellakin käynnistynyt. Useat merkittävät autonvalmistajat kykenevät nyt tarjoamaan sähköautoja. Takaiskujankin on koettu, sillä kuluttajat eivät ole ottaneet sähköautoja omikseen niin nopeasti kuin monet tahot olivat uskoneet tai toivoneet. Sähköauton osalta on kuitenkin muistettava, ettei sähköhenkilöauto poista henkilöautoilun perusongelmia, ruuhkautumista ja tilantarvetta ydinkeskustoissa, ja etteivät mahdolliset edistämistoimenpiteet saa olla ristiriidassa joukkoliikenteen edistämistavoitteiden kanssa.

Täyssähköauton perusongelmia ovat edelleen sen korkea hankintahinta ja rajallinen toimintamatka. VTT:n mittaukset osoittavat, että kylmissä olosuhteissa todellinen toimintamatka voi olla enää noin kolmannes valmistajan ilmoittamasta toimintamatkasta. Suomen osalta voidaan ennustaa, että plug-in hybridit yleistyvät täyssähköautoja nopeammin.

Sähköauto on kallis investointi, mutta sähköauton käyttö on yleensä edullista. Niinpä sähköisiin hyötyajoneuvoihin, joita käytetään paljon, on huomattavasti helpompaa saada kannattavuutta kuin yksityisiin henkilöautoihin. Lisäksi hyötyliikenne on usein suunnitelmallista ja sidottua tiettyihin reitteihin, hyvänä esimerkkinä bussiliikenne. Näin ollen tarvittava toimintamatka ja käytettävissä oleva latausaika ovat hyvinkin tiedossa. Huomioiden sähköbussien energiatehokkuus, mahdollisuus alhaisiin CO₂-päästöihin sekä paikallinen päästöttömyys, suosituksena voisi olla kaupunkibussiliikenteen sähköistäminen aina kun se on mahdollista. Dieselbussin well-to-wheel CO₂-päästö on tavanomaista dieselpolttoainetta käytettäessä noin 1300 g/km, kun keskimääräisellä suomalaisella sähköllä sähköbussissa vastaava luku on noin 300 g/km (pohjoismaisella sähköllä 150 g/km). HSL onkin asettanut itselleen sähköbussitavoitteita: 1 % sähköbusseja vuonna 2015, 10 % vuonna 2020 ja 30 % vuonna 2025.

Tällä hetkellä rajoitteita aiheuttavat mm. vasta kehittymässä oleva autojen tarjonta, autojen korkea hinta, rajoitteet toimintamatkassa, vakiintumattomat latausratkaisut ja sähköbussiliikenteen aiheuttamat vaatimukset yleiselle infrastruktuurille.

Useampi autonvalmistaja on ilmoittanut tuovansa polttokennoautoja rajoitetussa määrin markkinoille noin vuonna 2015. Tällä hetkellä kehityksen kärjessä kulkee korealainen Hyundai, jonka ix35 polttokennoauton koetuotanto on jo käynnistynyt. Sähköautoista on todettu, että niihin kohdistettiin joitakin vuosia sitten ylioptimistisia odotuksia. Nähtäväksi jää, syntyykö polttokennoautoista seuraava ns. "hype". Sähköautojen yleistymistä helpottaa se, että sähköä on tarjolla kaikkialla, ja että henkilöauton hidas lataus voidaan (tietyin varauksin) järjestää tavallisesta 16 A pistorasiasta. Mahdollista vedyn tankkausjärjestelmää lähdetään rakentamaan nollasta, ja jos rakentamiseen lähdettäisiinkin, kestää vuosia ennen kuin kattava järjestelmä on pystyssä.

Kestävä kaupunkiseutujen henkilöliikenne perustuu joukkoliikenteeseen. Uudentyyppiset henkilöautot ja uudet polttoaineet mahdollistavat päästöjen vähentämisen. Ongelmana on kuitenkin jatkossakin henkilöautojen aiheuttamat ruuhkat ja katutilojen täyttyminen pysäköidyistä autoista. Uutta teknologiaa voidaan myös hyödyntää joukkoliikenteen houkuttelevuuden parantamiseen. Euro VI

päästötasoa tulee tarkoittamaan, että matkustajat eivät jatkossa enää näe mustia pakokaasupilviä tai aisti dieselpakokaasujen hajua. Parhaimmat biopolttoaineet auttavat alentamaan CO₂-päästöt sähköautojen tasolle. Sähköbussi voi hiljaisena ja täysin päästöttömänä ajoneuvona lisätä bussiliikenteen haluttavuutta. Sähköbussia ei kuitenkaan voida tarkastella pelkästään ajoneuvotekniikan näkökulmasta, vaan koska sähköbussi kytkeytyy kiinteästi infrastruktuuriin ja latausjärjestelmiin, sitä on tarkasteltava osana laajempaa järjestelmää. Palveleva ja hyvin toimiva joukkoliikenne edellyttää hyviä tietojärjestelmiä ja sujuvia matkaketjuja. Niinpä vähähiilisen energian ja edistyksellisten bussien rinnalla on kehitettävä myös joukkoliikenteen palvelupuolta.

Liite 1. Nordic Energy Technology Perspectives skenaarioiden toimenpiteet ja keinot.

Measures/means	4DS	2DS	CNS	CNES	CNBS
Avoid	No avoidance strategy.	4% reduction in passenger transport.	4% reduction in passenger transport.	Same as CNS.	Same as CNS.
Efficiency improvements	40% reduction of average tested new PLDV fleet fuel consumption.	55% reduction of average tested new PLDV fleet fuel consumption (excluding the effect of electrification).	60% reduction of average tested new PLDV fleet fuel consumption (excluding the effect of electrification).	Same as CNS.	Same as CNS.
	15% reduction of average tested new CV fleet fuel consumption.	30% reduction of average tested new CV fleet fuel consumption.	45% reduction of average tested new CV fleet fuel consumption.	Same as CNS.	Same as CNS. The substitution of FCEVs by hybrids and conventional ICE vehicles somewhat lowers overall fleet efficiency in the road transport sector.
	1% annual reduction on energy intensity per pkm in air transport.	1.5% annual reduction on energy intensity per pkm in air transport.	1.5% annual reduction on energy intensity per pkm in air transport.	Same as CNS.	Same as CNS.
	0.4% annual reduction on energy intensity per pkm in rail transport.	1% annual reduction on energy intensity per pkm in rail transport.	1% annual reduction on energy intensity per pkm in rail transport.	Same as CNS.	Same as CNS.
Technology switch	Stock of PLDVs by 2050: 15% EVs (PHEV and BEV), 30% conventional hybrids, 50% conventional ICE.	45% stock share of EVs (PHEV and BEV), 15% stock share of FCEVs, 15% stock share of conventional hybrids on PLDVs.	55% stock share of EVs (PHEV and BEV), 15% stock share of FCEVs, 15% stock share of conventional hybrids on PLDVs.	65% stock share of EVs (PHEV and BEV), the share of BEVs on stock is 50% higher than in the CNS (reducing the share of conventional hybrid vehicles).	Like CNS for PLDVs, FCEVs are substituted by PHEVs.
	Minor penetration of CNG trucks.	10% sales share of CNG trucks, progressive hybridisation of short- and medium-haul trucks, 10% sales share of FC trucks. Full electrification of rail.	No conventional ICE LCV (<3.5t) sold, 75% sales share of alternative power-train configuration (hybridisation, CNG, FC) of medium- and long-haul trucks.	Same as CNS for all other transport modes.	Like CNS for road freight, FC trucks are substituted by hybrids and conventional ICE trucks. Same as CNS for all other transport modes.
Fuel switch	10% share of biofuels in petroleum blends.	35% share of biofuels in petroleum blends.	75% share of biofuels in petroleum blends.	Same as CNS.	100% share of biofuels in petroleum blends.
Modal shift	No shift strategy.	20% reduction in individual pkm, shifted equally to bus and rail. 50% of road freight transport growth is shifted to rail.	20% reduction in individual pkm, shifted equally to bus and rail. 50% of road freight transport growth is shifted to rail.	Same as CNS.	Same as CNS.

Notes: The measures mentioned are general descriptions across all the Nordic countries. In the detailed scenarios on country level, the level of the measures varies. Pkm – passenger kilometres. CV – commercial vehicle. BEV – battery-electric vehicle. FCEV – fuel-cell electric vehicle. HEV – hybrid electric vehicle. ICE – internal combustion engine. CNG – compressed natural gas. PLDV – passenger light-duty vehicles. FC – fuel cells. LCV – light commercial vehicles. PHEV – plug-in hybrid electric vehicle.

HSL:n julkaisuja 7/2014

ISSN 1798-6184

ISBN 978-952-253-229-9 (pdf)

HSL Helsingin seudun liikenne
Opastinsilta 6A, Helsinki
PL 100, 00077 HSL
puh. (09) 4766 4444
etunimi.sukunimi@hsl.fi

HRT Helsingforsregionens trafik
Semaforbron 6 A, Helsingfors
PB 100 • 00077 HRT
tfn (09) 4766 4444
fornamn.efternam@hsl.fi

www.hsl.fi