



Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Vuoden 2016 päivitys

Kirjoittajat:

Nils-Olof Nylund, Juhani Laurikko, Juha Honkatukia,
Kai Sipilä, Ilkka Hannula, Esa Kurkela & Yrjö Solantausta

Luottamuksellisuus:

Julkinen

Raportin nimi Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Vuoden 2016 päivitys	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Liikenne- ja viestintäministeriö/Saara Jääskeläinen Työ- ja elinkeinoministeriö/Jukka Saarinen	Asiakkaan viite
Projektin nimi TransSmart 2016 extra	Projektin numero/lyhytnimi 105049-1.3
Raportin laatija(t) Nils-Olof Nylund, Juhani Laurikko, Juha Honkatukia, Kai Sipilä, Ilkka Hannula, Esa Kurkela & Yrjö Solantausta	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 92 + 1
Avainsanat Hiilidioksidipäästöt, tieliikenne, vähentäminen, biopolttoaineet, sähköautot, kustannukset	Raportin numero VTT-R-00741-17
Tiivistelmä Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy ja Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT) toteuttivat vuosina 2013 – 2015 yhteistyössä selvityksen siitä, millä toimenpiteillä ja millä kustannuksilla Suomen tieliikenteessä voidaan saavuttaa 30 tai 40 %:n vähenemä tieliikenteen hiilidioksidipäästöissä (CO₂) vuoteen 2030 mennessä vertailuvuoden ollessa 2005. Selvityksen loppuraportti julkaistiin kesäkuussa 2015. Pääosa selvityksen laskennoista tehtiin vuonna 2014. Sitten toimintaympäristössä on tapahtunut paljon muutoksia, jotka ovat antaneet aiheita raportin päivitykseen. Vuoden 2016 päivityksen yhteydessä laskentoihin ja arviointeihin tehtiin mm. seuraavat muutokset ((tarkasteltiin 40 %:n päästövähennemää): • ajoneuvokaluston energiatehokkuuden ja suoritteiden kehitysarvioita on tarkennettu • laskettiin auto- ja energiamäärien perusteella uusi ns. perusura vuoteen 2030 • luotiin kaksi uutta kalustoskenaariota, sähköautot maksimoiva skenaario ja kaasutautot maksimoiva skenaario • tarkennettiin arvioita uusiutuvien polttoaineiden tuotantomahdollisuuksista • sähköautojen hintakehityksen ennusteita on tarkennettu ja varioitu • uusittiin laskelmat eri skenaarioiden vaikutuksista kansantalouteen Selvityksen perusteella voidaan sanoa, että tavoitteen saavuttamiseksi tarvitaan sekä edistysellisiä biopolttoaineita että sähköautoja. Vältetyn CO₂-tonnin hinta on nykyisillä hinnoilla ja veroilla biopolttoaineilla (nestemäiset ja kaasut) 50...300 €/tCO₂, lataushybridillä 800...2500 €/tCO₂ ja täyssähköautolla 200...1400 €/tCO₂. Sähköautojen tuleva hintakehitys vaikuttaa aivan keskeisesti niiden kilpailukykyyn. Jos sähköauton hankintahinta laskisi bensiiniauton tasolle, sähköauto olisi hyvin kustannustehokas liikenteen päästövähennyskeino halpojen käyttökulujen vuoksi. Sähköbussi on jo tänä päivänä kokonaiskustannuksiltaan varsin kilpailukykyinen dieselbussiin nähden elinkaarensa aikana.	
Luottamuksellisuus	Julkinen
Espoo 31.3.2017 Laatija  Nils-Olof Nylund Tutkimusprofessori	Tarkastaja  Matti Kytö Johtava tutkija
Hyväksyjä  Johannes Hyrynen Tutkimusalueen johtaja	
VTT:n yhteystiedot nils-olof.nylund@vtt.fi	
Jakelu (asiakkaat ja VTT) LVM (5), TEM (5), VTT (3)	
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.	

Alkusanat

Vuoden 2015 raportissa ”Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehdot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset” arvioitiin biopolttoainesten ja muiden vaihtoehtoisten energiamuotojen käyttöönoton ilmasto- ja kustannusvaikutuksia vuoteen 2030. Tutkimuksen pääpaino oli tieliikenteessä ja yleinen tavoite oli mahdollisimman tehokkaiden kehityspolkujen määrittely liikenteen päästöjen vähentämiseksi sekä uusiutuvan ja hiilineutraalin energian käyttöönottamiseksi. Alkuperäinen selvitys toteutettiin Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n ja Valtion taloudellisen tutkimuskeskus VATT:in yhteistyönä.

Pääosa selvityksen laskennoista tehtiin vuonna 2014. Sittemmin toimintaympäristössä on tapahtunut paljon muutoksia, jotka ovat antaneet aiheita raportin päivitykseen. Alkuperäinen selvitys oli osa VTT:n koordinoimaa TransSmart tutkimusohjelmaa. Keväällä 2016 TransSmart ohjelman ulkoinen ohjausryhmä päätyi suosittelemaan raportin päivitystä. Päivitystyö rahoitettiin osittain TransSmart ohjelman vuoden 2016 koordinaatiorahasta, osittain liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) toimesta.

Vuoden 2016 päivitystyössä, joka toteutettiin Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n toimesta, on mm. tarkennettu arvioita ajoneuvokaluston energiatehokkuuden, sähköautojen hinnan ja biopolttoainesten tuotantomahdollisuuksien kehittymisestä, sekä luotu uusia kalustoskenaariota, mm. sähköautot maksimoiva skenaario. Päivityksen pohjaksi VTT järjesti työpajan energia- ja liikennealan toimijoille, jossa kerättiin toiveita ja näkemyksiä päivityksen sisällöstä.

Hanketta on tukenut ja suunnannut ohjausryhmä jäseninään Saara Jääskeläinen (LVM), Jukka Saarinen (TEM), Leo Parkkonen (VM) ja Tarja Lahtinen (YM).

Espoo 31.3.2017

Tekijät

Sisällysluettelo

Alkusanat	2
Sisällysluettelo	3
0. Laajennettu tiivistelmä	6
1. Johdanto	19
2. Vuoden 2015 raportti	20
3. Vuoden 2015 raporttiin ja sen päivitystyöhön saadut toimijoiden kommentit	22
4. Tieliikenteen energiamäärät ja CO ₂ -päästöt 2005 (vertailuvuosi)	24
5. Muutoksia toimintaympäristössä	26
5.1 Yleistä	26
5.2 Hallituksen strateginen ohjelma toukokuu 2015	26
5.3 Dieselhenkilöautojen päästöhuijaus ja keskustelut polttomoottoriautojen kieltämisestä	27
5.4 TEM:in asettama työryhmä ILUC-direktiivin edellyttämistä muutoksia kansalliseen lainsäädäntöön sekä biopolttoaineiden edistämistoimista vuoden 2020 jälkeen	29
5.5 Komission tiedonanto vähähiilisestä liikenteestä	29
5.6 Direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta (2014/94/EU) ja sen kansallinen toimeenpano	32
5.7 Kansallinen vuoteen 2030 ulottuva energia- ja ilmastostrategia	34
5.8 Komission talvipaketti 30.11.2016	35
6. Päivityksen yhteydessä tehdyt muutokset tarkasteluihin	37
7. Uudet kalusto- ja polttoainelaskelmat	39
8. Ajoneuvokatsaus	48
8.1 Yleistä	48
8.2 Arvioita eri ajoneuvotekniikoiden kustannuksista	49
8.3 Arvioita eri tekniikoiden vaikutuksista CO ₂ päästöihin ja päästöjen vähennyskustannuksiin	52
8.4 Sähköautojen tarjonta ja markkinatilanne	55
9. Arvioit edistyskellisten bio- ja uusiutuvien liikennepolttoaineiden tuotantomahdollisuuksista	59
9.1 Yleistä	59
9.2 Biokaasun ja uusiutuvan metaanin tuotanto	61
9.3 Bioetanolin valmistus jäte-, tähde- ja lignoselluloosapohjaisista raaka-aineista	62
9.4 Synteettinen biometaan (SNG) termisesti kuoresta ja metsätähteistä	63
9.5 Synteettinen, uusiutuva diesel tai bensiini kuoresta ja metsätähteistä	63
9.6 Sähköenergialla valmistettavat uusiutuvat liikennepolttoaineet, P2G/L (Power to Gas/Liquid)	65
9.7 Sähköenergialla täydennetyt biopolttoaineet	67
9.8 Yhteenveto uusiutuvien liikennepolttoaineiden tuotantokustannusarvioista synteesikaasusta	67
9.9 Uusiutuvat liikennepolttoaineet jalostamon oheissyöttönä sekä biojalostamointegraateissa	68
9.10 Uusiutuvien liikennepolttoaineiden tuotantokapasiteetin lisäysskenaariot vuoteen 2030	71
10. Vaihtoehtoisten teknologioiden hintavaikutukset	74

10.1 Yleistä.....	74
10.2 Polttoaineiden hinnat tammikuussa 2017.....	74
10.3 Vaihtoehtoisten teknologioiden hintavaikutukset henkilöautoissa.....	80
10.4 Vaihtoehtoisten teknologioiden hintavaikutukset busseissa	85
11. Kansantaloudelliset vaikutukset	88
12. Alustava arvio vuoden 2050 kalustosta ja energiamääristä	91

Tieliikenne 2030 päivitysraportin tärkeimmät päätelmät ovat:

- Raportissa vastataan kysymykseen, millä vaihtoehtojilla voidaan maantieliikenteen kasvihuonekaasupäästöjä vähentää 40 % vuoteen 2030 (ja edelleen vuoteen 2050). Vertailuvuoden 2005 lähtötaso on n. 11,7 Mt CO₂, ja päivityksen perusskenaariossa CO₂ päästöt ovat vuonna 2030 n. 9,2 Mt, eli n. 21 % alemmat kuin vertailuvuonna. **Päästöjä pitäisi siis edelleen alen-
taa n. 2,2 Mt, eli n. 19 %-yksikköä.** Perusskenaariossa biopolttoaineiden todellinen osuus (ilman nykyisen jakeluvaihtoiteen tuplalaskentaa) on noin 14 % ja sähkön osuus hyvin pieni.
- **Työssä on tarkasteltu viittä eri skenaariota**, uusina on esitetty optimistinen ”sähkömax”-skenaario, jossa on 400.000 täyssähköautoa ja 200.000 ladattavaa hybridiä, sekä ”kaasumax”-skenaario, jossa on 200.000 kaasuhenkilöautoa, 50.000 pakettiautoa ja biokaasulla on 10 % osuus raskaan kaluston suoritteesta. Kummassakin tarvitaan lisäksi 40 %:n KHK-päästöjen vähennykseen korkeaseosteisia nestemäisiä drop-in biopolttoaineita. **Kaikissa skenaarioissa, ml. sähköautoja painottava ”sähkömax”, biopolttoaineiden tarve oli nykyistä käyttöä tai Suomen nykyistä tuotantokapasiteettia suurempi.** ”Sähkömax”- ja ”kaasumax”-skenaariot vaatisivat autokannan muutosten lisäksi merkittäviä muutoksia myös näiden käyttövoimavaihtoehtojen jakeluinfraassa, joista aiheutuu kustannuksia.
- **Hallituksen marraskuussa 2016 esittämässä energia- ja ilmastostrategiassa asetettiin tavoitteeksi vähentää liikenteen päästöjä noin 50 % vuoteen 2030 mennessä**, ja biopolttoaineiden osuuden tulisi olla 30 % (todellinen energiaosuus). Lisäksi sähköautojen tavoite oli 250.000 ja kaasuautojen 50.000 kpl.
- Tämän tutkimuksen perusskenaarioon (-21 %) verrattuna 250.000 sähköhenkilöautoa vuonna 2030 alentaisivat päästöjä edelleen vajaat 5 %-yksikköä. Vastaavasti, jos biopolttoaineiden osuus nostettaisiin nykyisestä noin 13 prosentista 30 prosenttiin CO₂-päästöt vähenisivät noin 12 %-yksikköä. Tämän valossa voidaan sanoa, että **vuonna 2030 tullaan siis ehdottomasti tarvitsemaan sekä edistyksellisiä biopolttoaineita että hiiletöntä sähköä käyttäviä sähköautoja jotta päästään 40 tai 50% KHK-päästöjen vähenemiseen.**
- **Eri ratkaisujen suhteelliset kustannusvaikutukset riippuvat pääosin ulkoisista tekijöistä, kuten raakaöljyn ja sähköajoneuvojen hinnasta.** Lisäksi CO₂-päästöjen hinnoittelu sekä EU:n ilmastopolitiikan ohjauskeinot vuoteen 2030 vaikuttavat tilanteeseen. Kotimaisen biopolttoainetuotannon osalta hintakehitykseen voidaan joltain osin vaikuttaa omassa päätäntävallassa olevin toimin. Veroratkaisujen merkitys on tärkeä mentäessä kohti vähähiilistä ja älykästä liikennettä. **Hinta-arvio kotimaassa tuotettujen biopolttoaineiden osalta on suuruusluokkaisesti 1000... 1200 €/toe** (veroton litrahinta 0,82...0,98 €/l, kun fossiilinen dieselpolttoaine on 0,47 €/l).
- **Kustannusvaikutuksia on tarkasteltu niin polttoaineiden jakeluhintojen kuin eri autoluokkien (henkilöauto ja kaupunkibussi) vuosikustannusten osalta.** Henkilöauton osalta tarkasteltiin kaikki voimalinja- ja polttoainevaihtoehdot nykyveroin. Vertailukohtana oli bensiniikäyttöinen auto. Vältetyn CO₂-tonnin hinta oli nykyhinnoin ja -veroin biopolttoaineilla (nestemäiset ja kaasut) 50...300 €/tCO₂, lataushybridillä 800...2500 €/tCO₂ ja täyssähköautolla 200...1400 €/tCO₂. Vuotuinen 17.000 tai 30.000 km ajosuorite vaikutti voimakkaasti tulokseen muiden kuin biopolttoaineiden osalta. Dieselöinnillä (fossiilinen dieselpolttoaine) vältetyn CO₂ hinta vaihteli välillä -200...+1800 ja maakaasukäytöllä -100...+180 €/tCO₂. Kummankin kohdalla CO₂-vähennyspotentiaali on kuitenkin rajallinen. Dieselautojen osalta on myös kiinnitettävä huomioita taajamien ilmanlaatuvaikutuksiin. Jos sähköauton verollinen hankintahinta laskisi bensiiniauton tasolle, sähköauto olisi hyvin kustannustehokas halvempien käyttökulujen vuoksi. **Sähköbussi on jo nyt varsin kilpailukykyinen korkean käyttöasteen ansiosta.**
- **Kansantaloudelliset vaikutukset arvioitiin laskennallisen, yleisen tasapainomallin avulla.** ”Sähkömax”-skenaariosta tehtiin kaksi versiota, jotka eroavat toisistaan sähköautojen hintakehityksen osalta: a) ”sähkömax”-perusversio, jossa sähköauto on polttomootoriautoa kalliimpi vielä vuonna 2030, sekä b) ”sähkömax2”, jossa sähköauton hinta laskee polttomootoriauton tasolle jo vuonna 2025. Ensimmäinen mainittu oli kallein BKT vaikutuksiltaan, jälkimmäinen edullisin. **Uusien sähköautojen hintakehityksellä on ratkaiseva merkitys skenaarioiden välisten erojen kannalta**, vaikka infrastruktuurin vaatimat investoinnitkin vaikuttavat tulokseen hieman. Laskelmat osoittavat, että mahdolliset edistämistoimenpiteet sähköautojen osalta kannattaisi aloittaa vasta kun hinnat ovat laskeneet ja autojen (akkujen) suorituskyky on parantunut. **Eri skenaarioiden vaikutus BKT:hen oli välillä -2,7...+ 0,1 %.**

0. Laajennettu tiivistelmä

Tausta

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy ja Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT) toteuttivat vuosina 2013 – 2015 yhteistyössä selvityksen siitä, millä toimenpiteillä ja millä kustannuksilla Suomen tieliikenteessä voidaan saavuttaa 30 tai 40 %:n vähenemä tieliikenteen hiilidioksidipäästöissä (CO₂) vuoteen 2030 mennessä vertailuvuoden ollessa 2005. Selvityksen päärahoittaja oli työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). Selvityksen loppuraportti julkaistiin VTT:n tutkimusraporttina (VTT-R-00752-15) kesäkuussa 2015.

Pääosa selvityksen laskennoista tehtiin vuonna 2014. Sittemmin toimintaympäristössä on tapahtunut paljon muutoksia, jotka ovat antaneet aiheita raportin päivitykseen. Alkuperäinen selvitys oli osa VTT:n koordinoimaa TransSmart tutkimusohjelmaa. Keväällä 2016 TransSmart ohjelman ulkoinen ohjausryhmä päätyi suosittelemaan raportin päivitystä. Päivitystyö rahoitettiin osittain TransSmart ohjelman vuoden 2016 koordinaatiohankkeesta, osittain liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) toimesta.

Vuoden 2014 jälkeen toimintaympäristössä esiin nousseita asioita ovat mm. seuraavat:

- sähköautojen tarjonnan lisääntyminen
- pääministeri Juha Sipilän hallituksen strateginen ohjelma, toukokuu 2015
- dieselhenkilöautojen päästöskandaali syksyllä 2015, ja sen laajeneminen 2016
- dieselautojen käytön rajoittaminen ilmanlaatuongelmien takia eräissä kaupungeissa, sekä aloitteet uusien polttomoottoriautojen kieltämisestä vuoteen 2030 mennessä, etenkin suurkaupungeissa
- COP21 ja Pariisin ilmastopöytäkirja loppuvuodesta 2015
- keskustelut biojalostamojen rakentamisesta ja puun riittävydestä Suomessa
- TEM:in asettama työryhmä ILUC-direktiivin edellyttämistä muutoksia kansalliseen lainsäädäntöön sekä biopolttoaineiden edistämistoimista vuoden 2020 jälkeen
- Komission vuoden 2016 ”kesäpaketti”: ei-päästökauppasektorin taakanjakoehdotus, LULUCF-asetusehdotus (*land-use, land-use change, forestry*) sekä Komission tiedonanto vähähiilisestä liikenteestä
- Direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta (2014/94/EU) ja sen kansallisesta toimeenpanosta: kansallisen työryhmän loppuraportti suosituksiin julkaistiin 11.11.2016
- kansallisen vuoteen 2030 ulottuvan energia- ja ilmastostrategian valmistelu ja julkistaminen 24.11.2016
- Komission ”talvipaketin” julkistus 30.11.2016, sisältäen uusiutuvien energialähteiden REDII direktiiviehdotuksen

Uusia tavoitteita liikennesektorille

Hallituksen kevään 2015 strategisessa ohjelmassa asetetaan tavoitteeksi, että uusiutuvien polttoaineiden osuus vuoteen 2030 mennessä nousee (tuupalaskenta huomioon ottaen) 40 %:iin. Komission ns. kesäpaketti heinäkuussa 2016 esittää Suomelle 39 %:n vähennystä ei-päästökauppasektorin hiilidioksidipäästöihin vuoteen 2030 mennessä. Marraskuussa 2016 hallituksen hyväksymässä kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa vuoteen 2030 asetetaan selviä numeraalisia tavoitteita liikennesektorille:

- Liikenteen päästöjä vähennetään vuoteen 2030 mennessä noin 50 % verrattuna vuoden 2005 tilanteeseen, päästövähennystoimenpiteet kohdistetaan erityisesti tieliikenteeseen, jossa päästövähennyspotentialiaali on suurin.
- Liikenteen biopolttoaineiden energiasisällön fyysinen osuus kaikesta tieliikenteeseen myydyistä polttoaineista nostetaan 30 %:iin vuoteen 2030 mennessä.
- Tavoitteena on lisäksi, että Suomessa olisi vuonna 2030 yhteensä vähintään 250.000 sähkökäyttöistä autoa (täyssähköautot, vetäytöt ja ladattavat hybridit) ja vähintään 50.000 kaasukäyttöistä autoa.

Koska kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa liikenteen päästövähennystavoitteeksi asetetaan 50 %, on hyvin perusteltua tarkastella 40 %:n päästövähennystä ajoneuvo- ja polttoaineteknisin keinoin, mikä oli niin alkuperäisen vuoden 2015 raportin kuin nyt käsillä olevan päivityksenkin lähtökohta. Liikenteen päästöjä voidaan lisäksi vähentää muilla keinoilla, esimerkiksi energiatehokkuuden parantamisella järjestelmätasolla sekä kulku- ja kuljetusmuotoihin vaikuttamalla, jolloin vähennetään mm. henkilöautoliikennettä.

Päivityksen toteutus ja työn yhteydessä tehdyt tarkennukset

Päivitystyön toteutti Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Sen perustaksi VTT järjesti työpajan 25.8.2016 energia- ja liikennealan toimijoille. Tilaisuuteen osallistui noin 30 henkilöä. Osa toimijoista toimitti kirjallisia kommentteja päivitystyöhön, osa kommentoi selvitystä ja sen päivitystä suullisesti työpajan aikana. Lisäksi VTT kävi päivitystyön yhteydessä keskusteluja eri toimijoiden ja yritysten kanssa.

Päivityksen yhteydessä laskentoihin ja arviointeihin tehtiin mm. seuraavat muutokset:

- ajosuoritteita tarkennettiin alkuperäiseen selvitykseen verrattuna; henkilöautojen osalta maltillisemmiksi (vuoden 2030 suorite -8 %) ja raskaiden ajoneuvojen osalta suuremmiksi (+9 % vuonna 2030)
 - suoritteet vastaavat nyt kansallisen energia- ja ilmastostrategian laskelmien taustalla olevia suoritearvoja
- myös ajoneuvokaluston energiatehokkuuden kehitysarvioita tarkennettiin, etenkin raskaan kaluston osalta
- em. tekijöiden perusteella laskettiin auto- ja energiamäärien perusteella uusi ns. perusura vuoteen 2030, jossa hiilidioksidipäästöt ovat kuitenkin samalla tasolla kuin aikaisemmassakin arviossa (henkilöautoliikenteen päästöt laskevat mutta raskaan liikenteen päästöt kasvavat)
- ns. biopolttoaineisiin tukeutuvassa ”kehitys”-skenaariossa sähköautojen lukumäärää kasvatettiin hieman
- luotiin kaksi uutta optimistista autokalustoskenaariota:
 - ”sähkömax”, jossa on yhteensä 600.000 verkosta ladattavaa autoa vuonna 2030
 - ”kaasumax”, jossa on 200.000 kaasuhenkilöautoa vuonna 2030, ja lisäksi kaasulla katetaan 10 % raskaan liikenteen energiantarpeesta
- lisäksi on listattu VNK-Keiju -hankkeen ns. WAM luvut (”With Additional Measures”) autoille ja polttoainemäärille, vastaten likimain uuden energia- ja ilmastostrategian lukuja
- tarkennettiin arvioita uusiutuvien polttoaineiden tuotantomahdollisuuksista
- tarkennettiin sähköautojen hintakehityksen ennusteita
- uusittiin laskelmat ”kehitys” -skenaarioiden vaikutuksista kansantalouteen, ja lisäksi laskettiin uusina tapauksina ”sähkömax” ja ”kaasumax” -skenaariot

Uudet kalustolaskelmat (ajoneuvo- ja polttoainemäärät)

Kaluston kehitys- ja polttoainelaskelmat tehtiin kuten alkuperäisessäkin työssä VTT:n autokannan muutoksien vaikutusten tarkasteluun kehitetyllä ”ALIISA” -mallilla. Kuten jo edellä todettiin, vuoden 2015 raporttiin verrattuna sekä eri ajoneuvoluokkien suoritteita ja energiatehokkuuden kehittymistä on muutettu, mutta muutokset kumoavat toisensa lähes täysin.

Korjatun suorite- ja ajoneuvojen energiatehokkuusennusteen pohjalta laskettiin uudelleen, millä ajoneuvo- ja polttoainetekniikan yhdistelmillä voidaan saavuttaa 40 %:n CO₂-päästövähennys. Esimerkiksi muutokset kulku- ja kuljetusmuotovalintoihin ja erilaiset ohjaustoimenpiteet rajattiin tarkastelun ulkopuolelle.

Tarkastellut vaihtoehdot olivat siis seuraavat:

- Perusskenaario

- vaihtoehtoisille polttoaineille erikseen sovitettujen ajoneuvojen (etanoli, kaasu, sähkö) lukumäärä on niin pieni (35.000), ettei niillä ole käytännön merkitystä
- "Kehitys" -skenaario
 - henkilöautoissa 100.000 täyssähköautoa, 50.000 ladattavaa hybridiä ja noin 50.000 kaasuhenkilöautoa, hieman vaihtoehtoisia tekniikoita myös muissa ajoneuvoluokissa
- "Sähkömax" (uusi)
 - henkilöautoissa 400.000 täyssähköautoa ja 200.000 ladattavaa hybridiä, jonkun verran sähköautoja myös muissa ajoneuvoluokissa
- "Kaasumax" (uusi)
 - 200.000 kaasuhenkilöautoa, 50.000 kaasukäyttöistä pakettiautoa ja lisäksi kaasulla 10 %:n osuus ajosuoritteesta raskaassa kalustossa
- WAM
 - henkilöautoissa 200.000 täyssähköautoa ja 50.000 ladattavaa hybridiä, jonkun verran vaihtoehtoja muissa ajoneuvoluokissa
 - vastaa likimain hallituksen marraskuun 2016 energia- ja ilmastostrategiaa

Lisäksi jokaiselle skenaariolle laskettiin "+drop-in"-skenaario, jossa tarvittava 40 %:n päästövähennelmä saavutetaan viime kädessä yhteensopivien biopolttoaineiden avulla.

On syytä erikseen korostaa, että eri skenaarioiden **automäärät eivät ole ennusteita vaan skenaarioita**, eikä tässä raportissa oteta kantaa siihen, miten tai millä ohjauskeinoilla nämä automäärät mahdollisesti saataisiin toteutumaan.

Ajoneuvokaluston osalta jakeluinfratyöryhmän loppuraportissa on asetettu tavoitteeksi, että kaikki Suomessa myytävät uudet henkilö- ja pakettiautot olisivat vaihtoehtoisten käyttövoimien käyttöön soveltuvia jo vuonna 2030.

Katsaus ajoneuvoteknologiaan

Sähköautojen (henkilöautojen ja bussien) tarjonta on lisääntynyt selvästi. Useat merkittävät autonvalmistajat, joukossa mm. BMW, Mercedes-Benz ja Volkswagen ovat ilmoittaneet massiivisista panostuksista sähköautojen kehitykseen. Esim. Volkswagen ilmoitti kesäkuussa 2016 tuovansa markkinoille yli 30 täyssähköautomallia vuoteen 2025 mennessä. Vuonna 2025 yrityksen tavoitteena on myydä jo 2 - 3 miljoonaa täyssähköautoa vuodessa, ja sähkövaihtoehto ei olisi enää silloin merkittävästi kalliimpi kuin muut voimalaitteet. Tavoitteena on, että vuonna 2030 kolmannes yhtiön myymistä autoista olisi sähkömoottorilla varustettuja. Volkswagen valmistaa vuodessa n. 10 miljoonaa henkilöautoa. Tavoite on varsin kunnianhimoinen, sillä vuonna 2015 sähköautojen osuus uusrekisteröinneistä EU:ssa oli vain 1 %.

Konsulttiyrityksistä sekä Roland Berger että Bloomberg ovat julkaisseet arvioita ajoneuvojen ja erityisesti sähköautojen hintakehityksestä. Roland Berger arvioi, että vuonna 2030 sähkökäytön lisähinta on henkilöautoissa 5000...10.000 €, kun taas Bloomberg arvioi, että lyhyen toimintamatkan omaava sähköauto voisi olla samanhintainen polttomoottoriautoin kanssa jo vuonna 2022.

Flex-fuel -korkeaseosetanoliautojen tarjonta on supistunut lähes olemattomiin. Kaasukäyttöisiä henkilö- ja pakettiautoja on edelleen hyvinkin tarjolla, samaten kaasubusseja. Kuorma-autoihin on tällä hetkellä tarjolla ainoastaan kipinäsytytteisiä kaasumoottoreita, joiden energian kulutus, tehotaso ja luotettavuus eivät vastaa raskaan pitkän matkan kuorma-auto liikenteen vaatimuksia. Jotta kaasun käyttö raskaassa kalustossa voisi lisääntyä merkittävästi, tarvitaan uudenlaisia korkean hyötysuhteen ja alhaisen päästötason omaavia raskaita kaasumoottoreita.

Arviot edistyksellisten bio- ja uusiutuvien liikennepolttoaineiden tuotantomahdollisuuksista

Tässä päivitysraportissa painopiste ei ollut edistyksellisten bio- ja uusiutuvien liikennepolttoaineiden tuotantomahdollisuuksissa, mutta aihealuetta on silti tarkasteltu.

Alalla uusia investointeja ja tuotantotekniikoiden kehitystä ovat siirtäneet epävarmuus aikajakson 2020 – 2030 liikenteeseen kohdistuvista ohjauskeinoista, ja lopullisten päätösten puuttuminen niin EU:n kuin kansallisellakin tasolla. Näitä ovat mm. tavoiteltu KHK-päästöjen vähennystaso vuoteen 2030, uusiutuvien energialähteiden vaadittavat minitasot, osa biopolttoaineiden kestävyyskriteereistä (esim. LULUCF, REDII ja suhde ILUC direktiiviin), sekä eri ohjaustoimenpiteet. ml. verotus.

Uusiutuvien liikennepolttoaineiden tarve olisi vuona 2030 skenaariosta riippuen noin 840.000 – 1.300.000 toe/a, eli lisätarve nykyhetken kotimaiseen tuotantokapasiteettiin nähden olisi 300.000 – 580.000 toe/a, jos koko tuotanto jäisi kotimaan markkinoille. Suomen nykyisten uusiutuvaa dieseliä ja bensiinikomponenttia valmistavien HVO-laitosten kapasiteetti on noin 510.000 toe/a Sköldvikin ja Lappeenrannan jalostamoilla. Etanolin tuotantomäärä on noin 15.000 m³/a eli 7700 toe/a yhteensä viidellä laitoksella. Biokaasun liikennekäyttö v. 2015 oli noin 23 GWh/a eli noin 2000 toe/a.

Merkittävimmät kotimaisten liikennepolttoaineiden lisäysmahdollisuudet liittyvät erilaisten yhdyskunta- ja teollisuusjätteiden ja –sivuvirtojen jalostamiseen liikennepolttoaineiksi. Biokaasun tuotantoa voidaan lisätä edullisesti ns. porttimaksullisia (eli vastaanottomaksun alaisia) jätevirtoja hyödyntämällä, mutta ”kaasumax” -skenaariossa tarvitaan myös muita raaka-ainelähteitä, esim. kuori- ja metsätähdepohjaisen synteettisen biokaasun eli SNG:n tuotantoa. Sähköavusteiset (P2G, power-to-gas) metaanituotannot saattavat tulla kilpailukykyiseksi, mikäli hyvin halpaa uusiutuvaa sähköä on saatavilla. Etanolia valmistetaan myös lisää elintarviketeollisuuden jätevirroista, oljesta ja sahanpurusta. Kajaanin 10.000 m³/a puruetanolilaitos on rakenteilla, ja olkietanolilaitosta suunnitellaan mm. Myllykoskelle.

Suurin yksittäinen avoin investointisuunnitelma on Kemin biojalostamo, joka toteutuessaan valmistaisi runsaat 200.000 toe/a dieseliä ja bensiinikomponentteja eri puutähteistä ja sivuvirroista, ehkä osin ainespuusta. Raportissa on päivitetty puupohjaisten termiseen jalostukseen perustuva liikennepolttoaineiden kehitystilanne niin kotimaisen kehitystyön osalta kuin EU:n NER300 ohjelman riskirahoitushankkeiden valossa. Suomessa kehityshankkeet tähtäävät sekä nykyisille öljynjalostamoille että biojalostamoille ja voimalaitoksille uusien lisäintegraattien tai oheissyöttöjen kehittämiseen, joilla mahdollistettaisiin edulliset pääoma- ja tuotantokustannukset. Kehitysskenaariossa on arvioitu uusia investointimahdollisuuksia voivan syntyä vuoteen 2030 mennessä yhteensä jopa 850.000 – 1.100.000 toe/a, ja niiden kokonaisinvestoinnit olisivat suuruusluokkaa 2000 milj. €.

Investointimahdollisuuksina ja niiden tuottoina voisivat olla mm. nykyisten HVO-laitosten lisäkapasiteetti n. 100.000 - 150.000 toe/a, lisääntyvä bioraaka-aineen oheissyöttö nykyisille öljynjalostamoille n. 200.000 - 300.000 toe/a, uudet puru- ja olkietanolilaitokset n. 50.000 toe/a, uudet biokaasulaitokset n. 50.000 -100.000 toe/a, kuoren ja metsätähteiden kaasutuslaitoksia dieseliksi, bensiiniksi ja biokaasuksi n. 150.000 toe/a sekä P2G/L-sähköavusteisia polttoaineita n. 50.000 – 100.000 toe/a. Näiden lisäksi mahdollista Kemin biojalostamolaitoksen investointipäätöstä ei ole vielä tehty.

Tuotantokustannuksiksi uusituvalle dieselpolttoaineelle on arvioitu noin 1000 - 1200 €/toe (0,82...0,98 €/l) raaka-aineesta ja tekniikasta riippuen. Laitosten lukumäärän kasvaessa kustannukset alenevat oppimiskäyrän mukaisesti. Uudet tekniikat edistyksellisten biopolttoaineiden valmistamiseksi ovat kaupallistuneet maailmalla ja EU:ssa hitaasti. Kehitysskenaarion toteutuminen edellyttää sekä vuoteen 2030 tähtäävien politiikka- ja ohjaustoimenpideratkaisujen nopeaa syntymistä. Lisäksi tarvitaan kasvavaa riskirahoitusta niin innovatiivisten edistyneiden uusiutuvien liikennepolttoaineiden kuin sähköajoneuvojen ja latausinfraan kehitykseen ja investointeihin.

Suomen puu- ja muut biovarat mahdollistavat kehitysskenaarion toteutuksen, mutta kilpailu eri jalostuskohteisiin sekä sähkön ja lämmöntuotantoon kiristyy, ja ainakin alueellisia ristiriitoja voi syntyä. VNK:n raporttisarjoissa on julkaistu aiheesta tarkempia selvityksiä.

Edistyksellisiä biopolttoaineita tai niiden raaka-aineita voidaan tuoda ulkomailta, mikä asettaa kotimaiselle lisätuotannolle kilpailukykyrajan. Myös eri liikenteen vähähiilisyys edistämismahdollisuudet kilpailevat ja täydentävät toisiaan kansallisissa 2030 politiikkatoimissa.

Vaihtoehtoisten teknologioiden hintavaikutukset

Liikenteen vuoden 2030 kustannuksiin liittyy paljon epävarmuustekijöitä. Merkittävä osa näistä on omien vaikutusmahdollisuuksiemme ulottumattomissa. Tärkeimmät epävarmuustekijät ovat:

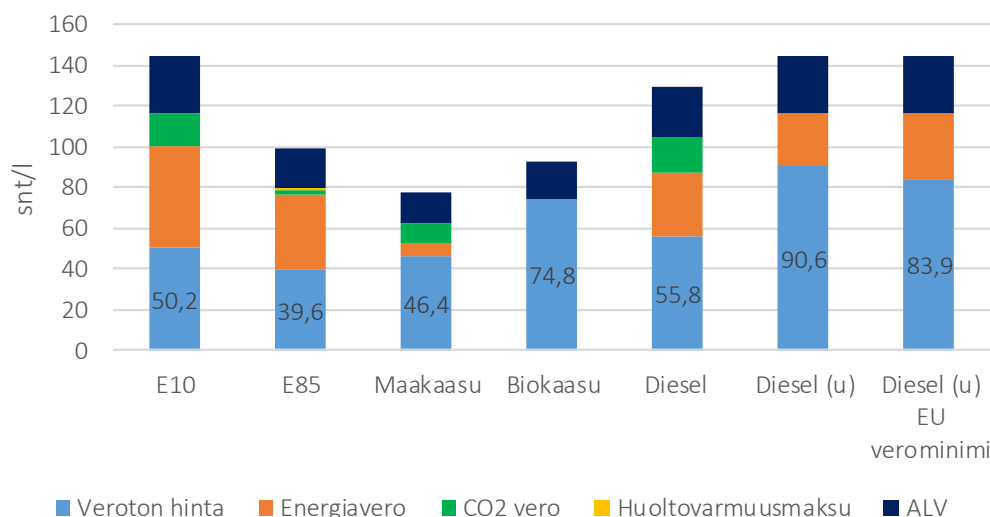
- Raakaöljyn hinta ja sitä kautta fossiilisten polttoaineiden verottomat markkinahinnat
- Biopolttoaineiden raaka-aineiden ja tuotannon hintakehitys, ja sitä kautta näiden polttoaineiden verottomat tuotantohinnat
- Ajoneuvojen, erityisesti sähköautojen hintakehitys
- Ajoneuvojen energiankulutuksen kehittyminen
- Hiilidioksidipäästöjen hinnoittelu ja verotus yleisesti

Kotimaiset liikenteen veroratkaisut vaikuttavat merkittävästi vaihtoehtoisten käyttövoimien yleistymiseen mentäessä kohti vuotta 2030. Kuten ei alkuperäisessäkään raportissa, ei tässä päivityksessäkään oteta kantaa ohjauskeinoihin.

Hintavaikutuksia arvioitiin avaamalla polttoaineiden hintoja ja tarkastelemalla vaihtoehtoisten tekniikoiden kokonaiskustannuksia. Kustannuslaskelmat tehtiin henkilöautojen (kaikki käyttövoimavaihtoehdot) ja bussien (diesel ja kaasumaiset polttoaineet) osalta.

Kuvassa 0.1 on esitetty polttoaineiden kuluttajahinnan rakenne tammikuussa 2017. Voimassa olevan biopolttoaineiden jakeluvelvoitelain mukaan jakelijat ovat velvoitettuja toimittamaan markkinoille tietyn määrän biopolttoainetta. Toimijoiden omassa päätäntävallassa on mm. se, miten velvoite kohdistetaan eri polttoaineisiin ja jakelupisteisiin. Tästä syystä eri polttoaineiden pumppuhinnoista ei voi vetää suoraa johtopäätöksiä biopolttoaineiden todellisista hinnoista. Biokomponentin kustannus saatetaan jakaa suuremmalle polttoainemäärälle, ja esimerkiksi 100 %:n uusiutuvan dieselin 0,15 €/l kalliimpi pumppuhinta kuvannee lähinnä erikoislogistiikasta (ylimääräinen polttoainelaatu) aiheutuvia lisäkustannuksia.

Pumppuhinnan muodostus

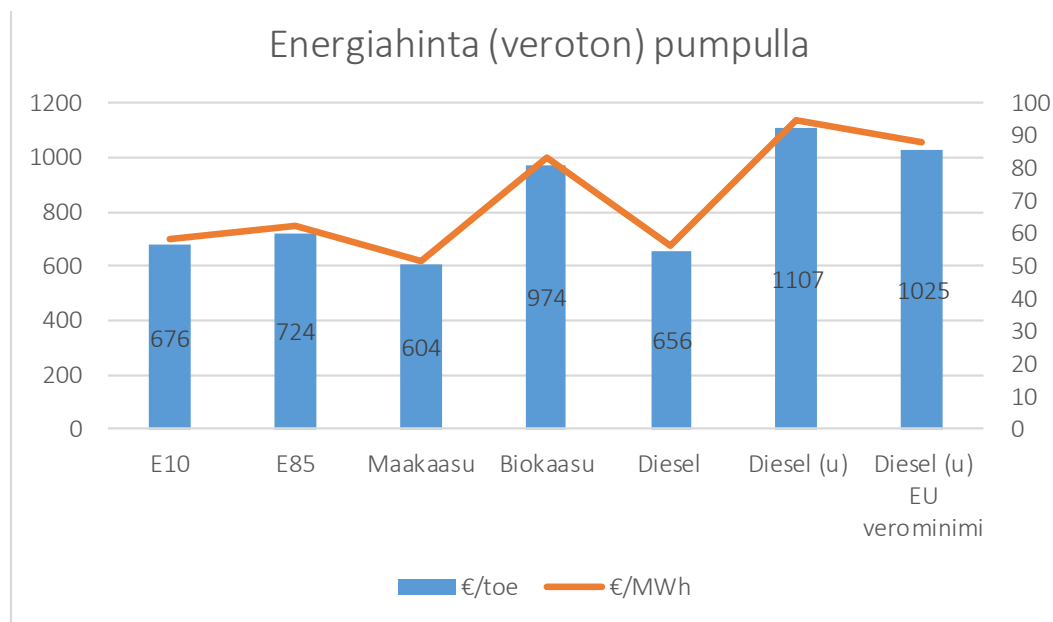


Kuva 0.1: Polttoaineiden pumppuhinnan muodostuminen tammikuussa 2017. E85 polttoaineen litrahinta 0,99 € on bensiiniekvivalenttina noin 1,40 €/l. Maa- ja biokaasun hinnat on annettu bensiiniekvivalenttina. Diesel (u) tarkoittaa 100 %:sta uusiutuvaa dieseliä.

Kuvassa 0.2 on näytetty, mitä tammikuun 2017 pumppuhinnat tarkoittaisivat verottomana energiahintana.

Uusiutuvan tuplalaskettavan parafiinisen dieselpolttoaineen vero on komponenttikäytössä noin puolet fossiilisen dieselin verotasosta (0,26 vs. 0,53 €/l). Puhtaasta 100 %:sta uusiutuvasta dieselistä joudutaan kuitenkin säätämään EU:n minimivero dieselpolttoaineelle, joka on 0,33 €/l. Suomen nykyinen polttoaineverotus kohtelee maakaasua, biokaasua (ei lainkaan

energiaveroja) ja sähköä muita polttoaineita lievemmin. Henkilöautojen osalta tilannetta tasataan osittain käyttövoimaverolla, mutta raskaassa kalustossa tämä ei ole mahdollista.



Kuva 0.2: Eri polttoaineiden veroton hinta pumpulla suhteutettuna energiasisältöön. Diesel (u) tarkoittaa 100 %:sta uusiutuvaa dieseliä. Kaasujen hinnassa on mukana komprimointi jakelupaineeseen (200 bar).

Biopolttoaineiden todellisia kustannuksia pystytään arvioimaan toisaalta tuotantokustannusten perusteella, toisaalta biokomponenttien hintanoteerausten perusteella. Biopolttoaineiden tuotantokustannuksiksi on arvioitu noin 1000-1200 €/toe, ja tuotehinnoista ja noteerauksista johdetut hinnat tukevat tätä arviota.

Taulukossa 0.1 on esitetty laskelma pumppuhinnoista eri CO₂ verotasoilla ja eri uusiutuvan dieselin hintatasoilla. Tapaus A on laskettu nykyveroilla (CO₂ vero 62 €/t) dieselpolttoaineelle, joka ei sisällä lainkaan biokomponenttia. B ja C eivät niin ikään sisällä biokomponentteja. D:ssä ja E:ssä on eri biokomponentin hinta ja nykyverot. B:ssä ja C:ssä CO₂-veroa on säädetty niin, että B ja D sekä C ja E päätyvät pareittain samaan pumppuhintaan.

Vertailemalla kuvan 0.1 dieselin pumppuhintaa (1,30 €/l) ja taulukon 0.1 tapausta A näyttäisi siltä, että noin 15 % biokomponenttia dieselin seassa nostaa pumppuhintaa luokkaa 5 snt/l verrattuna täysin fossiiliseen dieseliin.

Taulukon 0.1 mukaan 100 %:n uusiutuva diesel olisi tällä hetkellä ja nykyveroilla jakelupumpulla 11 - 31 snt/l kalliimpaa kuin fossiilinen diesel, riippuen biokomponentin hinnasta. Jos CO₂:n hinta nostettaisiin tasolle 88...139 €/t, pumppuhinnat tasaantuisivat.

Jos päästövähennystavoitteet halutaan toteuttaa, dieselpoolissa tulisi vuonna 2030 olla suuruusluokkaisesti 40 % biokomponenttia, koska bensiinipooli ei nykyinäkymin pysty ottamaan vastaan suuria määriä happea sisältäviä biokomponentteja (etanolia, eettereitä). Taulukon 0.1 perusteella 40 % biokomponenttia sisältävä dieselpolttoaine maksaisi tällä hetkellä 1,36 €/l biokomponentin verottoman hinnan ollessa 1200 €/toe (1260 €/t). Biokomponenttia sisältävän dieselpolttoaineen pumppuhinta on tällä hetkellä (helmikuun 2017 alku) n. 1,30 €/l.

VTT:n LIISA-laskentajärjestelmän (Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä) mukaan kuorma-autojen polttoaineen kulutus Suomessa vuonna 2015 oli n. 1,1 Mt, eli noin 1,3 Mm³. Kuorma-autoliikenne on kokonaisuudessaan hyötyliikennettä. Jos oletetaan, että dieselin bio-osuuden kasvattaminen nykyisestä n. 15 %:sta 40 %:iin nostaisi pumppuhintaa 0,1 €/l (1,30 -> 1,40 €/l), tästä aiheutuisi kuorma-autoliikenteelle enintään n. 130 M€:n lisäkustannus vuositasolla. Tämä siis siinä tapauksessa, ettei verotasoja muuteta nykyisestä.

Yleinen trendi tulee kuitenkin olemaan, että kohti vuotta 2030 mentäessä fossiilisten polttoaineiden CO₂-verot tai päästöoikeuksien hinnat nousevat, jotta päästöjä saadaan vähennettyä, mikä vähentää kustannuseroa.

Taulukko 0.1: Dieselin ja uusiutuvan dieselin pumppuhinnat, muuttujina biokomponentin hinta ja CO₂ vero. Sarakkeet A, D ja E on laskettu nykyveroilla.

	Fossiilinen diesel			Uusiutuva diesel	
	A	B	C	D	E
CO ₂ hinta €/t	62	88	139		
Veroton hinta €/t	560	560	560	1050	1260
Veroton hinta €/l	0,466	0,466	0,466	0,819	0,983
Energiavero €/l	0,3277	0,3277	0,3277	0,2595	0,2595
CO ₂ vero €/l	0,1990	0,282	0,446		
Huoltovarmuusmaksu €/l	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
Verot yhteensä €/l	0,5302	0,614	0,777	0,263	0,263
Hinta ilman ALV €/l	0,996	1,080	1,243	1,082	1,246
ALV €/l	0,239	0,259	0,298	0,260	0,299
Verollinen pumppuhinta €/l	1,24	1,34	1,54	1,34	1,54
Hintalisä A verrattuna				0,11	0,31
Hintalisä B verrattuna				0,00	0,21
Hintalisä C verrattuna				-0,20	0,00

Vuoden 2015 raportissa eri käyttövoimavaihtoehtoista tehtiin CO₂ päästöjen *well-to-wheel* (WTW) tarkastelu käyttäen erimerkkiautona Volkswagen Golfia (raportin kuvio 5), koska tästä autosta on olemassa runsas valikoima eri käyttövoimavaihtoehtoja. Nyt kustannusvertailuun valittiin syyskuussa 2016 ilmestyneessä hinnastosta seuraavat mahdollisimman vertailukelpoiset vaihtoehdot. Peruslähtökohdaksi valittiin 85 kW:n bensiiniversio, jonka verollinen hinta oli 24.975 €. Kallein vaihtoehto oli lataushybridi, jonka hinta oli 41.991 €.

Hinnaston perusteella tehtiin arvioita eri käyttövoimavaihtoehtojen vuosikustannuksista. Laskenta tehtiin 5 vuoden pitoajalle ja kahdelle erilaiselle vuosittaiselle ajosuoritteelle, 17.000 km/a ja 30.000 km/a. Lisäksi tarkastelu tehtiin sekä kiinteällä jäänösarvoprosentilla (40 %) että kiinteällä jäänösarvolla (10.000 €). Kiinteän summan käytöllä pyritään huomioimaan se, että akkujen kesto on kuitenkin rajallinen. Nykytilanteessa akkujen takuu on yleensä 8 vuotta, ja akut jouduttaneen vaihtamaan kertaalleen auton eliniän aikana. Akustoille voi myös syntyä erilaisia hinnoittelumalleja eri kuluttajaryhmille, ml. leasing, jollaista on jo tarjolla esim. Ranskassa, jossa Renault tarjoaa sitä. Polttoainehintoina laskelmissa on käytetty kuvan 0.1 mukaiset pumppuhinnat.

Nykyinen veromalli, jos otetaan huomioon energia-, ajoneuvo-, käyttövoima- ja autovero, suosii kaasu- ja sähköautoja. Tässä esimerkkitapauksessa bensiiniauton autovero on n. 4200 €, eli melkein kaksinkertaisen verrattuna sähköauton veroon n. 1700 €.

Kuvassa 0.3 on esitetty vuosikustannus 17.000 km/a suoritteella ja kiinteällä jäänösarvolla, joka on sähköautolle epäedullisin tilanne. Kuvassa 0.4 taas on vuosikustannus 30.000 km/a ajosuoritteella ja kiinteällä jäänösarvoprosentilla (40 %), joka on sähköautolle edullisin tapaus.

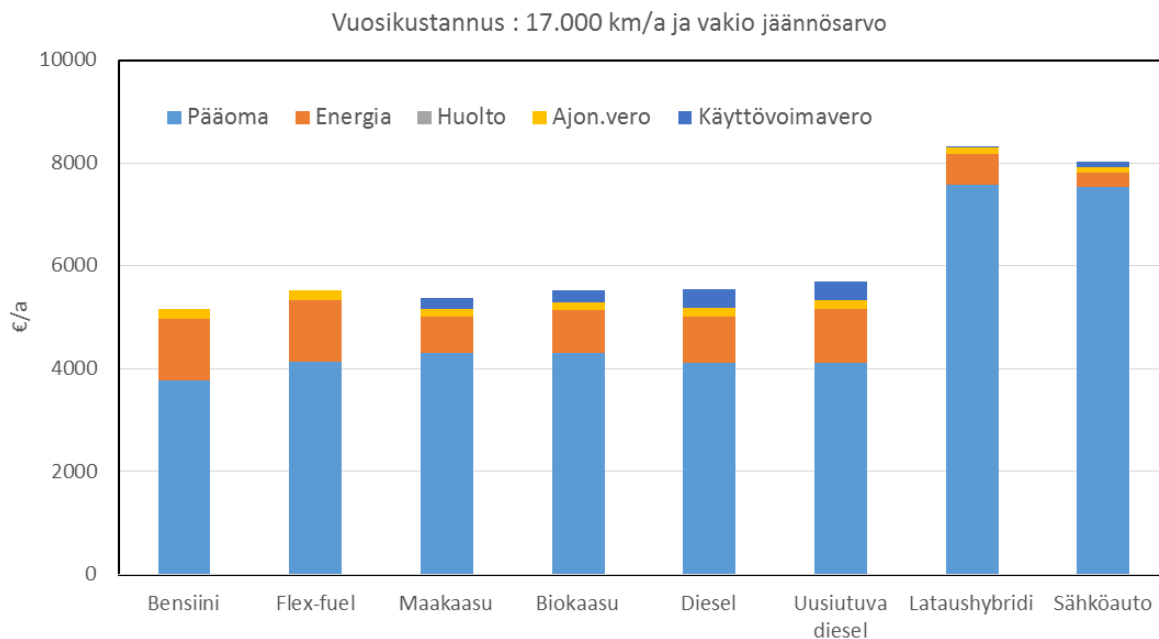
Tapauksesta riippumatta lataushybridi on aina kallein (8100 - 10.300 €/a) ja täyssähköauto toiseksi kallein vaihtoehto (7400 - 9000 €/a). Näiden vaihtoehtojen kohdalla jäänösarvotarkastelun vaikutus on 1200 - 1300 € vuositasolla. Sähköautojen kohdalla suoritteen nosto 17.000 > 30.000 € vaikuttaa vain vähän vuosikustannuksiin, tasolla 300 - 900 €/a.

Vuotuisella 17.000 km/a suoritteella bensiiniauto on halvin vaihtoehto, 5900 €/a, polttomootoriautojen vaihteluvälin ollessa 5900 - 6400 €/a.

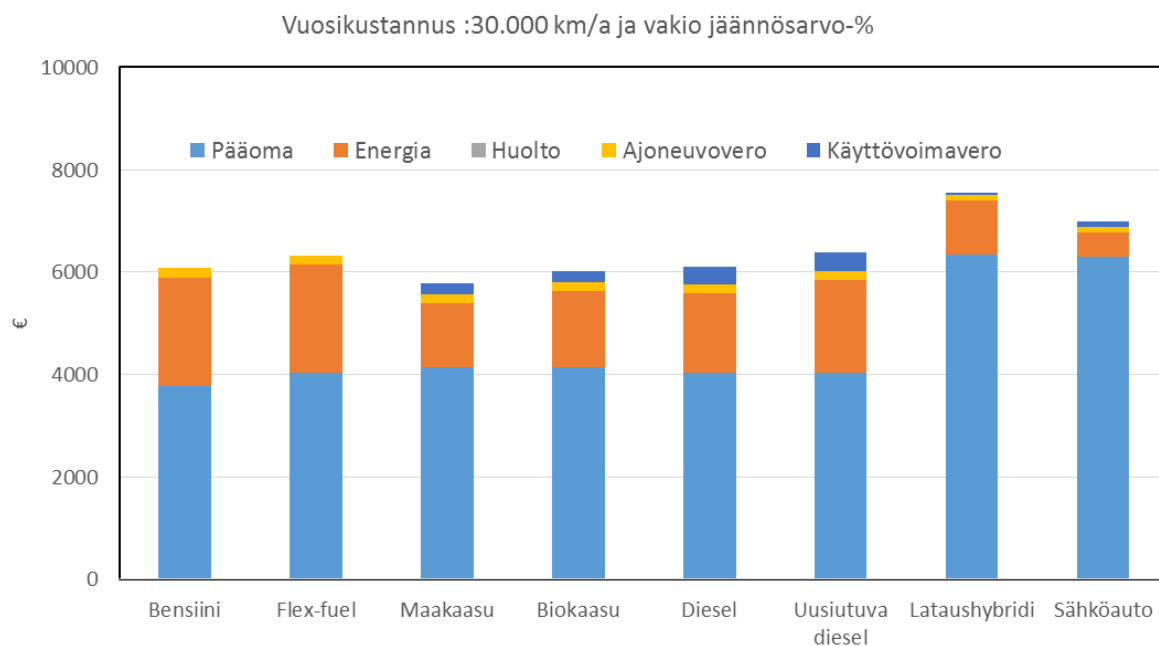
Suuremmalla 30.000 km/a suoritteella ja kiinteällä jäänösarvoprosentilla maakaasu on niukasti edullisin vaihtoehto, 7100 €/a. Vaihteluväli polttomootoriautoille on jäänösarvosta riippumatta 7100 - 7800 €/a. Ajosuoritteen kasvattaminen lisää kustannuksia 1200 - 1400 €/a.

Jos suorite on 30.000 km/a, ero täyssähköauton ja kalleimman polttomoottorivaihtoehdon (flex-fuel) välillä on enää 200 - 1300 €/a, jäännösarvosta riippuen.

Lisäksi tehtiin erittäin optimistinen tarkastelu, jossa täyssähköauto on oletettu samanhintaiseksi kuin bensiiniauto (n. 25.000 €), ja jossa euromääräinen jäännösarvo on sama kuin bensiiniautolla (10.000 €). Tällä laskennalla sähköauto on halvin vaihtoehto, 4900 €/a, verrattuna bensiiniauton lukuun 5900 €/a, jos ajosuorite oli 17.000 km/a. Jos sähköauton ostohinta ja jälleenmyyntiarvo ovat samat kuin bensiiniautolla, ja jos sähköauton verotus edelleen säilyisi keveämpänä kuin polttomoottoriautoilla, täyssähköauto olisi kuluttajalle selvästi halvin vaihtoehto.

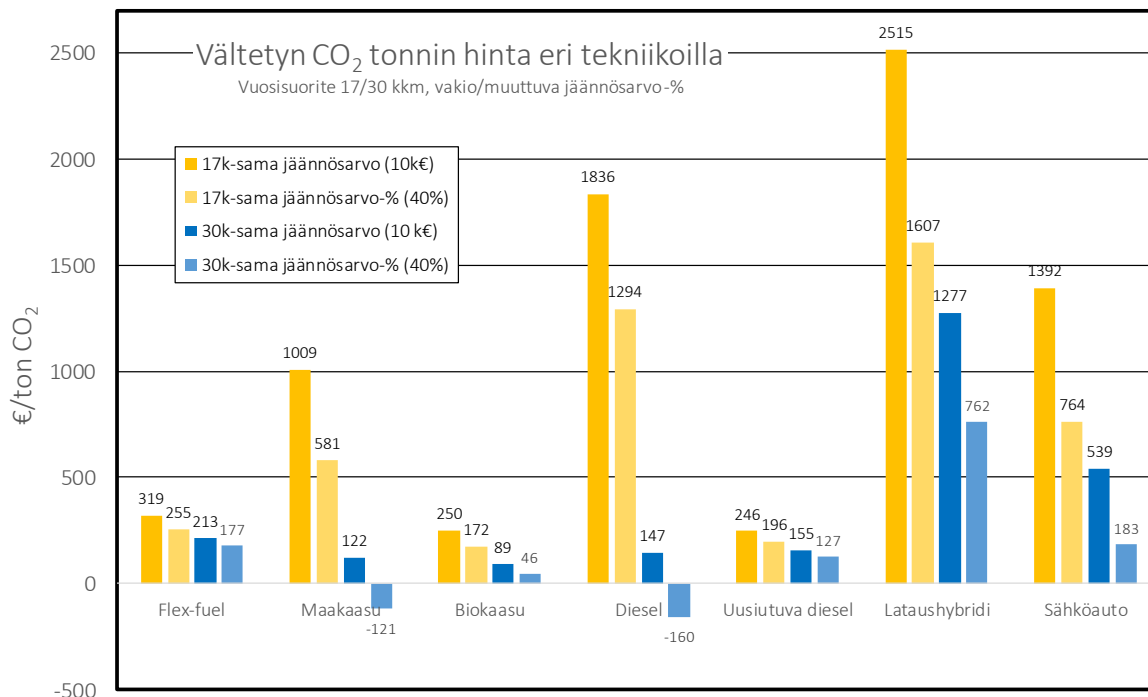


Kuva 0.3: Vuosikustannus vakiosuuruisella jäännösarvolla ja 17.000 km/a suoritteella.



Kuva 0.4: Vuosikustannus samalla jäännösarvoprosentilla ja 30.000 km/a suoritteella.

Kuvassa 0.5 on vältetyn CO₂ tonnin hinta (eri jäännösarvoilla ja eri vuosisuoritteilla). Vertailukohteena on fossiilista polttoainetta käyttävä bensiiniauto.



Kuva 0.5: Vältetyn CO₂ tonnin kustannus eri jäännösarvoilla ja suoritteella. Vertailukohteena on fossiilista polttoainetta käyttävä bensiiniauto.

Tehdyn tarkastelun perusteella biopolttoaineiden avulla vältetyn CO₂-tonnin hinta on välillä 50 - 300 €. Lataushybridi on kaikissa tapauksissa kustannustehottomin vaihtoehto, vältetyn CO₂-tonnin hinta on välillä 800 - 2500 €. Täyssähköauto suoriutuu selvästi paremmin vaihteluvälin ollessa 200 - 1400 € per tonni CO₂:ta. Vuotuinen suorite vaikuttaa voimakkaasti niin maakaasun kuin dieselin kustannustehokkuuteen, vaihteluvälin ollessa dieselin osalta -200...+1800 €/t ja maakaasun osalta -100...+1800 €/t. Dieselautojen osalta on kuitenkin kiinnitettävä huomiota myös näiden autojen aiheuttamiin ilmanlaatuvaikutuksiin.

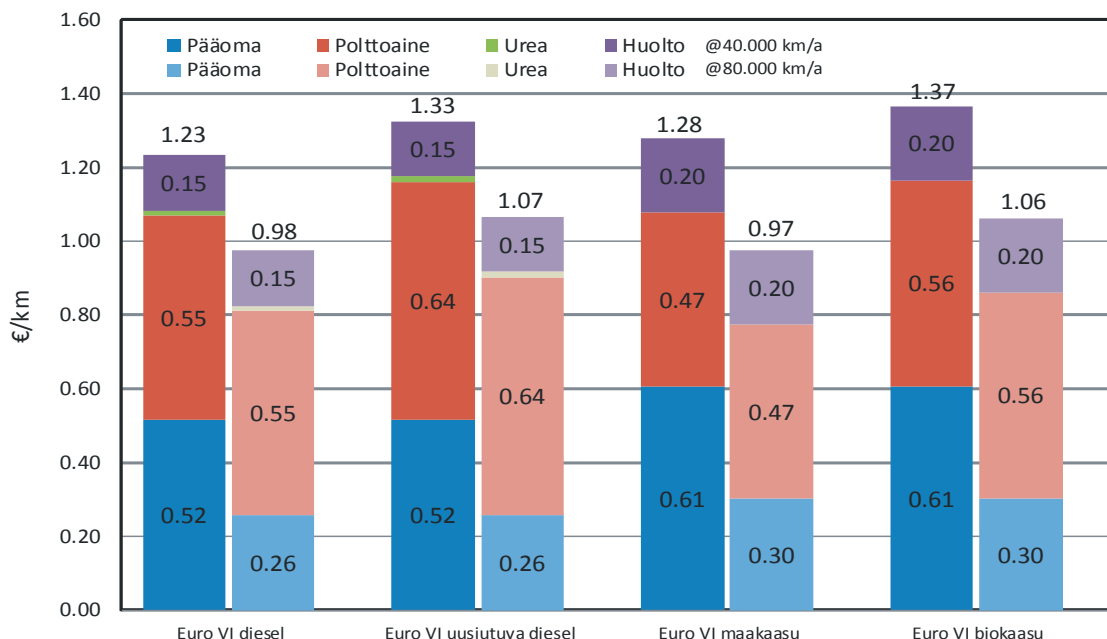
Vertailukohdan ollessa bensiiniauto on otettava huomioon, että pelkästään fossiiliseen dieseliin tai maakaasuun siirtyminen ei mahdollista CO₂-päästöjen merkittävää vähentämistä, koska silloin potentiaali on riittämätön, perustuen vain energiatehokkuuden paranemiseen.

Raskaan kaluston osalta tarkastelukohteeksi otettiin kaupunkibussit. Tarkasteltavat vaihtoehdot ovat diesel, uusiutuva diesel, maakaasu ja biokaasu. VTT:llä on busseista paljon mitausdataa, jota voitiin käyttää laskennan pohjana. Laskennan suorittaminen edellyttää ajo-matkaan suhteutettuja suoritusarvoja, esim. polttoaineen kulutus l/100 km ja päästöarvot g/km. Ajoneuvojen valmistajat eivät yleensä ilmoita suoritusarvoja näissä muodoissa.

VTT on myös arvioinut sähköbussien kustannuksia. Sähköbussihin ja sähköbussijärjestelmiin liittyy kuitenkin vielä epävarmuustekijöitä, mm. hintojen (itse ajoneuvot ja latausinfrastrukturi) ja akkujen keston osalta, joten sähköbussia ei sisällytetty tähän tarkasteluun. Pihlatie et al. ovat kuitenkin arvioineet, että sähköbussit (kaupunkibussit) voivat jo nykytilanteessa olla kilpailukykyisiä dieselkalustoon verrattuna ilman mitään erityisiä tukia. Käyttökemukset tulevat vahvistamaan arvioiden paikkansapitävyyden lähivuosina.

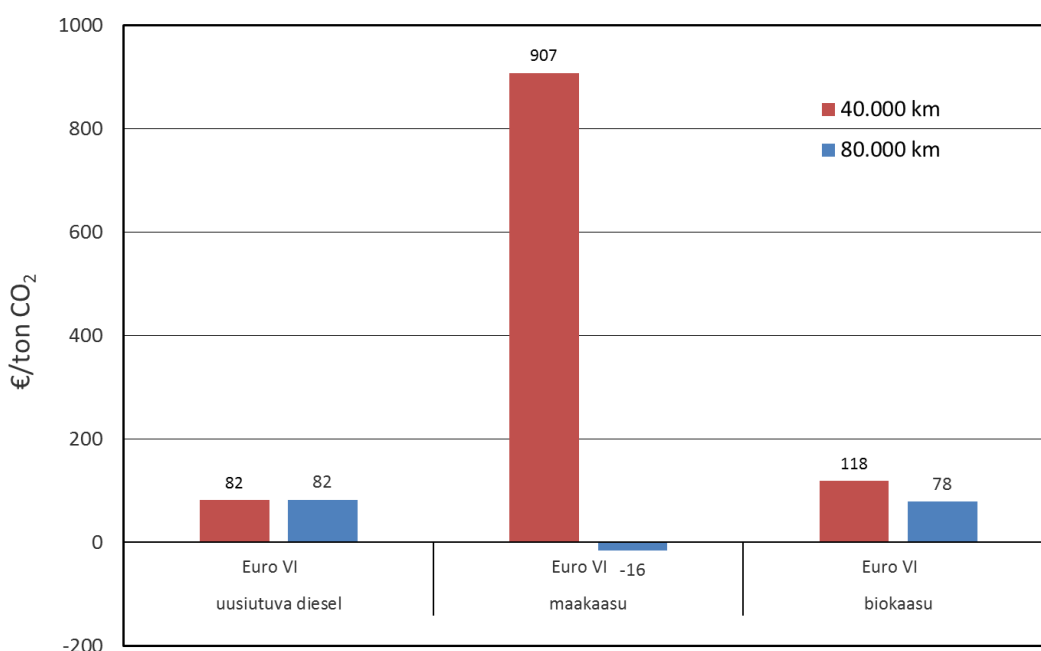
Laskenta diesel- ja kaasubusseille tehtiin kahdella suoritteella, 40.000 ja 80.000 km/a. Kuvan 0.6 esittämä tulos 80.000 km:n vuosisuoritteella on mielenkiintoinen. Käytetyillä laskentaparametreilla diesel ja maakaasu antavat lähes identtisen kilometrikustannuksen, ja vastaavasti pari uusiutuva diesel ja biokaasu antavat lähes identtisen kustannuksen. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että maakaasu on lievemmin verotettua kuin diesel, ja ettei biokaasussa ole lainkaan energiaveroja. Henkilöautojen osalta kaasuautojen käyttövoimave-

ro tasaa verotuksen epäsuhdetta hieman. Alempi suorite (40.000 km/a) heikentää kaasuautojen kilpailukykyä.



Kuva 0.6: Bussien kilometrikustannus eri polttoainevaihtoehdoilla. Suorite 40.000 tai 80.000 km/a.

Kuvassa 0.7 on vältetyn CO₂ tonnin hinta suoritteiden ollessa 80.000 km/a tai 40.000 km/a. Biopolttoaineiden avulla vältetyn CO₂ tonnin hinta on noin 100 €. Ajokilometrit vaikuttavat hintaan vain vähän. Maakaasun kohdalla ajosuorite vaikuttaa voimakkaasti vältetyn CO₂ tonnin hintaan. Pakoputkesta mitattu CO₂ päästö on maakaasulla marginaalisesti pienempi (-5 %) dieselikäyttöön verrattuna, ja 80.000 km/a suoritteella maakaasuauto on 0,01 €/km halvempi kuin diesel, jolloin CO₂-vähennyksen hinta kääntyy negatiiviseksi. Suoritteella 40.000 km/a maakaasun kilometrikustannus on kalliimmasta autosta johtuen 0,05 €/km dieseliä kalliimpi, jolloin vältetyn CO₂-tonnin hinnaksi tulee noin 900 €.



Kuva 0.7: Vältetyn CO₂ tonnin kustannus bussille tyypillisellä 80.000 km/a suoritteella, sekä vaihtoehtoisesti 40.000 km/a suoritteella.

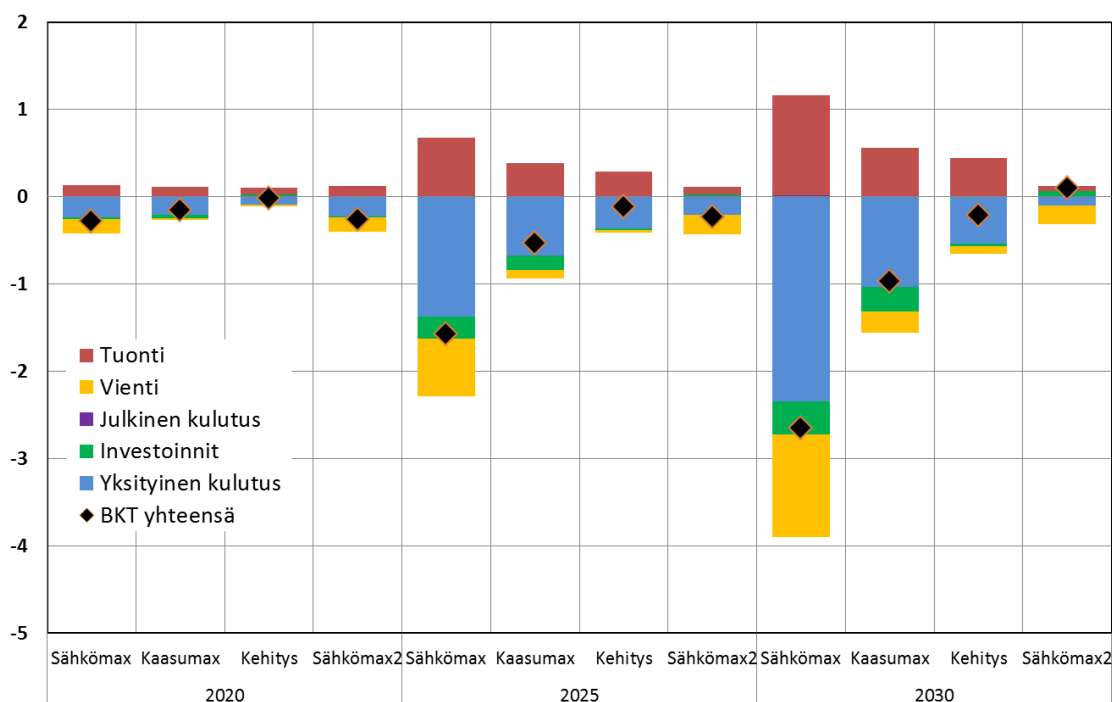
Kansantaloudelliset vaikutukset

Kansantaloudellisia vaikutuksia arvioitiin laskennallisen, yleisen tasapainon mallin avulla, kuten alkuperäisessä vuoden 2015 raportissakin. Arvion taustana olevaa kansantalouden kehitysarviota ei vertailtavuuden säilyttämiseksi muutettu, vaan päivitys keskittyi liikenteen päästöjen vähentämisehtojen päivitykseen.

Liikenteen eri skenaarioissa toteutetaan muutoksia ajoneuvokannassa, polttoaineiden ja sähkön kulutuksessa ja kotimaisten polttoaineiden tuotannossa talouden perusuraan nähden. Kansantaloudellisessa tarkastelussa nämä muutokset otettiin annettuna, ja keskityttiin niihin kerrannaisvaikutuksiin, joita muutoksista aiheutuu.

Ajoneuvokannan muutoksien mahdollisesti vaatimia muutoksia ajoneuvoverotuksessa tai käyttömaksuissa ei tässä yhteydessä arvioitu erikseen, vaan muutoksien oletettiin toteutuvan sellaisenaan, kuten ko. skenaarioissa on oletettu. Myöskään biojalostamoiden mahdollisesti vaatimia julkisia tukia ei tässä erikseen arvioitu. Lisäksi tarkastelussa oletettiin, että polttoaine- ja ajoneuvoverojen kertymän muutoksien vaikutukset valtiontalouteen kompensoidaan kaikkeen kulutukseen kohdistuvalla hyödykeverotuksella, käytännössä esimerkiksi arvonnäköaverojen korotuksilla, jolloin muutokset ajoneuvokannassa ja sen käyttämissä energiatuotteissa eivät muuta kokonaisverokertymää. Muilta osin kansantalouteen vaikuttavien ajurien oletetaan politiikka- ja perusskenaarioissa säilyvän samoina.

Kuvassa 0.8 tarkastellaan skenaarioiden eroa kansantalouden kysyntäerien kasvukontribuutioiden kautta. Kaikissa tarkastelluissa eri skenaarioissa hyödynnetään (muiden tekniikoiden lisäksi) nestemäisiä biopolttoaineita 40 %:n päästövähennys saavuttamiseksi, ja kaikissa skenaariossa biopolttoaineiden käyttö nousee vuoden 2020 tasosta. Sähköautomäärien kasvattaminen vähentää biopolttoaineiden tarvetta.



Kuva 0.8: Eri skenaarioiden vaikutukset kansantalouden kysyntäeriin ja BKT:n kokonaismuutos.

"Sähkömax" -skenaariosta tehtiin kaksi versiota, jotka eroavat toisistaan sähköautojen hintakehityksen osalta, siten että "sähkömax" on perusversio, jossa sähköauto on polttomoottori-autoa kalliimpi vielä vuonna 2030 ja "sähkömax2"-skenaariossa sähköauton hinta laskee polttomoottori-auton tasolle jo vuonna 2025.

Uusien autojen hintakehityksellä on ratkaiseva merkitys skenaarioiden välisten erojen kannalta, vaikka infrastruktuurin vaatimat investoinnitkin muuttavatkin eroja hieman.

Sekä "kaasumax"- että "sähkömax"-skenaarioissa (sähkömax-perusversio) lisäkustannus leikkaa ennen kaikkea kulutuskysyntää, jonka lasku selittää puolet kansantuotteen laskusta perusuraan verrattuna. Tuonnin lasku selittyy osittain kulutuksen laskulla, osittain siihen vaikuttaa se, että myös vienti laskee (jolloin välituotteiden tuontikin pienenee). Kulutuksen laskun takana on ennen kaikkea ostovoimaa heikentävä polttoaineiden ja autojen hintojen nousu. "Kehitys"-skenaariossa ostovoiman heikkeneminen aiheutuu enemmän polttoaineiden kuin autojen hinnasta. "Sähkömax2"-skenaariossa autojen hintaeron taas oletetaan poistuvan kokonaan, jolloin vaikutukset kulutuskysyntään jäävät olemattomiksi.

"Kaasumax"-skenaariossa ajoneuvokohtainen lisäkustannus on pienempi kuin sähköautoskenaarion perusversiossa, mutta kotimaisen biokaasuntuotannon kustannusarvioita on tarkennettu aiempaan verrattuna. Tässä on oletettu, että biokaasun tuotantokustannukset nousevat, kun tuotannon kasvaessa joudutaan siirtymään kalliimpiin tuotantoprosesseihin. Käytännössä tämä tapahtuu kaasukäyttöisen ajoneuvokannan kasvettua yli 50.000:n yksikön.

Suomalaiset eivät voi kovin paljoa vaikuttaa sähköhenkilöautojen hintakehitykseen. Sen sijaan biopolttoaineiden osalta suomalaiset yritykset ja suomalainen tutkimus puolestaan kulkevat kehityksen kärjessä, ja Suomessa tehtävillä valinnoilla voidaan vaikuttaa kehityksen kulkuun. Sähköautojen osalta laskelmat osoittavat, että mahdolliset edistämistoimenpiteet autojen tasolla kannattaisi aloittaa vasta kun hinnat ovat laskeneet ja autojen akustojen suorituskyky on parantunut ("sähkömax2"-skenaarion mukainen tilanne).

Tieliikenteen kuljetusten (sekä marginaalit että välituotekäyttö) osuus on koko kansantalouden välituotekäytöstä vajaan prosentin, ja kokonaiskustannuksista noin puoli prosenttia. Toimialojen välillä on suuria eroja: monien työvoimavaltaisten julkispalvelujen välituotekäytöstä osuus on 3 – 4 prosenttia, kun taas teollisuudessa osuus on lähes kaikilla toimialoilla pienempi. Tiekuljetusten osuus nousee 1 – 4 prosenttiin välituotekäytöstä lähinnä vain kaivannaisteollisuudessa, metsäteollisuudessa, kemian teollisuudessa ja osassa metallien jalostusta, ja liittyy siis näiden toimialojen arvoketjuihin, joissa raaka-aineiden liikuttelu kotimaassa on välttämätöntä. Monet toimialat käyttävät liikennepolttoaineita välituotteinaan, mutta niiden osuutta ei tässä ole huomioitu.

Arvio vuoden 2050 tilanteesta

Vaikka tämän raportin pääasiallinen tarkoitus oli vertailla eri vaihtoehtoja vuoden 2030 tilanteessa, ja tähdätä siihen ajankohtaan asetettujen KHK-päästövähennysten saavuttamiseen, on tarkastelu "sähkömax"-skenaarion osalta ulotettu aina vuoteen 2050 asti. Tällä haluttiin tutkia, miten olisi mahdollista saavuttaa vuonna 2050 huomattavat 80 - 90 % KHK-päästövähennemät maantieliikenteessä jatkona v. 2030 toimenpidevalikolle.

Ulotettaessa "sähkömax"-skenaatio vuoteen 2050 oletettiin, että vuodesta 2030 eteenpäin uudet henkilö- ja pakettiautot olisivat vain sähkökäyttöisiä, ts. niissä polttomoottorit olisi kokonaan "kielletty", tai ne olisivat kuluttajalle niin paljon kalliimpia, ettei niitä ostettaisi. Lisäksi raskaissa ajoneuvoissa sähkökäyttö kasvaisi asteittain vuoteen 2050 mennessä siten, että 2050 mennessä pienemmissä kuorma-autoissa (kuorma-autot ilman perävainua, KAIP) uusien autojen myynnistä kaksi kolmasosaa (67 %) olisi sähkökäyttöisiä ja loput polttomoottorilla varustettuja, ja raskaiden perävaunullisten yhdistelmien (KAP) vetoautoissa sähkökäyttöisten osuus olisi 50 %, ja toinen puolikas olisi polttomoottorisia.

Tätä ei voida kuitenkaan pitää kovin realistisena tulevaisuutena, mutta tällä laskelmalla haluttiin testata, kuinka paljon vuonna 2050 edelleen olisi jäljellä ajoneuvoja, joihin tarvittaisiin nestemäisiä polttoaineita. Kun bio- ja uusiutuvia polttoaineita valmistavat laitokset ovat suuria investointeja, ja niillä on tyypillisesti 20 - 30 vuoden käyttöikä, haluttiin arvioida, kuinka paljon niiden valmistamille tuotteille olisi kotimaista kulutuskysyntää vielä vuonna 2050.

Näillä oletuksilla sähköistyminen olisi henkilö- ja pakettiautoissa edennyt vuonna 2050 varsin pitkälle, mutta siitä huolimatta vuonna 2050 jäljellä on vielä lähes puoli miljoonaa bensiini- ja

dieselkäyttöistä henkilö- ja pakettiautoa. Tämä vähän yllättäväkin tulos on seurausta Suomelle tyypillisestä varsin pitkästä pitoajasta ja korkeasta romutusiästä, sillä nykyverotuksella henkilöautojen romutusikä Suomessa lähes 20 vuotta, ja myös raskaiden ajoneuvojen pitoaika on tyypillisesti yli 20 vuotta. Tähän vaikuttaa kuitenkin voimakkaasti autojen verotusmalli, joten jos autoverotusta siirrettäisiin hankinnasta käyttöön, poistuma-ajat varmasti lyhenisivät, ja 2050 tilanteessa koko henkilö- ja pakettiautoautokanta voisi olla sähkökäyttöistä.

Näiden lisäksi kannassa olisi vajaat 100.000 raskasta dieselajoneuvoa, sillä ei voitu olettaa, että jo vuonna 2030 olisi mahdollista merkittävästi sähköistää kaikkia raskaita ajoneuvoja, mutta 2050 mennessä sähkön osuus voisi jo olla merkittävä eri teknologiolla, mm. vetyä käyttävillä polttokennoilla tai trolley-bussien tapaan ajohodosta saatavalla sähköllä, ainakin keskeisillä päätieosuuksilla.

Taulukkoon 0.2 on koottu polttoaineiden kokonaiskysyntä "sähkömax"-skenaariossa vuosina 2030 ja 2050. Siitä nähdään, että dieselpolttoaineita tarvittaisiin vuonna 2050 vielä yli 1 milj. toe/a. Vastaavasti uusiutuvan dieselin määrä, joka on sama kuin vuodelle 2030 arvioitu uusiutuvan *drop-in* -dieselin tarve tavoiteltaessa 40 % CO₂-päästöjen vähenemää, mahdollistaisi vuonna 2050 päästöjen vähentämisen yli -80 % tasolle.

Taulukko 0.2. Polttoaineiden kysyntä "sähkömax"-skenaariossa vuosina 2030 ja 2050. Sähkökäytön lisäksi on nostettu biopolttoaineiden määrää suuremman CO₂-päästövähennyksen saavuttamiseksi.

	2030	2050
Yhteensä	SÄHKÖMAX+	SÄHKÖMAX+
Fossiilinen bensiini toe/a	674 779	86 902
Fossiilinen diesel toe/a	1 603 463	536 187
Uusiutuva diesel toe/a	718 101	718 101
Etanoli toe/a	49 721	14 343
Biokaasu toe/a	41 537	219 105
Sähkö toe/a	204 637	900 175
Vety toe/a	0	0
Uusiutuvat yhteensä (diesel, etanoli, biokaasu ja sähkö)	1 014 073	1 851 723
Uusiutuvien osuus (%)	30.8 %	74.8 %
Energia yhteensä toe/a	3 392 315	2 474 812
Energia yhteensä; suhteessa PERUS 2030 (%)	95 %	71 %
CO₂-päästöt (tonnia/a)	7 036 101	1 928 896
CO ₂ -päästöjen vähenemä (%) vs. 2005	-40 %	-84 %
Bio-osuus dieselissä (til-%)	32.0 %	57.3 %
Etanoli bensiinissä (til-%)	10.0 %	20.0 %
Biokaasun osuus metaanista (%)	100 %	100 %
Biokaasu GWh/a (1 toe=11,63 MWh)	483	2548
Dieselpolttoaineiden kysyntä yhteensä, toe/a	2 321 394	1 254 288

Olisi siis hyvinkin todennäköistä, että vuoden 2030 uusiutuvan dieselin tuotantolaitoskapasiteetille riittäisi kysyntää vielä seuraaville 20 vuodelle, ja jos bio-osuutta vähitellen nostettaisiin, päästäisiin kohti 90 % KHK-päästövähennyksiä. Lentoliikenteen kulutus tulisi tämän lisäksi ehkä jopa nostamaan kysyntää ja tuotantotarvetta.

1. Johdanto

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy ja Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT) toteuttivat vuosina 2013 – 2015 yhteistyössä selvityksen siitä, millä toimenpiteillä ja millä kustannuksilla Suomen tieliikenteessä voidaan saavuttaa 30 tai 40 %:n vähenemä tieliikenteen hiilidioksidipäästöissä (CO₂) vuoteen 2030 mennessä vertailuvuoden ollessa 2005. Selvityksen päärahoittaja oli työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). Selvityksen loppuraportti julkaistiin kesäkuussa 2015.

Pääosa selvityksen laskennoista tehtiin vuonna 2014. Sitten toimintaympäristössä on tapahtunut paljon muutoksia, jotka ovat antaneet aihetta raportin päivitykseen. Alkuperäinen selvitys oli osa VTT:n koordinoimaa TransSmart tutkimusohjelmaa. Keväällä 2016 TransSmart ohjelman ulkoinen ohjausryhmä päätyi suosittelemaan raportin päivitystä. Päivitystyö rahoitettiin osittain TransSmart ohjelman vuoden 2016 koordinaatiohankkeesta, osittain liikenne- ja viestintäministeriön (LVM) toimesta.

VTT järjesti 25.8.2016 työpajan energia- ja liikennealan toimijoille selvityksen päivityksestä. Kutsu työpajaan kommenttipyyntöineen lähetettiin 16.6.2016. Tilaisuuteen osallistui noin 30 henkilöä. Osa toimijoista toimitti kirjallisia kommentteja päivitystyöhön, osa kommentoi selvitystä ja sen päivitystä suullisesti työpajan aikana.

Kesällä 2016 Komissio teki ns. kesäpaketissaan ehdotuksen eri jäsenmaiden taakanjaosta ei-päästäkauppasektorille. Suomen osalle ehdotettu CO₂-päästöjen vähennys oli 39 %¹, joten vuoden 2015 raportissa ollut päästövähennysluku tieliikenteelle, 40 %, oli edelleen varsin ajankohtainen lähtökohta tarkasteluihin.

Päivitystyön aikana julkaistiin kaksi kansallisesti merkittävää dokumenttia, jotka olivat 1) ehdotus liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkon suunnitelmaksi² sekä 2) valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030³. Päivitystyön skenaarioita ei kuitenkaan muutettu näiden selvitysten ja dokumenttien pohjalta, mutta päivitystyössä tehtiin kalusto- ja energiatarkastelu sille tapaukselle, että Suomessa olisi vuonna 2030 käytössä 250.000 sähköautoa ja 50.000 kaasuautoa, jotka vastasivat hallituksen energia- ja ilmastostrategian tavoitteita. Energia- ja ilmastostrategia asettaa itse asiassa liikenteen CO₂-päästöille peräti 50 %:n prosentin vähennystavoitteen vuoteen 2030, mutta tähän lukuun sisältyy myös esim. kulkumuotojakautumiin vaikuttamista.

Alkuperäisessä raportissa esitettiin erilaisia skenaarioita, jotka eivät siis olleet ennusteita tulevastä. Raportissa ei myöskään otettu suoraan kantaa eri kehitysskenaarioiden toteuttamiseksi vaadittaviin ohjauskeinoihin. Tosin raportissa oletettiin biopolttoaineiden jakeluvoitteen säilyvän ohjauskeinona, ja lisäksi arvoitiin biojalostamolaitosten mahdollisia investointitukia. Nyt tehty päivitys noudatti samoja linjauksia, eli esitti vaihtoehtoisia skenaarioita, muttei varsinaisesti ottanut kantaa ohjauskeinoihin.

¹ [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Ministeri_Tiilikainen_EUkomission_esitys\(39909\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Ministeri_Tiilikainen_EUkomission_esitys(39909))

² http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78461/Julkaisuja_4-2015.pdf?sequence=1

³ http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkajulkaisu.pdf?sequence=1

2. Vuoden 2015 raportti

Vuonna 2015 julkaistussa selvityksessä⁴ VTT vastasi ajoneuvokalustoskenaarioiden muodostamisesta, päästö- ja energiamäärien laskennasta sekä ajoneuvokalustoa koskevasta kehityksen arvioinnista niin teknologian kuin kustannustenkin osalta. Lisäksi VTT vastasi biopolttoaineiden teknis-taloudellista tuotantopotentiaalia ja hintakehitystä koskevista arvoista yhdessä Pöyryn kanssa. Ramboll teki konsulttityönä selvityksen jakeluinfrastruktuurin yksikkökustannuksista. VATT puolestaan arvioi eri skenaarioiden käyttöönoton vaikutuksia kansantalouden kannalta.

Työssä luotiin teknologiaskenaariot, joissa päästöjen vähentäminen toteutettiin eri teknologioilla. Perusskenaariona käytettiin pääasiassa bensiini- ja dieselautoihin perustuvaa, ja nykyiseen jakeluvelvoitteeseen ja verotukseen perustuvaa skenaariota, jossa päästöt vähenisivät 21 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 2005 päästöihin verrattuna.

Eri teknologiaskenaarioissa (*drop-in* -biopolttoaineet, FFV etanoliautot, kaasuautot, ladattavat hybridit, täyssähköautot, polttokennoautot) päästöjä vähennettiin lisää, kukin teknologia kerrallaan, jotta saavutettiin 40 % päästövähennelmä, ja niiden tuloksia verrattiin perusskenaarioon. Eri teknologiaskenaariot on esitetty taulukossa 2.1.

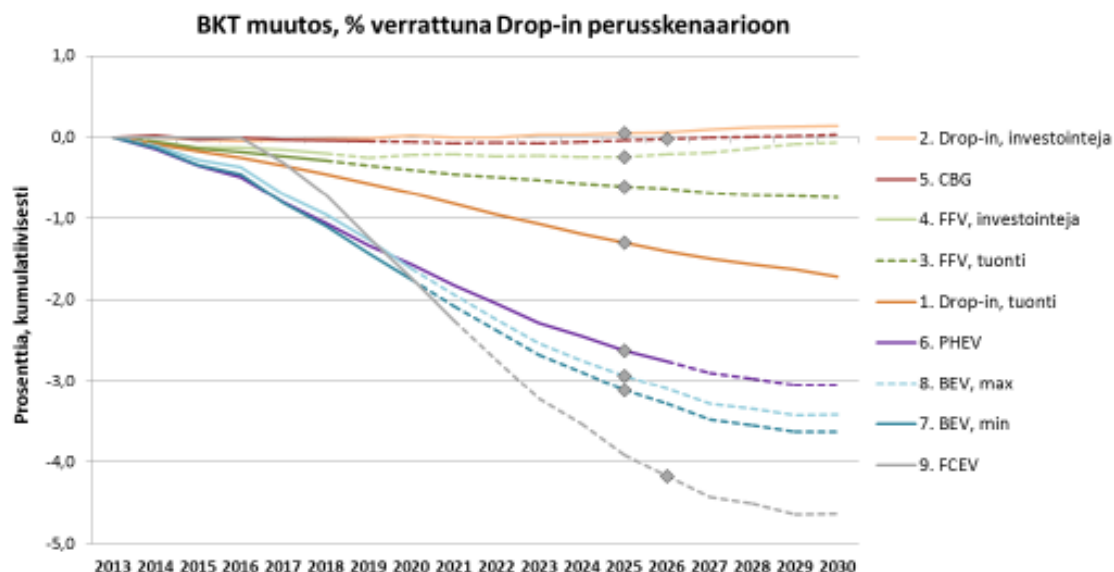
Käytännössä tarvittavaa päästövähennemää ei pystytty saavuttamaan yksittäisellä teknologialla, koska uudentyyppisiä autoja ei yksinkertaisesti saada riittävästi liikenteeseen vuoteen 2030 mennessä, kun vuosittainen uusien autojen myyntimäärä on luokkaa 120.000 ... 150.000. Poikkeuksen tekevät *drop-in* tyyppiset polttoaineet, jotka soveltuvat jo olemassa oleviin autoihin ja olemassa olevaan jakeluinfrastruktuuriin. Biopolttoaineiden osalta mahdollisia rajoitteita saattaa kuitenkin syntyä joko polttoaineiden saatavuudesta tai hinnasta johtuen.

Taulukko 2.1: Vuoden 2015 raportissa tarkastellut teknologiaskenaariot.

Skenaario	Investointeja uusiin laitteisiin	Muutoksia polttoaineen jakelukustannuksissa	Lisäinvestointeja jakelupisteisiin	Autojen keskihinta (verrattuna nykyiseen)	Muutoksia eri polttoaineiden kulutuksessa	Muutoksia tuonti hinnoissa	Kotimainen polttoainetuotanto	Investointituki
1. Drop-in, tuontina	Ei	Ei	Ei	Ei merkittävää muutosta (VTT)	Merkittäviä muutoksia (VTT)	Kyllä (VTT & Pöyry)	Ei muutosta	Ei
2. Drop-in, investointeja kotimaahan	Kyllä (VTT & Pöyry)	Ei	Ei	Ei merkittävää muutosta (VTT)	Merkittäviä muutoksia (VTT)	Kyllä (VTT & Pöyry)	Nousee (VTT & Pöyry)	Kyllä
3. FFV, tuontina	Ei	30% enemmän kustannuksia (VTT)	Ei	Ei merkittävää muutosta (VTT)	Merkittäviä muutoksia (VTT)	Kyllä (VTT & Pöyry)	Ei muutosta	Ei
4. FFV, investointeja kotimaahan	Kyllä (VTT & Pöyry)	30% enemmän kustannuksia (VTT)	Ei	Ei merkittävää muutosta (VTT)	Merkittäviä muutoksia (VTT)	Kyllä (VTT & Pöyry)	Nousee (VTT & Pöyry)	Kyllä
5. CBG (bio-kaasu)	Kyllä (Gasum & VTT)	20% enemmän kustannuksia (VTT)	Kyllä (Ramboll, max kustannus arvio per piste)	Nousee (VTT)	Merkittäviä muutoksia (VTT)	Kyllä (VTT & Pöyry)	Nousee (VTT & Pöyry)	Kyllä
6. PHEV (plug-in hybridit)	Ei	Ei	Ei	Nousee (VTT)	Merkittäviä muutoksia (VTT)	Kyllä (VTT & Pöyry)	Ei muutosta	Ei
7. BEV, min (sähköautot)	Ei	Ei	Kyllä (Ramboll, minimi kustannusarvio, kotimaista tuotantoa)	Nousee (VTT)	Merkittäviä muutoksia (VTT)	Kyllä (VTT & Pöyry)	Ei muutosta	Ei
8. BEV, max (sähköautot)	Ei	Ei	Kyllä (Ramboll, maksimi kustannusarvio, kotimaista tuotantoa)	Nousee (VTT)	Merkittäviä muutoksia (VTT)	Kyllä (VTT & Pöyry)	Ei muutosta	Ei
9. FCEV (vety)	Kyllä (VTT & Woikosken julkaisut)	Ei (kustannuksia enemmän, massaa vähemmän) (VTT)	Kyllä (Ramboll)	Nousee (VTT)	Merkittäviä muutoksia (VTT)	Ei vedyn tuontia	Nousee (Woikoski & VTT selvitys 2012)	Kyllä

VATT tutki eri skenaarioiden vaikutuksia kansantalouteen. Kuvassa 2.1 on eri skenaarioiden vaikutus bruttokansantuotteeseen. Vuonna 2014 tehtyjen laskelmien perusteella biopolttoaineet olivat kansantalouden kannalta sähköautoja edullisempi vaihtoehto tieliikenteen CO₂-

päästöjen vähentämisessä. Biopolttoainevaihtoehtojen sisällä edullisimmat vaihtoehdot olivat kotimaiseen raaka-aineeseen ja kotimaiseen tuotantoon perustuvat vaihtoehdot, koska ne synnyttävät niin investointeja kuin työpaikkoja Suomeen.



Kuva 2.1: Vaikutukset bruttokansantuotteeseen eri skenaarioissa.

(♦ = 30% vähennys saavutettu).

Lopuksi muodostettiin nestemäisiin biopolttoaineisiin vahvasti tukeutuva ns. "Kehitys"-skenaario, jossa kuitenkin otettiin mukaan niin sähkö- kuin kaasuautoja. Siinä biopolttoaineiden käyttö kasvoi nykyisestä noin 600 ktoe/a, josta osa oli biokaasua. Kaasuautojen määrän arvioitiin olevan runsaat 50.000 vuonna 2030, ja myös sähköautojen yleistymisen uskottiin nopeutuvan vuoden 2020 jälkeen johtaen noin 100.000 – 200.000 ladattavan auton kantaan vuonna 2030.

3. Vuoden 2015 raporttiin ja sen päivitystyöhön saadut toimijoiden kommentit

Päivitystyöhön liittyen saatiin viisi kirjallista palautetta (kts. kohta 1). Niiden antajat olivat:

- Gasum
- Metsä Group
- Neste
- Sähköinen liikenne -konsortio
- Teknologiateollisuus/Sähköisen liikenteen toimialaryhmä

Dokumentit saatettiin hankkeen ohjausryhmän tietoon, mutta niitä ei tulla julkaisemaan sel-laisinaan.

Palautteisiin sisältyi paljon yleisluonteisia kommentteja, mutta niukasti numeraalista dataa.

Seuraavassa on lueteltu eräitä kommentteja ja esitettyjä kysymyksiä.

Yleistä:

- Viime kädessä kuluttaja valitsee itse autonsa/polttoaineensa
- Peräänkuulutetaan teknologianeutraalisuutta ja kustannustehokkuutta
- Onko tarkasteluissa huomioitu polttomootoriautojen ulkoiset kustannukset lähipääs-töjen osalta?
- Vientiteollisuuden kuljetuskustannuksia ei ole huomioitu (mahdollisen biopolttoainei-den käytön lisäyksen vaikutus raskaan kaluston polttoainekustannuksiin)
- Onko tarkastelut tehty verojen kannalta neutraalisti?

Kaasumaiset polttoaineet:

- Biokaasun potentiaali nähdään merkittävänä
- LNG:n (nesteytetyn metaanin) tankkausverkosto rakentumassa
- Ajoneuvojen tarjonnan kasvu nähdään lupaavana

Nestemäiset biopolttoaineet:

- Onko arvioitu biopolttoaineisiin keskittymisen riskejä, esim. kestävyyskriteerien osal-ta?
- Onko tarkasteltu kotimaassa valmistettuja biopolttoaineita vs. tuontibiopolttoaineita?
- Suomen puuvarat ovat pian täyskäytössä, huoli puubiomassan riittävyydestä
- Onko biopolttoaineiden jakeluvelvoite teknologianeutraali ohjauskeino?
- Onko biojalostamojen investointituki teknologianeutraali ohjauskeino?
- Miten biopolttoaineiden kustannukset jakautuvat eri tahoille?
 - BKT laskennassa ei huomioitu puun vaihtoehtoista käyttöä biopolttoaineisiin näh-den

Sähköautot:

- Sähköautojen latausjärjestelmissä ja sähköbussseissa vientipotentiaalia
- Miten voidaan arvottaa sähköisen liikenteen edut sähköverkon kannalta (mm. kuor-mien taseus)?
- Onko sähköautojen ja akkujen hintakehitys arvioitu oikein?
- Onko huomioitu sähköautoilun voimakas kehitys EU:ssa?
- Onko huomioitu sähköistymisen dynaamiset vaikutukset?
- Latauksen yksikkökustannus laskee, kun automäärä kasvaa

Tutkijoille annettuja suosituksia:

- Lähtötiedot mm. eri käyttövoimien vertailuissa tulee tarkistaa niin, että lähtötiedot ovat ajantasaisia eivätkä historiallisia ja perustuvat vastaaviin ajoneuvomalleihin.
- Kustannuslaskelmat (laskentataululukot) ja niiden lähdeaineisto tulee kokonaisuudessaan julkistaa siten, että laskennan perusteita voi arvioida läpinäkyvästi ja riippumattomasti.
- Raportin yhteenvedon ja johtopäätösten tulee ottaa teknologianeutraalisti kantaa kaikkien käyttövoimavaihtoehtojen edistämiseen.
- Selvityksessä tulisi eritellä todelliset päästöt ja laskennalliset päästöt. Päästöjen vertailukustannuksia arvioitaessa tulisi huomioida myös typen oksidit ja partikkelipäästöt ja tuontiöljyn kustannukset.

Nyt tehdyssä päivitystyössä on mahdollisuuksien mukaan otettu huomioon nämä eri toimijoilta saadut kommentit.

4. Tieliikenteen energiamäärät ja CO₂-päästöt 2005 (vertailuvuosi)

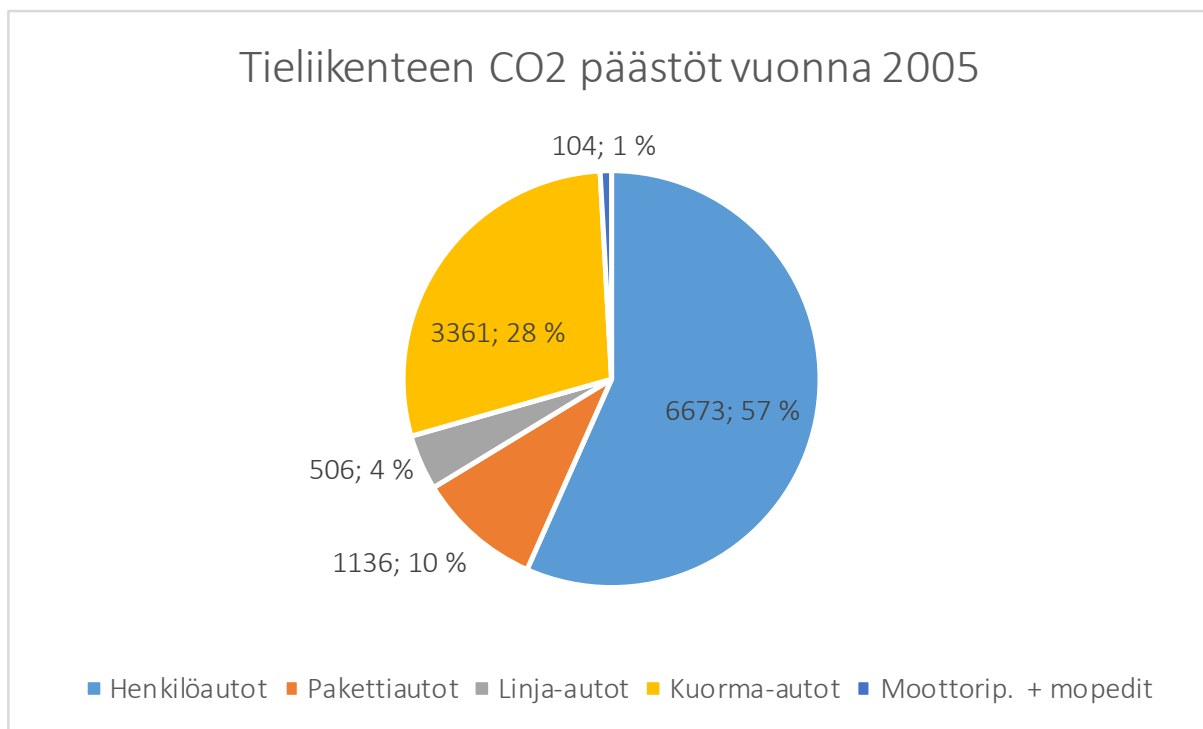
Ei-päästökauppasektorin, johon myös liikenne kuuluu, CO₂-tarkasteluissa referenssivuosi on 2005. VTT:n LIISA-laskentajärjestelmän⁵ mukainen vuoden 2005 tilanne tieliikenteen energiankäytön, polttoainemäärien ja CO₂ päästöjen osalta on esitetty taulukossa 4.1. Vuonna 2005 ei vielä ollut käytössä merkittäviä määriä biopolttoaineita, jotka tieliikenteen päästötaseessa lasketaan nollopäästöisiksi. Taulukkoon on myös sisällytetty autojen lukumäärät vuonna 2005. Autoalan tiedotuskeskuksen⁶ mukaan Suomessa oli 2005 yhteensä noin 2,8 miljoonaa autoa. Liikenteen kokonaispäästöt olivat vuonna 2005 12,8 Mt CO₂/a, josta tieliikenteen osuus oli 11,8 Mt CO₂/a.

Taulukko 4.1: Tieliikenteen vuoden 2005 (referenssivuosi) energiankäyttö, polttoainemäärät ja CO₂ päästöt sekä autojen lukumäärät. (VTT:n LIISA laskentajärjestelmä, Autoalan tiedotuskeskus)

2005	Henkilöautot	Pakettiautot	Linja-autot	Kuorma-autot	Moottorip. + mopedit	Yhteensä	
Energian käyttö	90 972	15 383	6 865	45 489	1 368	160 076	TJ
Polttoainemäärä	2173	367	164	1086	33	3823	ktoe
CO ₂ päästö	6673	1136	506	3361	104	11780	kt/a
Autojen lkm	2414477	273278	10878	86690		2785323	kpl

Jos tieliikenteen CO₂ päästöjä pitäisi vähentää 40 % taulukon 2 luvuista, absoluuttimääränä vuonna 2030 tarvittava päästövähennys on noin 4,7 Mt CO₂/a.

Vuoden 2005 tieliikenteen CO₂ päästöjen jakauma on esitetty kuvassa 4.1.



Kuva 4.1: Tieliikenteen CO₂ päästöjen jakauma vuonna 2005.

⁵ <http://lipasto.vtt.fi/liisa/index.htm>

⁶ http://www.aut.fi/tilastot/autokannan_kehitys/automaaran_kehitys

Tieliikenteen CO₂ päästöt määräytyvät suoritteiden, energian kulutuksen ja käytetyn polttoaineen hiili-intensiteetin perusteella. Liikenteen CO₂ päästöjen laskennassa biopolttoaineet, vety ja sähkö oletetaan hiilineutraaleiksi. Olettaen ettei tieliikenteen energian kulutus muutu vuoteen 2030 mentäessä, tavoiteltu 40 %:n CO₂ päästövähennys voitaisiin saavuttaa seuraavilla keinoilla:

- liikennepolttoaineiden 40 %:n bio-osuudella
- eliminoimalla kaikki paketti- ja kuorma-autot sekä puolet linja-autoista
- eliminoimalla n. 70 % kaikista henkilöautoista
- korvaamalla 70 % henkilöautoista sähköautoilla;
 - mikä tarkoittaisi suuruusluokkaisesti 1,7 miljoonaa sähköautoa (henkilöauto-kanta vuonna 2005 n. 2,4 miljoonaa)

Tämä teoreettinen harjoitus osoittaa, että tarvittavat toimenpiteet ovat varsin rajuja. Tämä yksinkertaistettu tarkastelu osoittaa myös sen, ettei pelkästään sähköhenkilöautoihin siirtymällä pystytä saavuttamaan vuoden 2030 päästövähennystavoitteita.

Voimassa olevan biopolttoaineiden jakeluvelvoitelain⁷ mukaan biopolttoaineiden energiasällön osuus tulee ns. tuplalaskenta huomioden olla vähintään 20,0 prosenttia vuonna 2020 ja sen jälkeen. Vuonna 2015 biopolttoaineiden todellinen osuus ilman tuplalaskentaa oli kuitenkin jo noin 15 %.

Kappaleessa 6 on tarkennettuja arvioita suoritteiden sekä auto- ja polttoainemäärien kehitymisestä vuoteen 2030, huomioden myös muutokset ajosuoritteissa ja energiatehokkuudessa.

⁷ <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101420>

5. Muutoksia toimintaympäristössä

5.1 Yleistä

Kuten kohdassa 1 todettiin, suurin osa alkuperäisen raportin tarkasteluista ja laskennoista tehtiin jo vuonna 2014. Vuoden 2014 jälkeen esiin tulleita asioita ovat mm.:

- sähköautojen tarjonnan lisääntyminen (käsitellään kohdassa 8, "Ajoneuvokatsaus")
- pääministeri Juha Sipilän hallituksen strateginen ohjelma, toukokuu 2015
- dieselhenkilöautojen päästöskandaali syksyllä 2015
- keskustelut polttomootoriautojen kieltämisestä vuoteen 2030 mennessä
- COP21 ja Pariisin ilmastopöytäkirja loppuvuodesta 2015
- keskustelut biojalostamojen rakentamisesta ja puun riittävydestä
- TEM:in asettama työryhmä ILUC-direktiivin edellyttämistä muutoksia kansalliseen lainsäädäntöön sekä biopolttoaineiden edistämistoimista vuoden 2020 jälkeen
- Komission vuoden 2016 "kesäpaketti":
 - asetusehdotus jäsenvaltioiden ei-päästökauppasektorin taakanjaosta (sitovat päästövähennykset jäsenvaltioille 2030), Suomelle ehdotettu päästövähennys -39 %
 - asetusehdotus maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätaloussektorin (LU-LUCF) sisällyttämisestä ilmastokehykseen
 - tiedonanto vähähiilisestä liikenteestä
- direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta (2014/94/EU) ja sen kansallinen toimeenpano
- kansallisen vuoteen 2030 ulottuvan energia- ja ilmastostrategian valmistelu/julkistaminen 24.11.2016
- Komission "talvipaketin" julkistus 30.11.2016 sisältäen uusiutuvien energialähteiden REDII direktiiviehdotuksen

5.2 Hallituksen strateginen ohjelma toukokuu 2015

Hallituksen kärkihankkeisiin tehtiin energian ja erityisesti liikenteen energian osalta seuraavat kirjaukset:

Päästöttömän, uusiutuvan energian käyttöä lisätään kestävästi niin, että sen osuus 2020-luvulla nousee yli 50 prosenttiin, ja omavaraisuus yli 55 prosenttiin sisältäen mm. turpeen. Tämä perustuu erityisesti bioenergian ja muun päästöttömän uusiutuvan tarjonnan lisäämiseen. Suurimmat mahdollisuudet saavutetaan nestemäisten biopolttoaineiden ja biokaasun tuotannon ja teknologian kasvattamisessa.

- *Huolehditaan biomassan kestävyyskriteerien varmistamisesta sekä reilusta taakanjaosta EU:ssa sekä kansainvälisissä ilmastoneuvotteluissa.*
- *Luovutaan hiilen käytöstä energiantuotannossa ja puolitetään tuontiöljyn käyttö kotimaan tarpeisiin 2020-luvun aikana.*
- *Nostetaan liikenteen uusiutuvien polttoaineiden osuus vuoteen 2030 mennessä 40 prosenttiin.*
- *Kannustetaan julkista sektoria hiilineutraaleihin energiaratkaisuihin.*
- *Edistetään uuden teknologian käyttöön ottamista cleantech-sektorin pilottihankkeilla.*

Hallitusohjelman kirjauksia uusiutuvien polttoaineiden osalta tulkitaan niin, että 40 %:n luvussa on mukana ns. tuplalaskenta kestävästi tuotetuille biopolttoaineille.

5.3 Dieselhenkilöautojen päästöhuijaus ja keskustelut polttomoottoriautojen kieltämisestä

Dieselhenkilöautojen päästöhuijaus paljastui, kun ICCT (International Council on Clean Transport, kv. NGO) oli teetättänyt UWV:llä (University of West Virginia) PEMS-mittauksia liikenteessä dieselautoilla ja havainnut hyvin suuria NO_x-päästöjä VW-malleissa.

UWV pyysi CARB:ia (Kalifornian ympäristövirasto) tekemään autoille tyyppihyväksymismittauksia laboratoriossa, jossa puolestaan saatiin hyväksyttäviä päästötuloksia. ICCT ja UWV esittelivät havaintonsa EPA:lle (Yhdysvaltain ympäristövirasto) ja CARB:lle, jotka sitten tekivät omia tutkimuksiaan, jonka jälkeen asia esitettiin VW:lle, ja pyydettiin selitystä.

Useamman kuukauden mittaisen prosessin jälkeen VW tunnusti syyskuussa 2015, että autoissa on "defeat device", eli järjestelmä, joka tunnisti testitilanteen ja sai autot toimimaan testitilanteessa niin, että typen oksidien päästöt pysyivät sallituissa rajoissa. Normaaliajossa käytettiin toisia säätöjä, jolloin päästöt ovat 5...35-kertaiset. Virhe koski Yhdysvalloissa 482 000 autoa, joissa on 2.0 TDI-moottori. Autot olivat vuosimallia 2009 – 2015, vanhemmissa oli yksinkertaisempi ns. lean-NO_x katalysaattori, uudemmissa SCR-järjestelmä.

Myöhemmin VW joutui tunnustamaan, että päästöhuijaus koski myös Euroopassa myytyjä, Euro 5-tasoisia autoja. Yhteensä huijauksen piiriin kuului noin 11 miljoonaa autoa.

Se, että autot tuottavat enemmän päästöjä normaalissa ajossa kuin pakokaasumittauksessa on ollut pitkään tiedossa. Jos autolla esimerkiksi kiihdytetään voimakkaasti tai jos autolla ajetaan suurta nopeutta, päästöt voivat nousta merkittävästi, eikä tämä sinällään ole laitonta, sillä päästömääräykset koskevat vain tiettyä tyyppihyväksymisessä käytettyä ajosykliä. VW:n käyttämä menetelmä testitilanteen tunnistamiseksi, ja säätöjen muuttaminen testitilannetta varten ei kuitenkaan ollut sallittua.

VW:n päästöhuijauksen jälkeen käynnistivät useat EU:n jäsenmaat lisäselvityksiä, jotka koskivat muidenkin valmistajien autoja. Niistä on julkisesti raportoitu ainakin Saksan⁸, Ranskan⁹ ja Iso-Britannian¹⁰ osalta. Niiden perusteella on usealla taholla tuotu esiin, että päästöt myös muiden valmistajien kohdalla ylittävät raja-arvot merkittävästi. SCR-järjestelmillä varustetuissa autoissa urean syöttö on saatettu kytkeä pois, kun ulkoilman lämpötila on alle tietyn rajan, pahimmillaan tämä lämpötilaraja on ollut niinkin korkea kuin 17 °C. Autonvalmistajien taholta tämä on ollut tarpeen moottorin ja puhdistuslaitteiston vikaantumisen estämiseksi, mikä sinällään on pykälien mukaan sallittua, mutta noin korkeaa lämpötilaa voidaan pitää vähintäänkin "hätävarjelen liioitteluna".

Edellä mainittujen testien tulosten perusteella on kuvassa 5.1 näytetty erimerkkisten Euro 6-tasoisien dieselhenkilöautojen todelliset NO_x-päästöt suhteessa raja-arvoon (80 mg/km). Euro 6-autoissa VW onkin yllättäen puhtain, kun huonoimpien merkkien osalta ylitys on jopa 14-kertainen.

Ongelma tulee poistumaan kehittyvien pakokaasumääräysten myötä, sillä vuoden 2017 syyskuussa voimaan tulevien Euro 6c määräysten valvontaan sisältyy ns. RDE (Real Driving Emissions) vaatimus¹¹. Euro 6 määräyksissä raja-arvot pysyvät muuttumattomina, mutta lisäksi kirjain tarkoittaa lisävaatimuksia. Tässä siis "c" tuo mukanaan mm. RDE vaatimuksen, jonka mukaan autoja tullaan testaamaan laboriotestien lisäksi normaalissa liikenteessä ns. "Real-Driving Emissions" (RDE) testissä. Tässä yhtäjaksoisesti ajettavassa noin kahden tunnin mittaisessa testissä autolla ajetaan kaupunki-, maantie- ja moottoritieajoa tällaisiin testeihin ennakolta hyväksytyjä reittejä, ja päästöjä mitataan jatkuvasti autoon testiä varten asennetulla "Portable Emissions Measurement System" (PEMS) laitteistolla. Tästä testistä laskennallisesti saadut tulokset saavat ylittää voimassa olevat raja-arvot vain tietyllä kertoimella.

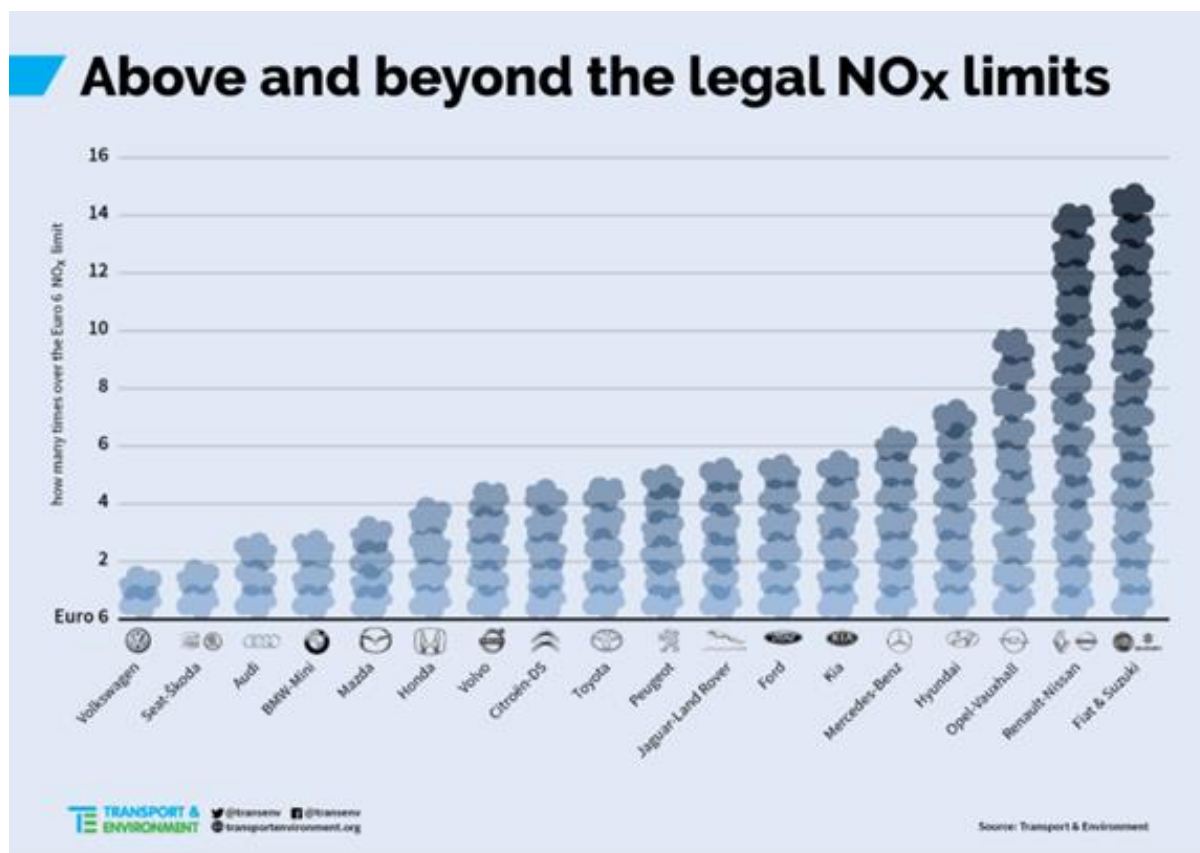
⁸ http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Strasse/bericht-untersuchungskommission-volkswagen.pdf?__blob=publicationFile

⁹ http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2016-04-07_-_DP_Resultats_Commission_UTAC.pdf

¹⁰ https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/548148/vehicle-emissions-testing-programme-web.pdf

¹¹ http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-5945_en.htm

Aluksi tämä kerroin on 2,1 (eli ylitys 110 %), mutta myöhemmin kerroin laskee 1,5:een (50 % ylitys).



Kuva 5.1: Erimerkkisten Euro 6 dieselhenkilöautojen NO_x päästöt suhteessa raja-arvoon. (Transport & Environment 2016¹)

Raskaissa ajoneuvoissa RDE vaatimus tuli voimaan Euro VI määräysten myötä jo vuonna 2013. VTT on omissa mittauksissaan voinut havaita, että uudet raskaat Euro VI-autot ovat myös todellisuudessa erittäin vähäpäästöisiä.

Euro 6c tuo myös mukanaan uuden testisyklin, Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP), joka paremmin kuvaa todellista ajoa kuin tähän asti käytössä ollut NEDC -testisykli.

Varsinkin syksyn 2015 päästöskandaalin jälkeen on keskusteltu polttomoottoriautojen kieltämisestä vuoteen 2030 mennessä. Taustalla on halu vähentää sekä paikallisia päästöjä että kasvihuonekaasupäästöjä. Keskusteluja on käyty niin maa- kuin kaupunkikohtaisesti. Lukuun ottamatta Pariisissa käyttöön otettua rajoitusta vanhojen dieselautojen osalta mitään muita laillisesti sitovia päätöksiä ei kuitenkaan toistaiseksi ole tehty, ja tiettyihin uutisointeihin liittyy selviä ylilyöntejä.

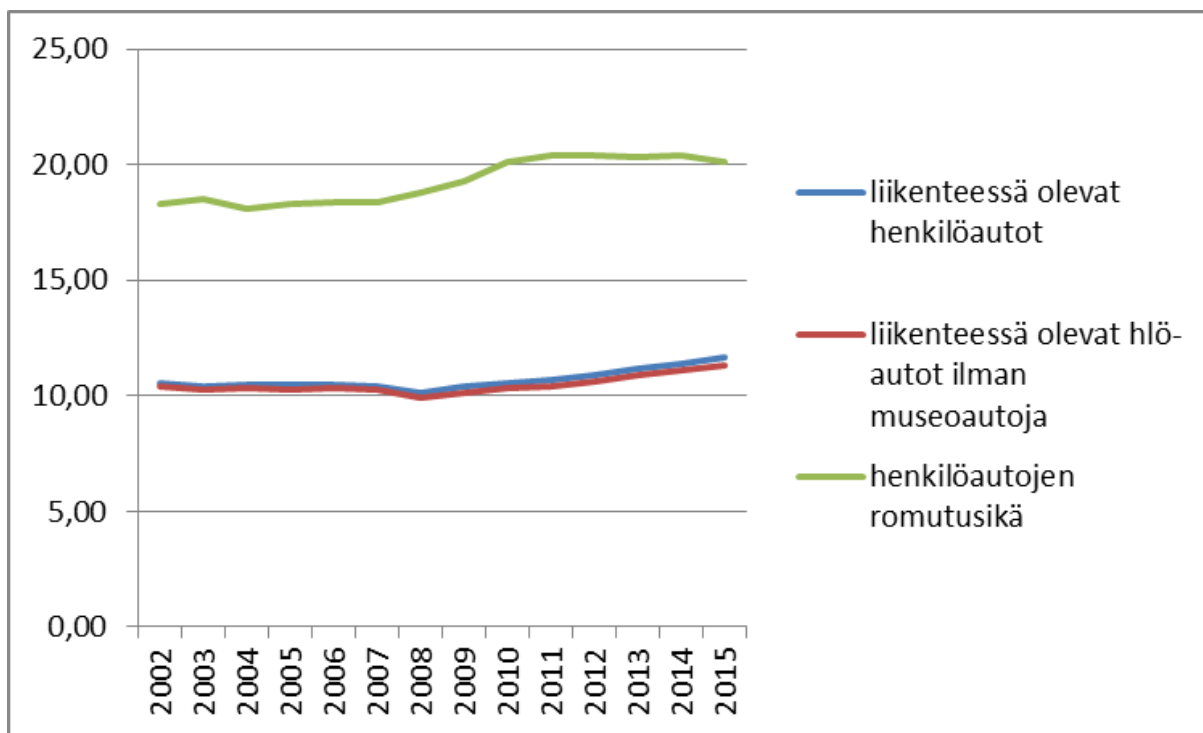
Saksan liittoneuvosto hyväksyi kuitenkin lokakuussa 2016 paljon huomiota saaneen päätöslauselman, jonka mukaan uusien bensiini- ja dieselautojen myynti kielletään vuodesta 2030 alkaen¹². Liittoneuvosto haluaa näin edistää päästöttömien ajoneuvojen kauppaa. Pariisin ilmastopäätöksen mukaan liikenteen ilmastopäästöt on saatava loppumaan lähes kokonaan vuoteen 2050 mennessä, mikä edellyttää radikaaleja uudistuksia.

Jos liittoneuvoston kanta hyväksytään, vuoden 2030 jälkeen Saksassa voisi myydä uusina vain päästöttömiä tai hyvin vähäpäästöisiä ajoneuvoja. Sellaisia ovat sähkö- ja vetäytöiset autot sekä hybridit.

¹² <http://yle.fi/uutiset/3-9221890>

Liittoneuvosto on hallintoelin, joka koostuu Saksan osavaltioiden edustajista. Sillä ei tässä tapauksessa ole omaa päätösvaltaa, sillä päätökset tekee parlamentti, eli liittopäivät. Päätettävän asian on kuitenkin saatava liittoneuvoston hyväksyntä, että se voi tulla voimaan.

Oli sitten kyse perinteistä tekniikkaa edustavista autoista tai sähköautoista, tehokas tapa niin lähipäästöjen kuin energiankulutuksen vähentämiseksi olisi ajoneuvokannan uusiminen. Suomessa henkilöautokannan keski-ikä on noin 12 vuotta. Se on yksi Euroopan korkeimmista, ja romutusikä on noin 20 vuotta (kuva 5.2).



Kuva 5.2: Suomen liikennekäytössä olevien henkilöautojen keski-ikä ja romutusikä vuosina 2002-2015. (<http://katsaukset.trafi.fi/etusivu/ymparisto/henkiloautokannan-keski-ika-ja-romutusika.html>)

5.4 TEM:in asettama työryhmä ILUC-direktiivin edellyttämistä muutoksia kansalliseen lainsäädäntöön sekä biopolttoaineiden edistämistoimista vuoden 2020 jälkeen

TEM asetti työryhmän 2.12.2015, jonka tehtävänä oli selvittää biopolttoaineiden epäsuoria maankäytön muutoksia koskevan ILUC-direktiivin edellyttämiä muutoksia kansalliseen lainsäädäntöön sekä arvioida biopolttoaineiden edistämiseksi tarvittavia toimia vuoden 2020 jälkeen. Työryhmän työ tapahtui kaksivaiheisena. Ensimmäisessä vaiheessa työryhmä keskittyi ILUC-direktiivin kansalliseen toimeenpanoon liittyviin kysymyksiin. Toisessa vaiheessa työryhmä syventyi vuoden 2020 jälkeen tarvittaviin ohjauskeinoihin. Hallitusohjelman mukaan liikenteen uusiutuvien polttoaineiden osuus nostetaan 40 prosenttiin 2020-luvun aikana. Aikataulullisesti ensimmäisen vaiheen raportin tuli valmistua marraskuun 2016 loppuun mennessä. Toisen vaiheen osalta raportointi tapahtuu kesäkuun 2017 loppuun mennessä.

5.5 Komission tiedonanto vähähiilisestä liikenteestä

Komissio julkisti 20.7.2016 ns. kesäpaketin (kuva 5.3), ja osana tätä tiedonannon vähähiilisestä liikenteestä.

EU:n 2030 ilmasto- ja energiakehys

Komission ”kesäpaketti” 20.7.2016



Kuva 5.3: EU:n 2030 energia- ja ilmasto-kehys (ns. kesäpaketti 20.7.2016)¹³.

Vähähiilisen liikenteen tiedonannon taustateksteissä todettiin mm. seuraavaa:

”Liikenne aiheuttaa lähes neljänneksen EU:n kasvihuonekaasupäästöistä ja on tärkein ilmansaasteiden aiheuttaja kaupunkialueilla. EU:n vastaus näihin haasteisiin on, että hiilen ja ilmansaasteiden osalta siirrytään peruuttamattomasti vähäpäästöiseen liikkuvuuteen. Tavoite on selvä: tämän vuosisadan puoleenväliin mennessä liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen on oltava vähintään 60 prosenttia pienemmät kuin vuonna 1990 ja vakaalla uralla kohti nollatasoa. Terveystämme vahingoittavia ja ilman laatua pilaavia liikenteen aiheuttamia päästöjä on vähennettävä jyrkästi ilman viivettä.

Liikenteellä on aikaisempaa huomattavasti suurempi rooli pyrittäessä vähentämään päästöjä, mihin EU on sitoutunut Pariisin ilmastomuutossopimuksessa ja kestävän kehityksen toimintaohjelmassa 2030.”

Tiedonannossa toimenpiteet liikenteen päästöjen vähentämiseksi oli jaoteltu kolmeen pääryhmään:

1. Liikennejärjestelmän optimointi ja sen tehokkuuden lisääminen
 - a. Digitaaliset liikkuvuusratkaisut
 - b. Oikeudenmukainen ja tehokas hinnoittelu liikenteessä
 - c. Multimodaalisuuden edistäminen
2. Vähäpäästöisen vaihtoehtoisen energian käytön moninkertaistaminen liikenteessä
 - a. Tehokkaat puitteet vähäpäästöiselle vaihtoehtoiselle energialle
 - b. Vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotto
 - c. Sähköisen liikkuvuuden yhteentoimivuus ja standardointi

¹³ <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaistuMetatieto/Documents/EDK-2016-AK-75527.pdf>

3. Kohti päästöttömiä ajoneuvoja
 - a. Ajoneuvojen testauksen parantaminen kuluttajien luottamuksen palauttamiseksi
 - b. Henkilö- ja pakettiautoja koskeva vuoden 2020 jälkeinen strategia
 - c. Vuoden 2020 jälkeinen strategia kuorma- ja linja-autoille

Polttoaineiden osalta tiedoksiannossa¹⁴ todettiin mm.:

*"Osana nykyisen polttoaineita ja uusiutuvaa energiaa koskevan lainsäädännön tarkistamista komissio tutkii, miten voidaan tarjota merkittävä kannustin sellaisten energiamuotojen innovointiin, joita hii-
lestä irtautumiseen tarvitaan pitkällä aikavälillä. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi asettamalla
polttoainetoimittajille velvoite toimittaa tietty osuus uusiutuvasta vaihtoehtoisesta energiasta, muun
muassa kehittyneistä biopolttoaineista ja synteettisistä polttoaineista, esimerkiksi käyttämällä sekoi-
tusvaltuutusta tai velvoittamalla vähentämään toimitetun energian aiheuttamaa kasvihuonekaasu-
jen vaikutusta."*

*"Komissio on jo ilmoittanut, että ravintokasveista tuotetuilla biopolttoaineilla voidaan vähentää lii-
kenteen hiilipäästöjä vain rajallisesti eikä niille pitäisi antaa julkista tukea vuoden 2020 jälkeen Osana
meneillään olevaa analyysia, jolla tuetaan voimassa olevan, polttoaineita ja uusiutuvaa energiaa
koskevan lainsäädännön tarkistamista, komissio keskittyy näiden polttoaineiden asteittaiseen pois-
tamiseen ja korvaamiseen edistyneemmällä biopolttoaineilla. Vaikutuksia arvioidaan huolellisesti ja
huomioon otetaan muun muassa kehittyneiden biopolttoaineiden edellyttämät investointitarpeet ja
se, että ilman tukea ne eivät voi tässä vaiheessa kilpailla fossiilisten polttoaineiden tai ravintokasveis-
ta tuotettujen biopolttoaineiden kanssa."*

*"Standardointi ja yhteentoimivuus ovat olennaisen tärkeitä erityisesti sähköisen liikenteen kannalta,
jotta voidaan hyödyntää sisämarkkinoiden laajuutta ja poistaa kaikkialla EU:ssa esteitä sähköajoneu-
vojen lataamiselle. EU:n laajuisten sähköisen liikenteen palvelumarkkinoiden luominen edellyttää
lisätoimia. Näitä toimia ovat esimerkiksi maksujen rajat ylittävä yhteentoimivuus ja latauspisteitä
koskevien tosiaikaisten tietojen antaminen."*

Ajoneuvojen osalta todettiin mm.:

*"Tieliikenteessä polttomoottoria on parannettava edelleen. Siirtymistä kohti vähäpäästöisiä ja pääs-
töttömiä ajoneuvoja on kuitenkin tuettava monenlaisilla toimenpiteillä kaikilla politiikan aloilla, jotta
varmistetaan sekä valmistajien että käyttäjien osallistuminen. Poliittikkatoimissa on kiinnitettävä ai-
kaisempaa enemmän huomiota myös kuorma- ja linja-autoihin."*

*"Päästöttömien ja vähäpäästöisten ajoneuvojen on oltava käytössä ja saatava merkittävä markkina-
osuus vuoteen 2030 mennessä. Tätä siirtymistä on kannustettava sekä tarjonta- että kysyntäpuolen
toimenpiteillä niin EU:n tasolla kuin jäsenvaltio-, alue- ja paikallistasolla."*

*"Kuluttajien tietotaso on erityisen suuri ongelma sähkö- ja polttokennokäyttöisten ajoneuvojen osal-
ta. Akkuteknologian kehityksen ansiosta valinnanvara lisääntyy, kustannukset alenevat ja tankkaus-
ja ylläpitokustannukset ovat huomattavasti alhaisemmat perinteisiin polttoaineisiin verrattuna.
Mahdolliset käyttäjät on saatava tietoisiksi näistä hyödyistä. Päästöjen, myös käytetyn polttoaineen
tai energian aiheuttamien, ilmoittamista koskevalla kokonaisvaltaisemmalla lähestymistavalla voitai-
siin edelleen lisätä kuluttajien valinnanmahdollisuuksia, parantaa vaihtoehtoisten polttoaineiden
asemaa ja vähentää hiilidioksidipäästöjä entisestään."*

Suomalaiset viranomaiset olivat aktiivisesti yhteydessä Komissioon tiedonannon valmistelu-
vaiheessa. Vaikuttaminen onnistui, ja tiedonanto vastasi pitkälle suomalaisia näkemyksiä
liikenteen hiilidioksidipäästöjen vähentämisestä.

¹⁴ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/DOC/?uri=CELEX:52016DC0501&from=fi>

5.6 Direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöön- otosta (2014/94/EU) ja sen kansallinen toimeenpano

Direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöön-otosta annettiin vuoden 2014 lopulla. Direktiivi pohjautui vuoden 2013 alussa julkistettuun EU:n vaihtoehtoisten polttoaineiden strategiaan (Puhdasta energiaa liikenteen alalla: eurooppalainen vaihtoehtoisten polttoaineiden strategia)¹⁵.

”Direktiivissä luodaan yhteinen toimenpidekehys vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotolle unionissa, jotta voidaan minimoida liikenteen öljyriippuvuus ja lieventää liikenteen ympäristövaikutuksia. Tässä direktiivissä vahvistetaan jäsenvaltioiden kansallisten toimenpidekehysten avulla täytäntöön pantavat vähimmäisvaatimukset vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin rakentamiselle, sähkökäyttöisten ajoneuvojen latauspisteet ja maakaasun (nesteytetty maakaasu ja paineistettu maakaasu) sekä vedyn tankkauspisteet mukaan lukien, ja yhteiset tekniset eritelmät tällaisille lataus- ja tankkauspisteille, sekä käyttäjille tiedottamista koskevat vaatimukset.”

Direktiiviluonnoksessa oli mm. esitetty tankkauspisteiden väliset enimmäisetäisyydet. Varsinaisessa direktiivissä vaatimuksia lievennettiin. Kirjauksina tieliikenteen osalta oli kuitenkin mm. että jäsenvaltioiden on varmistettava:

- että sähköautojen latauspisteitä on **asianmukainen määrä** viimeistään 31 päivänä joulukuuta 2020, jotta sähkökäyttöiset ajoneuvot voivat liikkua ainakin kaupunkitaajamissa, esikaupunkialueilla ja muilla tiheästi asutuilla alueilla sekä tarvittaessa jäsenvaltioiden määrittämien verkkojen sisällä
- että julkisia paineistetun maakaasun tankkauspisteitä on käytettävissä viimeistään 31 päivänä joulukuuta 2020 **asianmukainen määrä**, että paineistettua maakaasua käyttävät moottoriajoneuvot voivat liikkua kaupunkitaajamissa, esikaupunkialueilla ja muilla tiheästi asutuilla alueilla ja tarvittaessa jäsenvaltioiden määrittämien verkkojen sisällä
- että julkisia nesteytetyn maakaasun tankkauspisteitä on käytettävissä viimeistään 31 päivänä joulukuuta 2025 **asianmukainen määrä** ainakin olemassa olevan TEN-T-ydinverkon varrella, jotta varmistetaan, että nesteytettyä maakaasua käyttävät raskaat moottoriajoneuvot voivat liikkua kaikkialla unionissa, kun kysyntää on, elleivät kustannukset ole suhteettomat hyötyihin nähden, ympäristöhyödyt mukaan luettuina

Liikenne- ja viestintäministeriö asetti 15.10.2015 työryhmän valmistelemaan ns. jakeluinfradirektiivin kansallista toimeenpanoa. Työryhmän ehdotus liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkon suunnitelmaksi julkaistiin 22.11.2016¹⁶.

Raportissa on esitetty tavoitteita sekä infrastruktuurille että autokalustolle.

Tieliikenteen infrastruktuurin osalta keskeisimmät tavoitteet ovat:

- Sähkön osalta Suomen kansallisena tavoitteena olisi vähintään 2000 julkista latauspistettä vuoteen 2020 mennessä. Näistä noin 200 olisi pikalatauspisteitä. Latauspisteverkoston tavoitteena olisi kattaa kaikki kunnat ja kaupungit, liikenteen solmukohdat, TEN-T-ydin- ja kat-tavan verkon satamat, rautatieasemat ja lentokentät sekä tieverkko aina kantateihin saakka. Julkisella latausverkolla ei tarkoiteta pelkästään julkisilla paikoilla sijaitsevia latauspisteitä, vaan ylipäättään kaikkien autojen käytettävissä olevia asemia.
- Vuoden 2030 tavoitteena olisi autotavoitteet huomioiden vähintään 25 000 julkista latauspistettä.
- Vetyasemia olisi vuonna 2030 yhteensä noin 20 kappaletta siten, että etäisyys asemalta asemalle olisi noin 300 km ja kunkin aseman vaikutussäde 150 km. Asemat kattaisivat kaikki suurimmat kaupungit.

¹⁵ <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0017:FIN:EN:PDF>

¹⁶ <https://www.lvm.fi/documents/20181/880507/Raportit+ja+selvitykset+1-2016.pdf/1f35531d-789c-4295-ba6b-17097f2baeab>

- *Maa- ja biokaasun (CNG, CBG) osalta tavoitteena olisi, että tankkausasemia olisi suurimmilla kaupunkiseuduilla sekä kaikkien pääväylien varsilla yhteensä noin 50 kappaletta vuonna 2020.*
- *Nesteytetyn maa- ja biokaasun osalta tavoitteena olisi, että Suomessa olisi kansallisesti kattava LNG-tankkausasemaverkosto raskaan maantieliikenteen tarpeisiin vuonna 2030.*
- *Nestemäisten biopolttoaineiden jakelun osalta tavoitteena olisi, että vuonna 2030 kaikilla jakeluasemilla olisi tuotevalikoimassaan jokin korkeaseosbiopolttoaine (kuten 100-% HVO, RE85 tai ED95).*

Autokaluston osalta tavoitteet ovat:

- *Työryhmä ehdottaa, että Suomen kansallisena tavoitteena olisi, että Suomen koko henkilöautokanta olisi lähes nollapäästöinen vuonna 2050.*
- ***Tavoitteena olisi, että kaikki Suomessa myytävät uudet henkilö- ja pakettiautot olisivat vaihtoehtoisten käyttövoimien käyttöön soveltuvia jo vuonna 2030.*** Vuoden 2025 tavoitteena olisi, että 50 % uusista henkilö- ja pakettiautoista voisi kulkea jollakin vaihtoehtoisella käyttövoimalla ja vuoden 2020 tavoitteena olisi 20 % osuus.
- *Myös raskaan kaluston tavoitteena olisi, että kaikki uudet kuorma-autot ja linja-autot olisivat jonkin vaihtoehtoisen käyttövoiman käyttöön soveltuvia vuonna 2030. Vuoden 2025 tavoitteena olisi, että 60 % uusista kuorma- ja linja-autoista olisi yhteensopivia jonkin vaihtoehtoisen käyttövoiman kanssa ja vuoden 2020 tavoitteena olisi 40 % osuus. Luvut pitävät sisällään biopolttoaineita korkeinkin pitoisuuksina hyödyntävät kuorma- ja linja-autot. Nämä autot on tyyppihyväksynnässä hyväksytty jopa 100 prosenttisille biopolttoainepitoisuuksille. Tällaisia autoja on Suomen kuorma-autoista ja linja-autoista tällä hetkellä jo noin 30 %.*

Työryhmän mietinnössä ei suoraan annettu tavoitteita sähköautojen määrälle, mutta tavoite määräytyi välillisesti latausverkon laajuuden perusteella. Jakeluinfrastruktuuriin suositukseksi on, että sähköautojen julkisia latauspisteitä tulisi olla yksi kappale kymmentä sähköautoa kohti. Raportin laajennetussa tiivistelmässä todettiin, että latauspisteverkoston mitoituksen pohjaksi asetetaan noin 20 000 sähköauton määrä vuonna 2020 ja vähintään 250 000 sähköauton määrä vuonna 2030. Julkisia latauspisteitä tulisi näin ollen olla vähintään 2000 kappaletta vuonna 2020 ja 25 000 kappaletta vuonna 2030.

Infrastruktuuri- ja autotavoitteiden lisäksi työryhmä päätyi esittämään 26 erilaista toimenpidettä, mm.:

- *Biopolttoaineiden jakeluvelvoitelakia jatketaan myös vuoden 2020 jälkeen. Vuoden 2030 tavoitteeksi asetetaan 40 prosentin biopolttoaineosuus (tuplalaskenta huomioon ottaen). Selvitetään, mitä hyötyjä ja haittoja olisi siitä, jos myös biokaasu otettaisiin mukaan jakeluvelvoitelain soveltamisalaan.*
- *Jatketaan nykyisen ympäristöperusteisen polttoaineverotuksen kehittämistä niin, että se kohtelisi liikenteen kaikkia eri polttoainevaihtoehtoja objektiivisesti ja mahdollisimman tasapuolisesti.*
- *Toteutetaan autohankintoihin kohdistuva kokeilu liikenteen uusien teknologioiden markkinoiden avaamiseksi. Kokeilussa uuden sähkö-, vety-, kaasu- tai korkeaseosetanoliauton (ns. FFV-auton) ostaja saisi esim. 4000 euron hyvityksen uuden auton hankintahinnasta. Kokeilu olisi määräaikainen ja sen kautta tuettaisiin esimerkiksi ensimmäiset 25 000 sähkö-, vety-, kaasu- ja FFV-autohankintaa.*
- *Osallistutaan aktiivisesti sitovien CO₂-raja-arvojen asettamistyöhön sekä henkilö- ja pakettiautojen että raskaan kaluston osalta. Tuodaan esiin käyttövoimavaihtoehtojen elinkaaripäästöt raja-arvojen määrittelytyössä.*
- *Osallistutaan aktiivisesti liikenteen vaihtoehtoisten käyttövoimien käyttöä edistävien standardien valmisteluun. Selvitetään mahdollisuudet ottaa käyttöön kansallinen E20-standardi.*

5.7 Kansallinen vuoteen 2030 ulottuva energia- ja ilmastostrategia

Hallitus hyväksyi 24.11.2016 kansallisen energia- ja ilmastostrategian vuoteen 2030¹⁷. Se annettiin selontekona eduskunnalle, joka aloitti strategian käsittelyn 30. marraskuuta 2016. Strategiassa linjattiin konkreettisia toimia ja tavoitteita, joilla Suomi saavuttaa Sipilän hallitusohjelmassa ja EU:ssa sovitut energia- ja ilmastotavoitteet vuoteen 2030 (kts. 5.2).

Päivitetyn ns. perusennusteen mukaan liikenteen kokonaispäästöt laskevat ilman erityistimenpiteitä vuoden 2005 luvusta 12,9 Mt CO₂/a lukuun 9,9 Mt CO₂/a vuonna 2030 (noin -22 %, kuva 5.4). Tämän lisäksi tarvitaan siis lisätoimenpiteitä.

Liikenteen osalta strategiassa on kolme pääkohtaa päästöjen vähentämiseksi edelleen (vrt. 5.6: Komission tiedonanto vähähiilisestä liikenteestä), suluissa arvioitu päästövähennyspotentiaali Mt CO₂/a:

1. Liikennejärjestelmän energiatehokkuuden parantaminen (n. 1 Mt/a)
2. Ajoneuvojen energiatehokkuuden parantaminen (> 0,6 Mt/a)
3. Fossiilisten öljypohjaisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla ja/tai vähäpäästöisillä vaihtoehtojilla (n. 2 Mt/a)

Tavoitteena on siis leikata yhteensä 3,6 Mt/a lisää liikenteen päästöistä ”business-as-usual” kehitykseen (perusuraan) verrattuna. Näillä toimenpiteillä liikenteen kokonaispäästöt olisivat n. 6,3 Mt CO₂/a vuonna 2030, eli n. 50 % alemmalla tasolla kuin vuonna 2005.

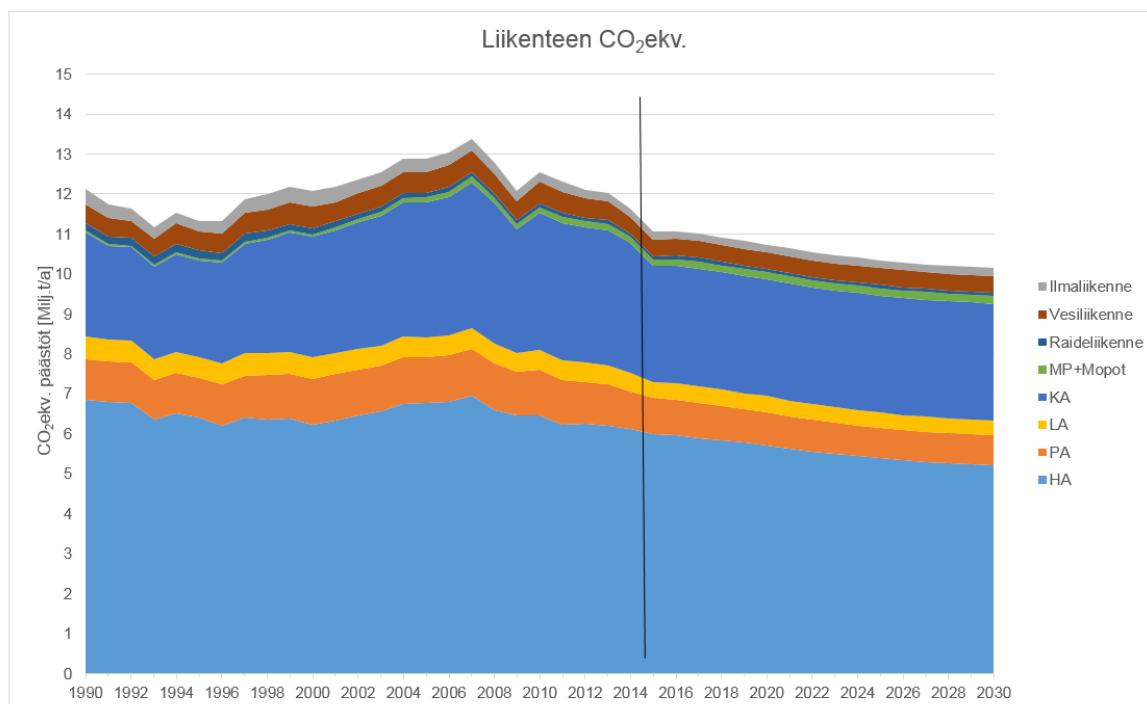
Liikenteen energiavaihtoehtojen osalta on kirjattu:

- *Liikenteen biopolttoaineiden energiasällön fyysinen osuus kaikesta tieliikenteeseen myydyistä polttoaineista nostetaan 30 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä.*
- *Toimintaympäristön vakauttamiseksi ja uusien investointien varmistamiseksi tulee huolehtia biopolttoaineiden markkinoiden jatkuvuudesta koko EU:ssa. Lisäksi tarkastellaan mahdollisuuksia saada aikaan yhteispohjoismaiset biopolttoainemarkkinat.*
- *Uusien polttoaineiden (kuten kaasu ja vety) jakeluasemaverkosto sekä sähköautojen vaatima latauspisteverkko rakennetaan Suomeen pääsääntöisesti markkinaehtoisesti. Lisäksi arvioidaan kustannustehokkaita keinoja edistää sähköautojen latausverkon ja kaasuautojen tankkausverkon laajentamista huomioon ottaen asiaa pohtineen jakeluinfra-ryhmän suositukset.*
- *Valtion tulee kuitenkin huolehtia siitä, että uusien teknologioiden osuus autokannasta saadaan markkinoiden toimivuuden näkökulmasta riittävälle tasolle. Tavoitteena on, että Suomessa olisi vuonna 2030 yhteensä vähintään 250 000 sähkökäyttöistä autoa (täyssähköautot, vetäytöt ja ladattavat hybridit) ja vähintään 50 000 kaasukäyttöistä autoa.*

Verrattuna Sipilän hallitusohjelman kirjauksiin, biopolttoainetavoitetta on nostettu selvästi, koska nyt tavoitteena on 30 %:n todellinen osuus. Sähköautojen lukumäärän osalta kirjaukset on johdettu jakeluinfra-ryhmän raportista.

¹⁷ http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1

Liikenteen khk-päästöt vuoteen 2030, perusennuste (Päästövähennys noin 22 % verrattuna vuoteen 2005)



LVM LIIKENNE- JA
VIESTINTÄMINISTERIÖ

Kuva 5.4: Perusennuste liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen kehittymisestä vuoteen 2030. (Saara Jääskeläinen, LVM 11/2016)

5.8 Komission talvipaketti 30.11.2016

Euroopan komissio julkisti 30.11.2016 pitkään odotetun energia-asioiden ”talvipakettinsa”, jonka aiheita olivat uusiutuvan energian direktiivin uudelleentarkastelu ja bioenergian kestävyyskriteerit, energiatehokkuusdirektiivin sekä rakennusten energiatehokkuusdirektiivin uudelleentarkastelu, sähkömarkkinamallipaketti ja energiaunionin hallintomalli.

Uusiutuvan energian direktiiviehdotus sisälsi sitovat EU-tason kestävyyskriteerit liikenteen biopolttoaineille, bionesteille sekä jatkossa myös sähkön- ja lämmöntuotantoon käytettäville kiinteille ja kaasumaisille biomassoille. Suomen kannalta oli olennaista kiinteän biomassan nollapäästöisyyden säilyttäminen. Koska Suomen metsä- ja ilmastopolitiikka ovat kokonaisuutena arvioiden kestäviä, ei eräkohtaista kestävyysarviointia suomalaisen metsäenergian osalta tarvita. Komissio ehdotti myös erillistä velvoitetta kasvattaa kehittyneiden biopolttoaineiden osuutta (TEM tiedote 30.11.2016¹⁸).

RED II -direktiiviehdotuksen käsittely ja lopullisen hyväksytyn direktiivin vieminen kansalliseen lainsäädäntöön vienee muutamia vuosia. Liikenteen osalta tärkeä kysymys on mm. mikä tulee olemaan lopullinen EU-tason päätös kestävästä uusiutuvasta liikennepolttoaineista ja niiden raaka-aineista. Esimerkiksi kuinka vuonna 2030 voidaan käyttää sellaisia raaka-ainelähteitä, jotka ovat nyt tuotannossa, kuten ruokapohjaiset kasvit, käytetyt paistinrasvat ja eläinrasvat. Lähinnä mäntyöljyyn on liittynyt myös keskustelu, josko biotaloudessa lisäarvotuotteiden ensisijainen käyttö tulee olla ehdoton energiakäyttöön verrattuna, kun nyt mäntyöl-

¹⁸ http://tem.fi/artikkeli/-/asset_publisher/rehn-tiilikainen-ja-berner-komission-energian-talvipaketti-antaa-hyvan-pohjan-jatkoneuvotteluille

jjä voi käyttää biopolttoaineisiin. Jos rajaukset raaka-aineissa tulevat tiukaksi esim. palmuöljytuotannon sivutuotteet rajautuisivat pois), niin puupohjaista liikennepolttoainetuotantoa tarvittaisiin Pohjoismaissa enemmän.

Myös sähköautot herättävät keskustelua. Ehdotuksen mukaan sähköautot katsottaisiin päästöttömiksi vain siltä osalta kuin sähkö on tehty uusiutuvista lähteistä. Nykyisin Suomen sähköntuotannosta noin 40 % on uusiutuvaa, siis vain 40 % katsotaan päästöväheneväksi. Sen lisäksi sähköautojen uusiutuvan sähköön käytön määrä tulee vähentää uusiutuvan sähköön tuotannosta, ettei sitä lasketa jäsenmaissa kahdesti. Uusiutuvaa sähköä siis siirretään päästökauppa- ja ei-päästökauppasektorin välillä.

6. Päivityksen yhteydessä tehdyt muutokset tarkasteluihin

Päivityksen yhteydessä laskentoihin ja arviointeihin tehtiin mm. seuraavat muutokset:

- ajosuoritteita tarkennettiin (sekä henkilöautot että raskas liikenne)
 - suoritteet vastaavat nyt kansallisen energia- ja ilmastostrategian laskelmien taustalla olevia suoritearvoja
- ajoneuvokaluston energiatehokkuuden kehitysarvioita tarkennettiin
- ym. tekijöiden perusteella laskettiin auto- ja energiamäärien perusteella uusi ns. perusura vuoteen 2030
- ns. biopolttoaineisiin tukeutuvassa ”Kehitys”-skenaariossa sähköautojen lukumäärää kasvatettiin hieman
- luotiin kaksi uutta kalustoskenaariota:
 - ”sähkömax”, jossa on yhteensä 600.000 verkosta ladattavaa autoa vuonna 2030
 - ”kaasumax”, jossa on 200.000 kaasuhenkilöautoa vuonna 2030, ja lisäksi kaasulla katetaan 10 % raskaan liikenteen energiantarpeesta
- lisäksi tarkasteltiin VNK-Keiju-hankkeen ns. WAM lukuja (With Additional Measures) autoille ja polttoainemäärille, vastaten likimain uuden energia- ja ilmastostrategian lukuja
- tarkennettiin arvioita uusiutuvien polttoaineiden tuotantomahdollisuuksista
- sähköautojen hintakehityksen ennusteita tarkennettiin ja varioitiin
- uusittiin laskelmat ns. kehitysskenaarioiden vaikutuksista kansantalouteen, ja lisäksi laskettiin uusina tapauksina ”sähkömax” ja ”kaasumax” -skenaariot

Vuoden 2015 raportissa suorite-ennusteena käytettiin Liikenneviraston vuonna 2014 julkaisemaa valtakunnallista tieliikenne-ennustetta vuodelle 2030¹⁹. Sen mukaan henkilöautojen liikennesuorite kasvaa 26 % vuodesta 2012 vuoteen 2030 mennessä ja 36 % vuoteen 2050 mennessä. Pakettiautoilla vastaava kasvu olisi 6 % ja 11 %, linja-autoilla 6 % ja 11 % sekä kuorma-autoilla 6 % ja 17 %. Tämä suorite-ennuste oli kuitenkin osoittautunut ongelmalliseksi henkilöautojen osalta, sillä henkilöautojen myynti ja suoritteet eivät ole kehittyneet ennusteen edellyttämällä tavalla. Siksi VTT arvioi uudelleen Liikenne- ja viestintäministeriön toimeksiannosta vuoden 2015 lopulla henkilöautojen suoritteen kasvun vuoteen 2030 mennessä, ja päätyi lukuun 12 %, ja lukuun 16 % vuoteen 2050 mennessä. Nyt käsillä olevassa päivityksessä ajosuoritteiden osalta on käytetty tätä uusinta VTT:n tarkennettua ennustetta (sisältyy myös kuvaan 5.4). Henkilöautosuoritteen muutos (aikaisempaa alhaisempi) heijastuu myös automääriin, koska autokohtaista suoritetta ei ole muutettu. Muutos henkilöautojen kokonaissuoritteessa vuonna 2030 on noin -8%.

Vuoden 2015 raportissa ennustettiin raskaiden ajoneuvojen energiatehokkuuden parantuvan 9 % vuoteen 2030 mennessä. Liikkeellä olevat arviot raskaan kaluston energiatehokkuuden kehittymisestä ovat jossakin määrin ristiriitaisia (autonvalmistajien ilmoitukset vs. riippumattomien tahojen arviot). Tästä syystä ennustetta laskettiin varovaisuusperiaatetta noudattaen 5 %:iin. Lisäksi raskaan liikenteen (lähinnä tavarakuljetusten) suoritetta tarkistettiin ylöspäin, ja vaikutus vuoden 2030 tasolla on +9%.

Vuoden 2015 kehitysskenaariossa sähköautojen määräksi oli arvioitu 100.000 täyssähköautoa (tai vaihtoehtoisesti 200.000 lataushybridiä) vuonna 2030. Uudessa, edelleen biopolttoaineisiin painottuvassa ”Kehitys”-skenaariossa sähköautojen määrää nostettiin hieman, ja luvut ovat nyt 100.000 täyssähköautoa ja lisäksi 50.000 lataushybridiä. Kaasuautomäärä pidettiin ennallaan, 50.000 kappaletta.

Uudet ”sähkömax” ja ”kaasumax”-skenaariot tehtiin ns. ”nupit kaakkoon” periaatteella, eli automäärät asetettiin niin suuriksi, että niiden toteutuminen nykytiedon valossa on erittäin epätodennäköistä. Edellisessä raportissa eri teknologiaskenaariot toteutettiin siten, että jo-

¹⁹ Jukka Ristikartano, Pekka Iikkanen, Juha Tervonen, Tuomo Lappi; Valtakunnallinen tieliikenne-ennuste 2030; Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 13/2014. Liikennevirasto, Helsinki 2014.

kaisen teknologian osalta automäärät pakotettiin niin suuriksi, että perusuraan verrattuna tarvittava noin 20 %:n päästöjen lisäreduktio saavutettiin vain yhtä tekniikkaa käyttämällä. Poikkeuksena tästä oli "Drop-in"-biopolttoaineskenaario, joka ei edellyttänyt erikoisajoneuvoja, sekä "Kehitys"-skenaario, jossa biopolttoaineiden lisäksi oli edellä selostetun mukaisesti myös sähkö- ja kaasuautoja.

Uudessa "sähkömax"-skenaariossa on nyt 400.000 täyssähköautoa ja lisäksi 200.000 lataushybridia vuonna 2030. Sähköä on lisäksi tuotu jossakin määrin myös paketti- ja kuorma-autoihin sekä busseihin, jolloin niiden suoritteesta noin 10 % ajettaisiin sähköllä vuonna 2030.

"Kaasumax"-skenaariossa kaasuhenkilöautojen lukumäärä vuonna 2030 on 200.000, ja lisäksi kaasun osuus raskaassa kalustossa on 10 % ajosuoritteesta. Lisäksi kaikki liikenteen kaasu on laskettu biokaasuna.

"Sähkömax" ja "kaasumax"-skenaarioiden sähkö- ja kaasuautomäärät eivät missään tapauksessa voisi toteutua samanaikaisesti, koska "toinen vaihtoehto syö toista". Sen sijaan sellainen yhdistelmä, jossa toteutuu "sähkömax" mukainen sähköhenkilöautomäärä ja "kaasumax"-skenaarion mukainen kaasun käyttö raskaassa kalustossa voisi ainakin teoriassa olla mahdollinen.

Kansantaloudellisten vaikutusten laskennassa sähköautojen hintakehityksestä käytettiin kahda skenaariota. Vähemmän optimistisessa skenaariossa käytettiin keväällä 2016 Roland Berger konsulttiyhtiön julkaiseman "Integrated Fuels and Vehicles Roadmap to 2030 and beyond"-raportin²⁰ lukuja, joiden mukaan polttomoottoriautoilla ja täyssähköautoilla on merkittävä hintaero vielä vuonna 2030. Optimistisemmässä skenaariossa polttomoottoriautojen ja sähköautojen hinnanero asetettiin nollaan jo vuonna 2025. Konsulttiyhtiö Bloomberg²¹ puolestaan ennustaa, että akkusähköautot voisivat saavuttaa polttomoottoriautojen hintatason jo vuonna 2022 (kts. myös kappale 8).

²⁰https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_integrated_fuels_and_vehicles_roadmap_to_2030_v2_20160428.pdf

²¹ <http://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/>

7. Uudet kalusto- ja polttoainelaskelmat

Kaluston kehitys- ja polttoainelaskelmat tehtiin kuten alkuperäisessäkin työssä VTT:n edellisen työn yhteydessä kehittämällä ALIISA-mallilla. Vuoden 2015 raporttiin verrattuna sekä suoritteita että energiatehokkuuden kehittymistä on kuitenkin säädetty, mutta nämä säädöt kumoavat toisensa lähes täysin. Niinpä perustapausten kohdalla vuodelle 2030 lasketun energian kulutuksen kokonaismäärissä on vain yhden prosenttiyksikön ero. Bensiinin ja dieselpolttoaineen kulutuksen suhteessa on kuitenkin tapahtunut pieni muutos, arvio bensiinin kulutuksesta on nyt 7 % aikaisempaa pienempi ja arvio dieselin kulutuksessa vastaavasti 4 % suurempi.

Edellisen raportin laskennan tapaan nyt tehdyssä päivityksessäkin suoritteita käsitellään annettuina suureina, ja näillä annetuilla suureilla lasketaan millä ajoneuvo- ja polttoainetekniikan kombinaatioilla voidaan saavuttaa 40 %:n CO₂ päästövähennys. Esimerkiksi muutokset kulku- ja kuljetusmuotovalintoihin ja niihin liittyvät erilaiset ohjaustoimenpiteet on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Marraskuussa 2016 hyväksytyssä kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa vuoteen 2030 liikenteen päästövähennystavoitteeksi asetetaan 50 %, joten on hyvinkin perusteltua tarkastella 40 %:n päästövähennystä ajoneuvo- ja polttoaineteknisin keinoin.

Tarkastellut vaihtoehdot ovat siis seuraavat:

- Perusskenaario
 - tässä skenaariossa vaihtoehtoisten ajoneuvojen lukumäärä vuonna 2030 on niin pieni (noin 30.000), ettei niillä ole käytännön merkitystä
- Kehitysskenaario
 - vuonna 2030 henkilöautoissa on 100.000 täyssähköautoa, 50.000 ladattavaa hybridiä ja 50.000 kaasuhenkilöautoa, hieman vaihtoehtoisia tekniikoita muissa ajoneuvoluokissa
- Sähkömax (uusi)
 - vuonna 2030 henkilöautoissa on 400.000 täyssähköautoa ja 200.000 ladattavaa hybridiä, jonkun verran sähköautoja myös muissa ajoneuvoluokissa
- Kaasumax (uusi)
 - vuonna 2030 henkilöautoissa on 200.000 kaasuhenkilöautoa, 50.000 kaasukäyttöistä pakettiautoa ja lisäksi kaasulla 10 %:n osuus raskaan kaluston ajo-suoritteesta
- WAM
 - vastaa likimain hallituksen hiljattain päättämä energia- ja ilmastostrategiaa
 - henkilöautoissa on 200.000 täyssähköautoa ja 50.000 ladattavaa hybridiä, jonkun verran vaihtoehtoja myös muissa ajoneuvoluokissa

Lisäksi polttoaineiden osalta mukana on referenssinä "drop-in"-skenaario, joka autokalustoltaan **vastaa perusskenaariota, ja jossa 40 %:n päästövähennys saavutetaan drop-in biopolttoaineiden avulla.**

Taulukossa 7.1 on esitetty eri skenaarioiden automäärät. On syytä korostaa, että **nämä luvut eivät siis ole ennusteita, eikä tässä raportissa oteta kantaa siihen, miten nämä automäärät mahdollisesti saataisiin toteutumaan.** Esimerkinomaisesti voidaan mainita, että "kehitys"-skenaarioon asetettu 150.000 ladattavan auton määrä on suurin piirtein sama mikä Norjassa on noin runsaan kymmenen vuoden voimakkaan tukipolitiikan avulla saatu aikaan.

Laskennassa on oletettu, että kaikki autoissa käytetty metaani on biokaasua.

Luvussa 9 on otettu kantaa siihen, mitä mahdollisuuksia on eri skenaarioiden vaatimien biopolttoainemäärien (nestemäiset biopolttoaineet ja biokaasu) tuottamiseen.

Taulukkoon 7.2 on koottu eri skenaarioiden mukaiset myyntiosuudet eri henkilöautoautotyypeille. Uusien autojen myynnin on oletettu olevan kaikissa vaihtoehdoissa sama, noin 6 - 7 % henkilöautokannan koosta, eli 110.000 ... 150.000 kpl/a.

Kuten taulukosta 7.2 nähdään, voimakkaimmin uudet teknologiat tulevat käyttöön ”sähkömax”-vaihtoehdossa, jossa perinteisten bensiini- ja dieselautojen osuus myynnistä laskee tasolle 40 % vuoteen 2030 mennessä. Vastaavasti perusurassa niiden oletetaan olevan 97,7 % kokonaisymyynnistä 2030.

Taulukossa 7.3 on vastaavasti esitetty eri vaihtoehdoille lasketut polttoaine(komponenttien) määrät. Laskelmissa on oletettu, että biokomponenttien sekoitevelvoite on enintään nykyisen mukainen, jolloin bensiinissä on 8,3 % etanolia, eli myynnissä on siis vielä 5% etanolia sisältävää bensiiniä, ja loppu velvoitteesta on hoidettu dieselpoolissa, jossa biokomponentin osuus on silloin 17,7 %.

Taulukko 7.4 esittää vastaavat polttoainemäärät energiana (toe) eri tarkasteluvaihtoehdoissa.

Taulukko 7.1: Automäärät vuonna 2030 eri tarkasteluvaihtoehdoissa.

Ajoneuvot [kpl]	PÄIVITETTY PERUS	PÄIVITETTY KEHITYS	UUSI SÄHKÖMAX	UUSI KAASUMAX	UUSI WAM
Henkilöautot, bensiini	1 919 958	1 765 912	1 346 788	1 601 567	1 665 912
Henkilöautot, diesel	1 004 625	989 707	958 830	989 707	989 707
Henkilöautot, FFV	3 995	3 995	3 995	3 995	3 995
Henkilöautot, GAS	1 794	50 000	50 000	214 467	50 000
Henkilöautot, PHEV	20 000	50 001	200 000	50 000	50 001
Henkilöautot, BEV	10 000	100 000	400 000	100 000	200 000
Henkilöautot, FCEV	0	0	0	0	0
Henkilöautot, yhteensä	2 960 371	2 959 613	2 959 613	2 959 736	2 959 613
Pakettiautot, bensiini	18 934	10 004	999	9 532	11 079
Pakettiautot, diesel	291 507	292 927	273 923	249 400	291 844
Pakettiautot, FFV	0	0	0	0	0
Pakettiautot, GAS	151	6 000	6 000	50 000	6 000
Pakettiautot, PHEV	0	0	5 000	0	0
Pakettiautot, BEV	330	2 000	25 000	2 000	6 000
Pakettiautot, FCEV	0	0	0	0	0
Pakettiautot, yhteensä	310 922	310 931	310 922	310 931	314 923
Linja-autot, diesel	13 913	12 912	11 944	12 112	12 592
Linja-autot, ED95	0	0	0	0	0
Linja-autot, GAS	200	200	200	1 000	200
Linja-autot, PHEV	0	0	0	0	0
Linja-autot, BEV	0	1 000	1 500	1 000	1 000
Linja-autot, FCEV	0	0	0	0	0
Linja-autot, yhteensä	14 114	14 112	13 644	14 112	13 792
Kuorma-autot, diesel	107 638	106 447	100 308	98 673	106 447
Kuorma-autot, ED95	0	0	0	0	0
Kuorma-autot, GAS	14	1 032	1 032	8 807	1 032
Kuorma-autot, PHEV	0	0	0	0	0
Kuorma-autot, BEV	0	172	6 312	172	172
Kuorma-autot, FCEV	0	0	0	0	0
Kuorma-autot, yhteensä	107 652	107 652	107 652	107 652	107 652
yhteensä	3 393 059	3 392 309	3 391 832	3 392 431	3 395 979

Taulukko 7.2: Eri vaihtoehtojen mukaiset myyntiosuudet eri henkilöautotyypeille.

benssiini	PERUS	KEHITYS	SÄHKÖMAX	KAASUMAX	WAM
2015	62.7 %	62.9 %	62.9 %	62.9 %	62.9 %
2020	64.5 %	61.2 %	47.7 %	58.1 %	58.7 %
2025	66.2 %	56.8 %	31.1 %	47.6 %	50.6 %
2030	67.7 %	52.1 %	13.9 %	36.8 %	42.3 %

diesel	PERUS	KEHITYS	SÄHKÖMAX	KAASUMAX	WAM
2015	36.6 %	36.6 %	36.6 %	36.6 %	36.6 %
2020	34.4 %	33.9 %	32.4 %	33.9 %	33.9 %
2025	32.2 %	31.3 %	29.4 %	31.3 %	31.3 %
2030	30.0 %	28.7 %	27.0 %	28.7 %	28.7 %

bens+dies	PERUS	KEHITYS	SÄHKÖMAX	KAASUMAX	WAM
2015	99.3 %	99.5 %	99.5 %	99.5 %	99.5 %
2020	98.9 %	95.1 %	80.1 %	92.0 %	92.6 %
2025	98.4 %	88.1 %	60.5 %	78.9 %	82.0 %
2030	97.7 %	80.8 %	40.9 %	65.6 %	71.0 %

"uudet"	PERUS	KEHITYS	SÄHKÖMAX	KAASUMAX	WAM
2015	0.7 %	0.5 %	0.5 %	0.5 %	0.5 %
2020	1.1 %	4.9 %	19.9 %	8.0 %	7.4 %
2025	1.6 %	11.9 %	39.5 %	21.1 %	18.0 %
2030	2.3 %	19.2 %	59.1 %	34.4 %	29.0 %

kaasu	PERUS	KEHITYS	SÄHKÖMAX	KAASUMAX	WAM
2015	0.1 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %	0.2 %
2020	0.1 %	1.9 %	1.9 %	5.0 %	0.9 %
2025	0.0 %	2.9 %	2.9 %	12.1 %	3.0 %
2030	0.0 %	3.9 %	3.9 %	19.2 %	5.0 %

BEV	PERUS	KEHITYS	SÄHKÖMAX	KAASUMAX	WAM
2015	0.2 %	0.3 %	0.3 %	0.3 %	0.3 %
2020	0.4 %	1.5 %	11.0 %	1.5 %	5.0 %
2025	0.5 %	6.1 %	24.5 %	6.1 %	12.2 %
2030	0.7 %	10.6 %	38.0 %	10.6 %	19.4 %

PHEV	PERUS	KEHITYS	SÄHKÖMAX	KAASUMAX	WAM
2015	0.4 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
2020	0.7 %	1.5 %	7.0 %	1.5 %	1.5 %
2025	1.0 %	2.9 %	12.1 %	2.9 %	2.9 %
2030	1.6 %	4.6 %	17.2 %	4.6 %	4.6 %

Taulukko 7.3: Polttoainemäärät vuonna 2030 eri tarkasteluvaihtoehdoissa.

Polttoaineet					
Henkilöautot	PERUS	KEHITYS	SÄHKÖ	KAASU	WAM
Fossiilinen bensiini l/a	1 213 390 921	1 119 343 183	886 261 847	1 025 603 778	1 047 475 477
Fossiilinen diesel l/a	803 356 823	801 227 266	798 677 049	801 227 324	801 227 266
Uusiutuva diesel l/a	172 988 706	172 530 144	171 981 000	172 530 156	172 530 144
Etanoli l/a	110 276 015	101 875 237	81 055 335	93 502 000	95 455 681
Metaanikaasu kg/a	656 018	21 971 477	10 440 778	94 224 550	22 079 471
Sähkö kWh/a	81 267 969	463 574 890	1 877 226 606	463 574 048	817 657 847
Vety kg/a	0	0	0	0	0
Pakettiautot					
Fossiilinen bensiini l/a	7 514 284	10 690 175	1 775 031	22 158 674	11 638 421
Fossiilinen diesel l/a	283 174 945	272 918 680	254 217 863	224 381 195	271 890 171
Uusiutuva diesel l/a	60 976 724	58 768 219	54 741 328	48 316 528	58 546 747
Etanoli l/a	671 211	954 896	158 554	1 979 315	1 039 598
Metaanikaasu kg/a	53 403	6 642 966	3 318 109	55 498 693	6 636 219
Sähkö kWh/a	0	14 770 291.93	201 840 313	14 770 292	14 770 292
Vety kg/a	0	0	0	0	0
Linja-autot					
Fossiilinen bensiini l/a	0	0	0	0	0
Fossiilinen diesel l/a	156 349 788	139 289 224	131 789 410	126 782 701	139 782 788
Uusiutuva diesel l/a	33 667 166	29 993 475	28 378 522	27 300 416	30 099 755
Etanoli l/a	0	0	0	0	0
Metaanikaasu kg/a	2 655 041	5 362 906	2 346 757	28 336 080	4 693 514
Sähkö kWh/a	2 270 538	60 555 239	80 983 478	59 665 715	53 891 134
Vety kg/a	0	0	0	0	0
Kuorma-autot					
Fossiilinen bensiini l/a	0	0	0	0	0
Fossiilinen diesel l/a	1 145 346 056	1 131 198 943	1 062 937 694	1 029 825 718	1 131 198 943
Uusiutuva diesel l/a	246 630 049	243 583 718	228 884 863	221 754 784	243 583 718
Etanoli l/a	0	0	0	0	0
Metaanikaasu kg/a	54 065	13 644 595	9 614 451	119 322 340	13 644 595
Sähkö kWh/a	0	4 669 928	219 449 018	4 669 928	4 669 928
Vety kg/a	0	0	0	0	0
Yhteensä	PERUS	KEHITYS	SÄHKÖ	KAASU	WAM
Fossiilinen bensiini l/a	1 220 905 205	1 130 033 358	888 036 878	1 047 762 452	1 059 113 899
Fossiilinen diesel l/a	2 388 227 613	2 344 634 112	2 247 622 016	2 182 216 938	2 344 099 167
Uusiutuva diesel l/a	514 262 646	504 875 555	483 985 713	469 901 885	504 760 364
Etanoli l/a	110 947 226	102 830 132	81 213 889	95 481 315	96 495 279
Metaanikaasu kg/a	3 418 527	47 621 944	25 720 096	297 381 663	47 053 799
Sähkö kWh/a	83 538 506	543 570 349	2 379 499 415	542 679 982	890 989 202
Vety kg/a	0	0	0	0	0

Taulukko 7.4: Polttoainemäärät energiana (toe) eri tarkasteluvaihtoehdoissa.

Polttoaineet energiana eri skenaarioissa 2030						
Henkilöautot	PERUS	PERUS+	KEHITYS+	SÄHKÖMAX+	KAASUMAX+	WAM+
Fossiilinen bensiini toe/a	933 199	922 001	850 538	673 430	779 310	795 929
Fossiilinen diesel toe/a	688 844	456 015	487 096	569 779	545 492	504 958
Uusiutuva diesel toe/a	141 306	373 457	340 271	255 199	282 045	322 461
Etanoli toe/a	56 102	67 586	62 422	49 624	57 275	58 476
Metaanikaasu toe/a	1 059	0	0	0	0	0
Biokaasu toe/a	0	1 059	35 483	16 862	152 170	35 658
Sähkö toe/a	6 989	6 989	39 867	161 441	39 867	70 319
Vety toe/a	0	0	0	0	0	0
yhteensä	1 827 500	1 827 106	1 815 677	1 726 336	1 856 159	1 787 800
Pakettiautot						
Fossiilinen bensiini toe/a	5 779	5 710	8 123	1 349	16 837	8 844
Fossiilinen diesel toe/a	242 810	160 740	165 917	181 360	152 763	171 354
Uusiutuva diesel toe/a	49 809	131 640	115 905	81 230	78 986	109 424
Etanoli toe/a	341	413	587	97	1 217	639
Metaanikaasu toe/a	86	0	0	0	0	0
Biokaasu toe/a	0	86	10 728	5 359	89 629	10 717
Sähkö toe/a	0	0	1 270	17 358	1 270	1 270
Vety toe/a	0	0	0	0	0	0
yhteensä	298 826	298 589	302 531	286 753	340 702	302 248
Linja-autot						
Fossiilinen bensiini toe/a	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen diesel toe/a	134 063	88 750	84 679	94 019	86 316	88 095
Uusiutuva diesel toe/a	27 501	72 682	59 154	42 110	44 630	56 257
Etanoli toe/a	0	0	0	0	0	0
Metaanikaasu toe/a	4 288	0	0	0	0	0
Biokaasu toe/a	0	4 288	8 661	3 790	45 762	7 580
Sähkö toe/a	195	0	5 208	6 965	5 131	4 635
Vety toe/a	0	0	0	0	0	0
yhteensä	166 047	165 720	157 702	146 884	181 839	156 567
Kuorma-autot						
Fossiilinen bensiini toe/a	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen diesel toe/a	982 085	650 140	687 698	758 304	701 127	712 916
Uusiutuva diesel toe/a	201 460	532 437	480 406	339 638	362 515	455 261
Etanoli toe/a	0	0	0	0	0	0
Metaanikaasu toe/a	87	0	0	0	0	0
Biokaasu toe/a	0	87	22 036	15 527	192 702	22 036
Sähkö toe/a	0	0	402	18 873	402	402
Vety toe/a	0	0	0	0	0	0
yhteensä	1 183 633	1 182 665	1 190 541	1 132 342	1 256 746	1 190 614
Kaikki autot yhteensä	3 476 006	3 474 080	3 466 451	3 292 315	3 635 446	3 437 229

	PERUS	PERUS+	KEHITYS+	SÄHKÖMAX+	KAASUMAX+	WAM+
Fossiilinen bensiini toe/a	938 978	927 711	858 661	675 773	796 147	804 773
Fossiilinen diesel toe/a	2 047 802	1 355 645	1 425 389	1 603 293	1 485 698	1 477 323
Uusiutuva diesel toe/a	420 077	1 110 216	995 736	718 101	768 175	943 402
Etanoli toe/a	56 443	67 998	63 009	49 793	58 491	59 115
Metaanikaasu toe/a	5 521	0	0	0	0	0
Biokaasu toe/a	0	5 521	76 908	72 374	480 263	75 991
Sähkö toe/a	7 184	6 989	46 747	205 159	46 670	76 625
Vety toe/a	0	0	0	0	0	0
Nestemäiset biot toe/a	476 520	1 178 214	1 058 745	767 894	826 667	1 002 517
Uusiutuvat yhteensä (diesel, etanoli, biokaasu, sähkö)	483 705	1 190 724	1 182 400	1 045 427	1 353 600	1 155 133
Uusiutuvien osuus (%)	13,9 %	34,3 %	34,1 %	31,4 %	37,2 %	33,6 %

Bio-osuus dieselissä (%)	18 %	46 %	42 %	32 %	35 %	40 %
Etanoli bensiinissä (%)	8,3 %	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %
Sähkö uusiutuvissa (%)	1,5 %	0,6 %	4,0 %	19,6 %	3,4 %	6,6 %

Kaasu koko energiasta (%)	0,5 %	0,5 %	6,5 %	6,4 %	38,2 %	6,4 %
Sähkö koko energiasta (%)	0,6 %	0,6 %	3,9 %	18,0 %	3,7 %	6,4 %

Taulukko 7.5 esittää hiilidioksidipäästöt eri tarkasteluvaihtoehtoissa ilman biopolttoaineiden käytön lisäystä. Siitä nähdään, että perusura päättyy -21,4 % tasolle vuonna 2030, ja tavoiteltaessa tasoa -40 % tarvitaan vielä 2,2 milj. tonnin päästövähennys. Vastaavasti nähdään, että ”sähkömax”-skenaario vähentää tehokkaasti henkilöautojen päästöjä, vieden ne jo lähes riittävän pieniksi, mutta silti raskaasta liikenteestä pitää voida vähentää vielä yli 1,2 milj. tonnia CO₂:ta.

Taulukko 7.5: Hiilidioksidipäästöt vuonna 2030 eri tarkasteluvaihtoehtoissa.

	CO ₂ päästöt (tonnia) vuonna 2030				
	PERUS	KEHITYS	SÄHKÖMAX	KAASUMAX	WAM
Henkilöautot, bensiini	2 851 469	2 630 456	2 082 715	2 410 169	2 461 567
Henkilöautot, diesel	2 136 929	2 131 265	2 124 481	2 131 265	2 131 265
Henkilöautot, FFV	0	0	0	0	0
Henkilöautot, GAS	1 837	61 520	29 234	263 829	61 823
Henkilöautot, PHEV	0	0	0	0	0
Henkilöautot, BEV	0	0	0	0	0
Henkilöautot, FCEV	0	0	0	0	0
Henkilöautot, yhteensä	4 990 235	4 823 241	4 236 430	4 805 262	4 654 654
vähennys 2005...2030	-29.3 %	-31.7 %	-40.0 %	-32.0 %	-34.1 %
Pakettiautot, bensiini	17 659	25 122	4 171	52 073	27 350
Pakettiautot, diesel	753 245	725 964	676 220	596 854	723 228
Pakettiautot, FFV	0	0	0	0	0
Pakettiautot, GAS	150	18 600	9 291	155 396	18 581
Pakettiautot, PHEV	0	0	0	0	0
Pakettiautot, BEV	0	0	0	0	0
Pakettiautot, FCEV	0	0	0	0	0
Pakettiautot, yhteensä	771 053	769 686	689 682	804 323	769 160
Linja-autot, diesel	415 890	370 509	350 560	337 242	371 822
Linja-autot, ED95	0	0	0	0	0
Linja-autot, GAS	7 434	15 016	6 571	79 341	13 142
Linja-autot, PHEV	0	0	0	0	0
Linja-autot, BEV	0	0	0	0	0
Linja-autot, FCEV	0	0	0	0	0
Linja-autot, yhteensä	423 325	385 525	357 131	416 583	384 964
Kuorma-autot, diesel	3 046 621	3 008 989	2 827 414	2 739 336	3 008 989
Kuorma-autot, ED95	0	0	0	0	0
Kuorma-autot, GAS	151	38 205	26 920	334 103	38 205
Kuorma-autot, PHEV	0	0	0	0	0
Kuorma-autot, BEV	0	0	0	0	0
Kuorma-autot, FCEV	0	0	0	0	0
Kuorma-autot, yhteensä	3 046 772	3 047 194	2 854 335	3 073 439	3 047 194
	0	0	0	0	0
Yhteensä	9 231 385	9 025 647	8 137 577	9 099 607	8 855 972
vähennys 2005...2030	-21.3 %	-23.1 %	-30.2 %	-22.5 %	-24.5 %
Tarvittava lisävähennys -40% tavoitteeseen					
Tonnina CO₂	2 191 209	1 980 096	1 154 871	2 057 983	1 813 973

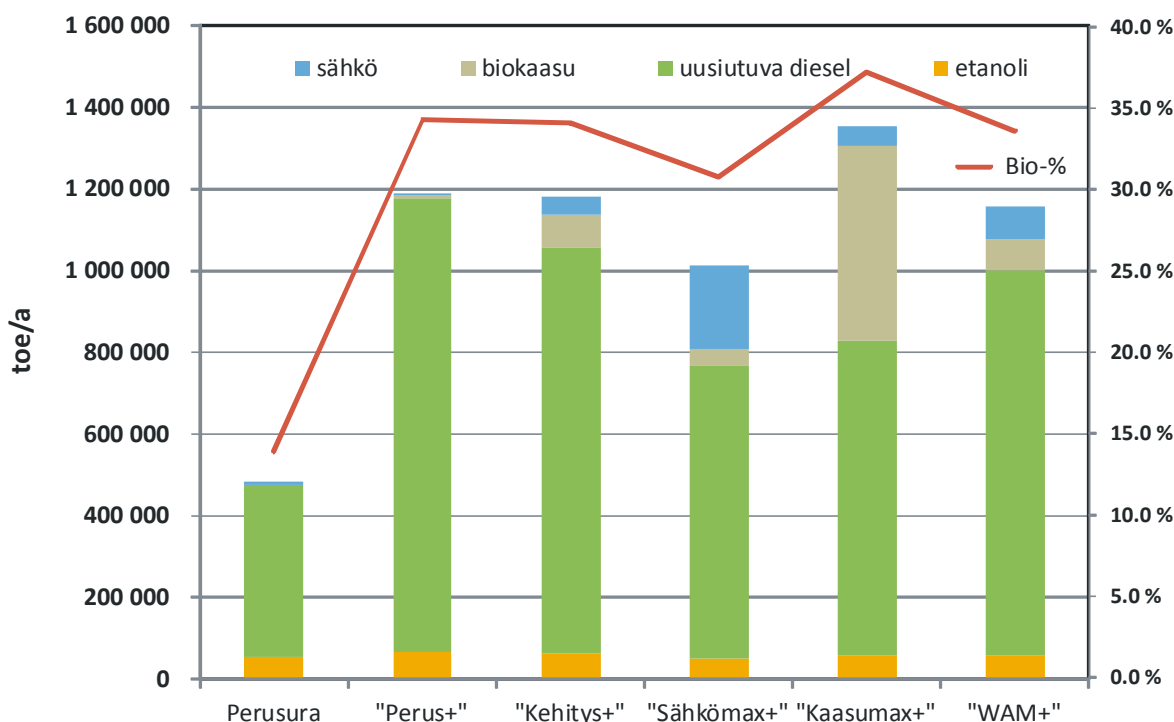
Nämä lisävähennykset on mahdollista saavuttaa kasvattamalla biosekoitteiden osuutta polttoaineissa. Kaasuautoissa on mahdollista käyttää biometaanin fossiilisen maakaasun sijasta,

benssiiniin voidaan sekoittaa enemmän biokomponentteja (muitakin kuin etanolia) ja diesel-poolissa biosisällön kasvattaminen *drop-in* -tuotteilla (parafiininen uusiutuva diesel) on teknisesti mahdollista jopa 100 % tasolle asti.

Taulukossa 7.6 on hahmoteltu, kuinka suuria nämä biosisällön lisäykset olisivat, jotta tavoitteena oleva 40 % CO₂-päästöjen vähenemä saavutettaisiin, ja mitkä olisivat vastaavat bio-osuudet. "Perus+" on siis vaihtoehto, jossa koko päästöjen lisävähennys aikaansaadaan *drop-in* -biopolttoaineiden käytöllä. Vastaavasti kaikille muillekin skenaarioille laskettiin tällainen "+" vaihtoehto, jossa tarvittava 40 % CO₂-päästöjen vähenemä on tehty *drop-in* -biopolttoaineiden käytöllä

Kaikissa tapauksissa 40 %:n päästövähennemän saavuttaminen edellyttää siis biopolttoaineiden käytön lisäämistä. "Sähkömax" -skenaario, jossa on 400.000 + 200.000 sähköautoa, tuottaa noin 30 %:n päästövähennemän ilman biopolttoaineiden käytön lisäystä (9 % lisää perusskenaarioon nähden), ja WAM-skenaario, jossa on 250.000 sähköautoa, vastaavasti noin 25 %:n päästövähennemän (4 % lisää perusskenaarioon nähden).

Kuvassa 7.1 on esitetty eri skenaarioissa tarvittavat biopolttoainemäärät. 40 %:n päästövähennemän saavuttamiseksi tarvittava biopolttoainemäärä on 840.000...1.300.000 toe/a, pienimmillään "sähkömax" -skenaariossa ja suurimmillaan "kaasumax" -skenaariossa.



Kuva 7.1: Eri skenaarioissa tarvittavat biopolttoainemäärät 40 %:n päästövähennemän saavuttamiseksi.

Energian kokonaiskulutus vaihtelee hieman eri skenaarioissa. Sähköautoja sisältävät skenaariot laskevat energian kulutusta hyvän hyötysuhteensa ansiosta. "Sähkömax"-skenaariossa energian kulutus on 4 % alhaisempi kuin perusskenaariossa, kun taas "kaasumax"-skenaario puolestaan lisää energian kulutusta 4 % perusskenaarioon verrattuna. Viimeksi mainittu johtuu siitä, että etenkin raskaiden kaasuautojen energian kulutus on hieman suurempi nestemäisiä polttoaineita käyttäviin autoihin verrattuna (hieman suurempi paino, kaasumoottorin dieselmoottoria huonompi hyötysuhde).

Taulukko 7.6: Polttoainemäärät eri skenaarioissa. Ilman +-merkintää olevat skenaariot näyttävät tilanteen ilman biopolttoaineiden käytön lisäämistä nykyisestä sekoitevelvoitteesta, +-merkinnällä varustetuissa skenaarioissa saavutetaan 40 %:n päästövähennys biopolttoaineiden käyttöä lisäämällä.

Yhteensä	Vuoden 2030 tilanne										2050
	PERUS	PERUS+	KEHITYS	KEHITYS+	SÄHKÖMAX	SÄHKÖMAX+	KAASUMAX	KAASUMAX+	WAM	WAM+	SÄHKÖMAX+
Fossiilinen bensiini toe/a	938 978	927 711	869 090	858 661	682 975	674 779	805 817	796 147	814 547	804 773	86 902
Fossiilinen diesel toe/a	2 047 802	1 355 645	2 010 422	1 425 389	1 927 239	1 603 463	1 871 157	1 485 698	2 009 964	1 477 323	481 730
Uusiutuva diesel toe/a	420 077	1 110 216	412 409	995 736	395 345	718 177	383 841	768 175	412 315	943 402	772 399
Etanoli toe/a	56 443	67 998	52 314	63 009	41 317	49 721	48 575	58 491	49 091	59 115	14 343
Metaanikaasu toe/a	5 521	0	76 908	0	41 537	0	480 263	0	75 991	0	0
Biokaasu toe/a	0	5 521	0	76 908		41 537	0	480 263	0	75 991	219 105
Sähkö toe/a	7 184	6 989	46 747	46 747	204 637	204 637	46 670	46 670	76 625	76 625	900 175
Vety toe/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uusiutuvat yhteensä (diesel, etanoli, biokaasu, sähkö)	483 705	1 190 724	511 470	1 182 400	708 745	1 014 073	479 087	1 353 600	538 031	1 155 133	1 851 723
Uusiutuvien osuus (%)	13.9 %	34.3 %	14.7 %	34.1 %	21.1 %	30.8 %	13.2 %	37.2 %	15.6 %	33.6 %	74.7 %
Energia yhteensä toe/a	3 476 006	3 474 080	3 467 891	3 466 451	3 360 496	3 292 315	3 636 323	3 635 446	3 438 533	3 437 229	2 474 812
Energian kokonaiskulutus (%)	100 %	100 %	100 %	100 %	97 %	95 %	105 %	105 %	99 %	99 %	71 %
CO ₂ -päästöt (tonnia/a)	9 231 385	7 040 175	9 025 647	7 045 551	8 137 577	7 036 101	9 099 607	7 041 624	8 855 972	7 041 999	1 928 896
CO ₂ -päästöjen vähenemä (%) vs. 2005	-21.3 %	-40.0 %	-23.1 %	-40.0 %	-30.7 %	-40.0 %	-22.5 %	-40.0 %	-24.5 %	-40.0 %	-83.6 %
Uusiutuvien polttoaineiden lisätarve, toe	0	690 139		575 659		298 100		348 098		523 326	298 100

Bio-osuus dieselissä (%-energiasta)	17.0 %	46.2 %	17.7 %	42.3 %	17.7 %	32.0 %	17.7 %	35.2 %	17.7 %	40.1 %	57.3 %
Etanoli bensiinissä (%-energiasta)	5.7 %	6.8 %	5.7 %	6.8 %	5.7 %	6.8 %	5.7 %	6.8 %	5.7 %	6.8 %	14.2 %
Sähkö uusiutuviissa (%-energiasta)	1.5 %	0.6 %	9.1 %	4.0 %	28.9 %	20.2 %	9.7 %	3.4 %	14.2 %	6.6 %	48.6 %
Biokaasu koko energiasta (%)	0 %	0.2 %	0 %	2.2 %	0 %	1.3 %	0 %	13.2 %	0 %	2.2 %	8.9 %
Sähkö koko energiasta (%)	0.2 %	0.2 %	1.3 %	3.9 %	6.2 %	6.2 %	1.3 %	1.3 %	2.2 %	2.2 %	36.4 %

Jos oletetaan, että bensiinissä ei ole muuta biokomponenttia kuin etanoli (kaikki bensiini E10, eli etanolin tilavuusosuus 10 %), eri skenaarioissa dieselpolttoaineen bio-osuus on:

- Perus+: 45 %
- Kehitys+: 41 %
- Sähkömax+: 31 %
- Kaasumax+: 34 %
- VAM+: 39 %

"Sähkömax" ja "kaasumax" –skenaariot pienentävät näillä oletuksilla dieselissä tarvittavaa bio-osuutta.

Vetykäsittelyllä tapahtuvan uusiutuvan dieselin tuotannossa syntyy myös bensiinikomponentteja, tyypillisesti 10 %. Lisäksi ns. co-feeding prosessoinnissa (biokomponentit menevät jalostamon syöttöön) bensiinin ja dieselin suhde voi olla lähellä 50/50.

Korkeita bio-osuuksia tavoiteltaessa tulisi varmaankin pyrkiä tasaamaan bensiinin ja dieselin bio-osuuksia. Bensiinin etanolipitoisuuden nosto ja flex-fuel-etanoliautot helpottaisivat tilannetta, samaten bensiiniin sopivat drop-in komponentit. Tiukentuneiden pakokaasumääräysten johdosta FFV-autojen tarjonta on kuitenkin lähes tyrehtynyt, ainakin väliaikaisesti. Toisaalta autoteollisuus viestii, että nykyistä korkeampi, mutta kiinteä etanolipitoisuus voisi olla helpompi ratkaisu.

8. Ajoneuvokatsaus

8.1 Yleistä

Vuoden 2015 raporttiin (joka siis heijasteli vuoden 2014 tilannetta) verrattuna suurimmat muutokset liittyvät toisaalta kohdassa 5.3 käsiteltyyn dieselhenkilöautojen päästöhuijaukseen ja toisaalta sähköautojen tarjonnan voimakkaaseen lisääntymiseen. Useat autonvalmistajat, joukossa mm. Mercedes-Benz ja Volkswagen, ovat ilmoittaneet massiivisista panostuksista sähköautoihin.

Päästöhuijaus näkyy myös Komission vähähiilistä liikennettä koskevassa tiedonannossa (kts. kohta 5.6), jossa yhtenä toimenpiteenä mainitaan:

- *Ajoneuvojen testauksen parantaminen kuluttajien luottamuksen palauttamiseksi*

Henkilöautojen ja pakettiautojen testausmenetelmiä tullaan siis muuttamaan vuonna 2017 (kts. 5.6). Itse tyyppihyväksymiskykli muuttuu, mikä tarkoittaa realistisempia polttoaineenkulutus- ja CO₂ arvoja polttomoottoriautoille, ja jatkossa myös todenmukaisempia arvioita sähköautojen toimintamatkasta.

Hutikuussa 2016 ilmestyneessä Roland Bergerin raportissa ”Integrated Fuels and Vehicles Roadmap to 2030 and beyond”²⁰ on esitetty varsin yksityiskohtaisia arvioita ajoneuvojen voimalinjakäytön hinnoista vuonna 2030. Roland Berger on myös arvioinut CO₂-vähennyskustannuksia eri ajoneuvo- ja polttoainetekniikoilla.

Toukokuussa 2016 hyväksyttiin eurooppalainen parafiinisen dieselpolttoaineen standardi EN 15940. Raskaan kaluston Euro VI päästömääräykset edellyttävät, että moottori sertifioidaan sillä polttoaineella, jolla sitä tullaan käyttämään. Useiden autonvalmistajien sertifioinnit HVO-polttoaineelle ja uusi parafiinisen dieselpolttoaineen Eurooppa-standardi tulevat helpottamaan uusiutuvan dieselpolttoaineen käyttöä raskaassa ajoneuvokalustossa.

Flex-fuel (FFV) etanoliautojen osalta tilanne on, että Euro 6-päästömääräysten tultua voimaan Suomen markkinoilla on enää tarjolla yksi automalli, Volkswagen Golf, josta on tarjolla etanoliversio. Tähän on pääasiallinen syy kiristyneissä pakokaasusäädöksissä, ja E85 polttoaineen jakelun rajoittumisessa lähinnä Ruotsiin. FFV-auto ei myöskään paranna autonvalmistajan tuotannon keskimääräistä CO₂-päästötasetta, joten siihen ei olla halukkaita kohdistamaan kehitystyötä.

Henkilö- ja pakettiautoissa kaasoversioiden tarjonta on edelleen kohtuullista, samaten busseissa.

Vuoden 2015 raportissa raskaiden kaasuautojen osalta todettiin, että Euro VI pakokaasumääräykset täyttäviä kaasuautoja on tarjolla vain kipinäsytytysmoottorilla varustettuina, ja ettei yksinkertaisella imusarjaan suihkuttavalla dual-fuel -tekniikalla pystytä täyttämään Euro VI-päästörajoja liian korkeiden metaanipäästöjen takia. Tiedossa on ollut, että Volvo on kehittämässä suoraruiskutukseen perustuvaa dual-fuel-moottoria. Marraskuussa Ruotsin Trafikverketin edustaja Magnus Lindgren informoi, että Euro VI määräykset täyttävän moottorin toimitukset alkavat 2017. Lindgrenin mukaan:

“Last week I was in contact with AB Volvo regarding their Euro VI Methane-diesel engine. The engine is intended for a 40 tonne heavy duty truck (would also work in a 60 tonne truck). The truck is already in development and a pre-series is intended late 2017. Full production for 2018. According to the information I’ve seen, the engine would have a gas ratio of more than 90 % (the engine must have gas in order to run, thus no diesel only mode).”

”Kaasumax” -skenaariossa on oletettu, että 10 % raskaan kaluston suoritteesta ajetaan metaanilla (biokaasulla). Jotta tämä voisi toteutua, tarvitaan Volvon konseptin mukaisia, korkean hyötysuhteen ja alhaisen päästötason omaavia raskaita kaasumoottoreita. Kipinäsytytysmoottori on polttoainetaloudeltaan liian huono raskaisiin kuorma-autoihin. ”Kaasumax” -ske-

naariossa on suurin kokonaisenergiankulutus, koska kaasuhenkilöautojen energian kulutus on hieman vastaavia bensiiniautoja korkeampi (lähinnä seurausta hieman suuremmasta massasta), ja koska raskaille kaasuautoille oletetaan edelleen dieselautoja huonompi hyötysuhde.

8.2 Arvioita eri ajoneuvotekniikoiden kustannuksista

Kevään 2016 raportissa²⁰ konsulttiyritys Roland Berger esittää varsin yksityiskohtaisia arvioita eri voimalinjaratkaisujen kustannuksista projisoituna vuoteen 2030. Polttomoottoriautojen osalta oletamus on, että autot ovat vähäpäästöisiä kaikissa ajotilanteissa, ts. että Real Driving Emission -vaatimukset ovat tehonneet täysmääräisesti. Bensiinimoottoreissakin on hiukkassuodatin ja dieselmootoreissa optimoitu SCR-järjestelmä.

Roland Bergerin hinta-arviot henkilöautojen osalta on esitetty taulukossa 8.1 ja 8.2, hyötöajoneuvojen osalta taulukossa 8.3. Hyötöajoneuvojen osalta referenssinä on dieselmootorilla varustettu auto.

Taulukko 8.1: Arviot bensiini- ja dieselhenkilöautojen voimalinjaratkaisujen hinnoista 2030. (Roland Berger 2016)

Technology	Comments	Cost assumption
Gasoline ICE conventional > GDI, downsized engine > Fully variable valve train > Advanced thermal management > VCR optional > Optimized automated transmission > Road load reduction measures (tires, aerodynamic, vehicle weight reductions) > Gasoline particulate filter		2030 reference technology (average cost approximately 2.265 EUR)
High ethanol E20 E85/FFV	More robust powertrain components incl. OEM surcharge	9 EUR = 5 EUR x 1.8 180 EUR = 100 EUR x 1.8
Diesel ICE conventional > Common rail direct injection (>2,500 bar) > Partly homogenous combustion > Low and high pressure EGR > High performance SCR aftertreatment > Optimized automated transmission	Diesel powertrain and exhaust aftertreatment components incl. OEM surcharge	1,800 EUR = 1,000 EUR x 1.8

Taulukko 8.2: Arvio vaihtoehtoisten tekniikoiden lisähinnasta henkilöautoissa verrattuna bensiinimoottoriseen voimalinjaan vuonna 2030. (Roland Berger 2016)

Teknologia	Hinta/Lisähinta €	Huom.
Bensiini	2265	Referenssi
Diesel	+1800	Pakokaasun puhdistus nostaa hintaa
Kaasu	+1800...2200	Kaksoispolttoainejärjestelmä + kaasusäiliöt
Mild hybrid	+720	Ns. "42 V järjestelmä"
Full hybrid	+2200	Painotus energiatehokkuuteen
Full hybrid	+3600	Painotus suorituskykyyn
Ladattava hybridi	+3500	Painotus energiatehokkuuteen
Ladattava hybridi	+6500	Painotus suorituskykyyn
Akkusähköauto	+4500	Akku 35 kWh, toimintamatka >200 km, 99 €/kWh
Akkusähköauto	+9800	Akku 65 kWh, toimintamatka >400 km, 99 €/kWh
Polttokennoauto	+12500	Polttoaineena kaasumainen vety, 700 MPa

Roland Bergerin esittämien lukujen valossa bensiinimoottoriin perustuva voimalinja on hämmästyttävän halpa auton valmistajalle, vain noin 2300 €. Moottorin sovittaminen E20-polttoaineelle lisää kustannuksia 9 € (!), ja FFV tekniikkakin vain 180 €. Dieselointi puolestaan lisää kustannuksia merkittävästi, +1800 €. Merkittävin tekijä on tarvittava tehokas, kaikissa ajo-olosuhteissa toimiva pakokaasujen puhdistuslaitteisto.

Kaasukäytön osalta lisähinta henkilöautossa on noin 2000 €, pakettiautossa vain noin 400 € (vertailukohtana on dieselmoottorilla varustettu auto) ja kuorma-autoissa ja busseissa 30.000...40.000 €.

Roland Berger arvioi, että vuonna 2030 sähkökäytön lisähinta on henkilöautoissa 5000...10.000 €, pakettiautoissa noin 10.000 €, keskiraskaassa jakeluautoissa noin 50.000 € ja kaupunkibussissa 100.000 €.

Taulukko 8.3: Arvio vaihtoehtoisten voimalinjaratkaisujen lisäkustannuksista hyötyajoneuvoissa vuonna 2030. (Roland Berger 2016)

Segment	Cost Components	Mild Hybrid	Full Hybrid	Plug-in Hybrid	BEV	CNG	LNG	FCV
Light Commercials (LCV)^{1) II} > Gross vehicle weight < 1.8t	Add. PT cost = Cost of production - ICE conventional PT + OEM surcharge ²⁾	720 EUR = 400 EUR N.A. x 1.8	2,420 EUR = 1,340 EUR N.A. x 1.8	4,100 EUR = 2,280 EUR N.A. x 1.8	9,800 EUR = 8,735 EUR ³⁾ - 3,265 x 1.8	360 EUR = 1,200 EUR ³⁾ - 1,000 EUR ⁴⁾ x 1.8	No LNG version in LCV segment	10,700 EUR = 6,944 EUR - 1,000 EUR x 1.8
Light Commercials (LCV)^{1) III} > Gross vehicle weight ≤ 3.5t	Add. PT cost = Cost of production - ICE conventional PT + R&D surcharge + OEM surcharge	No MH version in LCV III segment ⁵⁾	5,400 EUR = 2,996 EUR N.A. x 1.8	15,900 EUR = 8,838 EUR N.A. x 1.8	13,700 EUR = 10,900 EUR - 3,265 x 1.8	360 EUR = 1,200 EUR ³⁾ - 1,000 EUR ⁴⁾ x 1.8	No LNG version in LCV segment	16,100 EUR = 6,944 EUR - 1,000 EUR x 1.5 x 1.8
Medium Duty Trucks (MDT)⁶⁾ > Gross vehicle weight ≤ 16t	Add. PT cost = Cost of production - ICE conventional PT + R&D surcharge + OEM surcharge	21,600 EUR = 8,000 EUR N.A. x 1.5 x 1.8	No FH version in MD segment	No PHEV version in MD segment	47,300 EUR = 24,500 EUR - 7,000 EUR x 1.5 x 1.8	28,400 EUR = 10,500 EUR N.A. x 1.5 x 1.8	No LNG version in MD segment	54,100 EUR = 27,000 EUR - 7,000 EUR x 1.5 x 1.8

Note: Some figures have been rounded

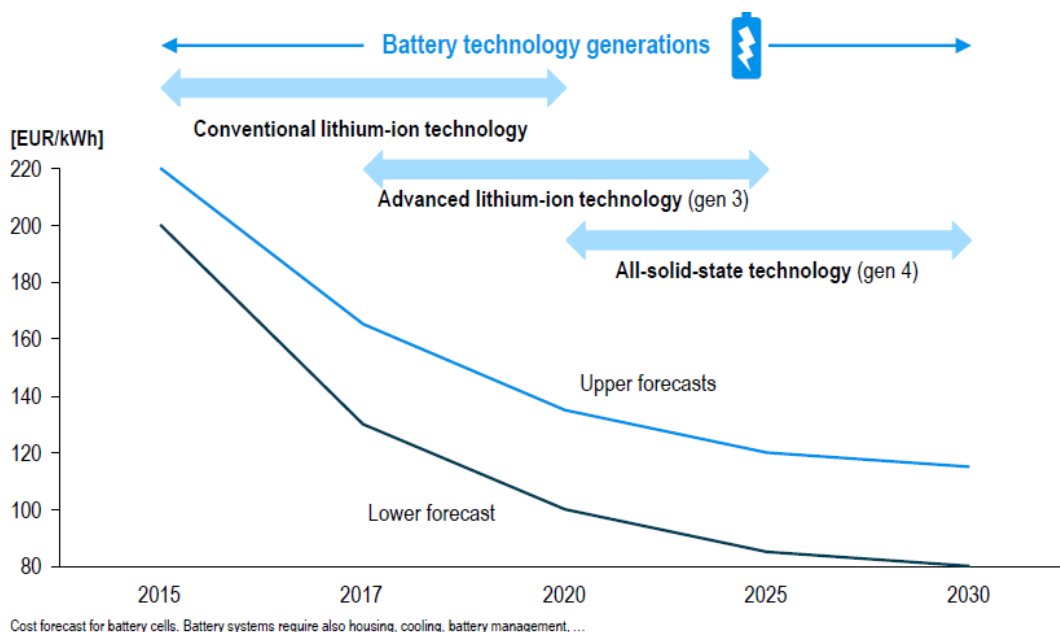
1) LCV costs retrieved from IKA study trend scenario 2) Incl. integration, R&D, SG&A, retail cost 3) Cost assumption based on PC segment 4) Add. comp. cost for Diesel compared to Gasoline ICE 5) Version formerly described as MH now described as FH, as all functions of FH were included 6) MDT costs by coalition feedback

Segment	Cost Components	Mild Hybrid	Full Hybrid	Plug-in Hybrid	BEV	CNG	LNG	FCV
Heavy Duty Trucks (HDT)¹⁾ > Gross vehicle weight > 16t ²⁾	Add. PT cost = Cost of production - ICE conventional PT + R&D surcharge + OEM surcharge	27,000 EUR = 10,000 EUR N.A. x 1.5 x 1.8	No FH version in HD segment	No PHEV version in HD segment	No BEV version in HD LH segment	37,800 EUR = 14,000 EUR ³⁾ N.A. x 1.5 x 1.8	30,000 EUR = 11,100 EUR N.A. x 1.5 x 1.8	72,900 EUR = 37,500 EUR - 10,500 EUR x 1.5 x 1.8
City Bus⁴⁾ > Short distance, public transport	Add. PT cost = Cost of production - ICE conventional PT + R&D surcharge + OEM surcharge	27,000 EUR = 10,000 EUR N.A. x 1.5 x 1.8	No FH version in City Bus segment	No PHEV version in City Bus segment	100,000 EUR = 47,540 EUR - 10,500 EUR x 1.5 x 1.8	37,800 EUR = 14,000 EUR N.A. x 1.5 x 1.8	No LNG version in City Bus segment	72,900 EUR = 37,500 EUR - 10,500 EUR x 1.5 x 1.8
Coach⁴⁾ > Long distance tours	Add. PT cost = Cost of production - ICE conventional PT + R&D surcharge + OEM surcharge	27,000 EUR = 10,000 EUR N.A. x 1.5 x 1.8	No FH version in Coach segment	No PHEV version in Coach segment	No BEV version in Coach segment	No CNG version in Coach segment	No LNG version in Coach segment	No FCV version in Coach segment

Note: Some figures have been rounded

1) HD costs by coalition feedback 2) Incl. some delivery trucks 3) Niche application for utilities delivery 4) Cost assumptions based on HD segment, efficiencies and specific mileage from RB

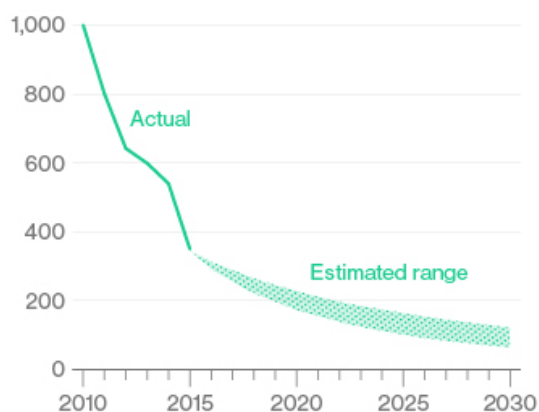
Roland Bergerin hinta-arvio akkujärjestelmille on 99 €/kWh vuonna 2030. Roland Bergerin käsitys akkukennojen hintakehityksestä on kuvassa 8.1. Kuvassa 8.2 on Bloombergin²¹ arvio akkupakettien hintakehityksestä sekä akkukapasiteetin kysynnän kasvusta. Roland Bergerin ja Bloombergin arviot akkupakettien hinnasta vuonna 2030 menevät hyvin yksiin, luokkaa 100 €/kWh tai 100 \$/kWh. Bloomberg kuitenkin arvioi Ronald Bergeristä poiketen, että lyhyen toimintamatkan omaava sähköauto voisi olla samanhintainen polttomoottoriautoin kanssa jo vuonna 2022.



Kuva 8.1: Arvio akkukennojen hintakehityksestä. Huom: Akkukennojen lisäksi akkupaketti vaati koteloinnin, jäähdytyksen/lämmityksen sekä akunhallintajärjestelmän (BMS). (Roland Berger 2016)

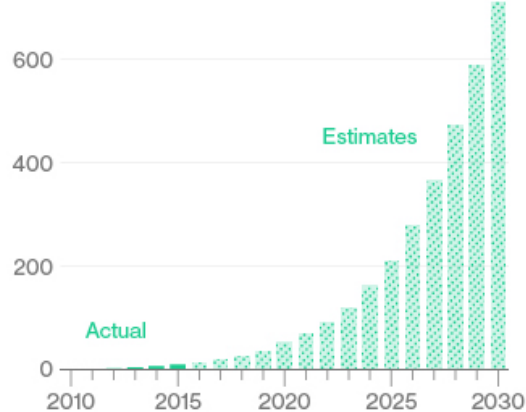
Cost for lithium-ion battery packs

\$1,200 per kilowatt hour



Yearly demand for EV battery power

800 gigawatt hours



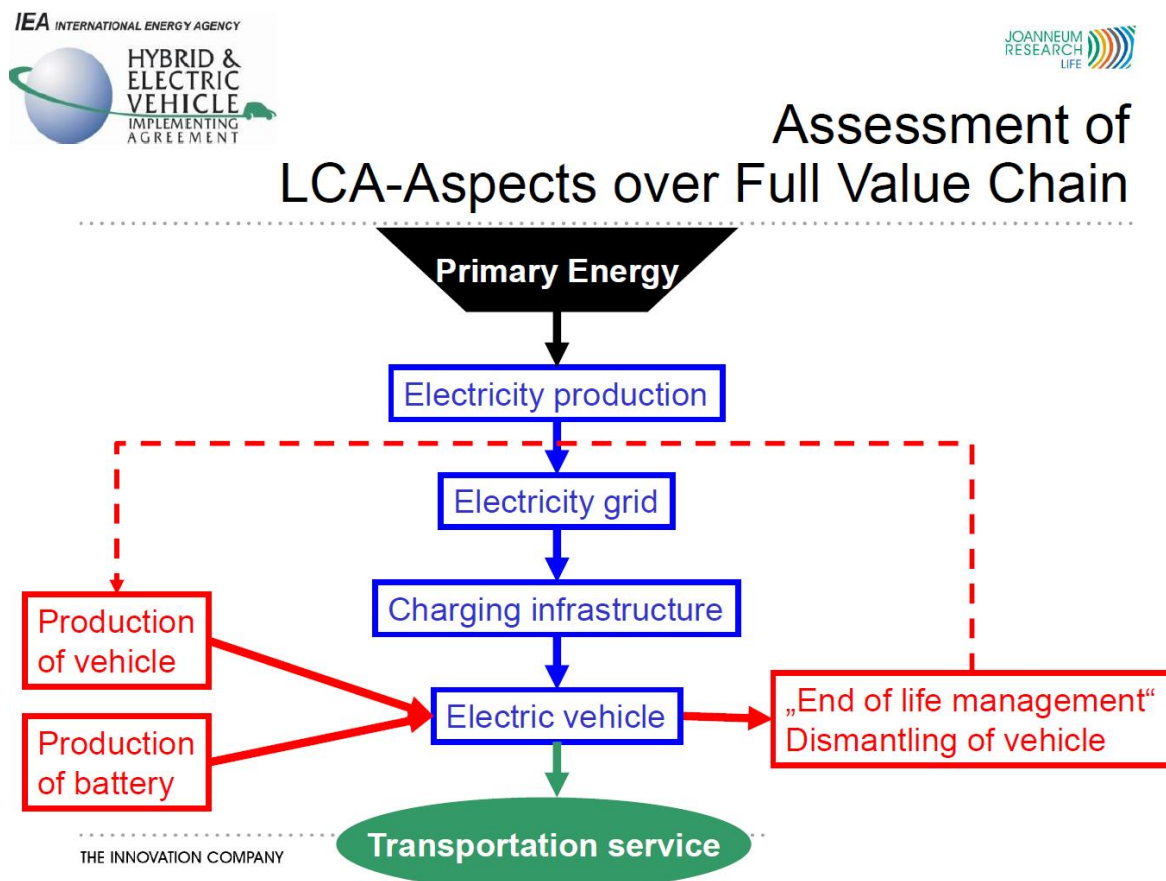
Source: Data compiled by Bloomberg New Energy Finance

Bloomberg 

Kuva 8.2: Arvio akkupakettien hintakehityksestä sekä akkukapasiteetin kysynnän kasvusta. (Bloomberg 2016)

8.3 Arvioita eri tekniikoiden vaikutuksista CO₂ päästöihin ja päästöjen vähennyskustannuksiin

Itävaltalainen Joanneum Research on tehnyt perusteellisia elinkaaritarkasteluja eri käyttövoimavaihtoehdoille. Tätä työtä on tehty mm. IEA:n Hybrid and Electric Vehicle –tutkimussopimuksen puitteissa. Joanneum ei laskelmissaan ole arvioinut pelkästään polttoaineketjuja (fuel cycle, well-to-wheel), vaan on arvioinut myös infrastruktuurista ja ajoneuvojen valmistuksesta ja kierrätyksestä aiheutuvaa energian käyttöä ja päästöjä. Kuvassa 8.3 on esitetty tarkastelukehikko sähköajoneuvojen osalta.



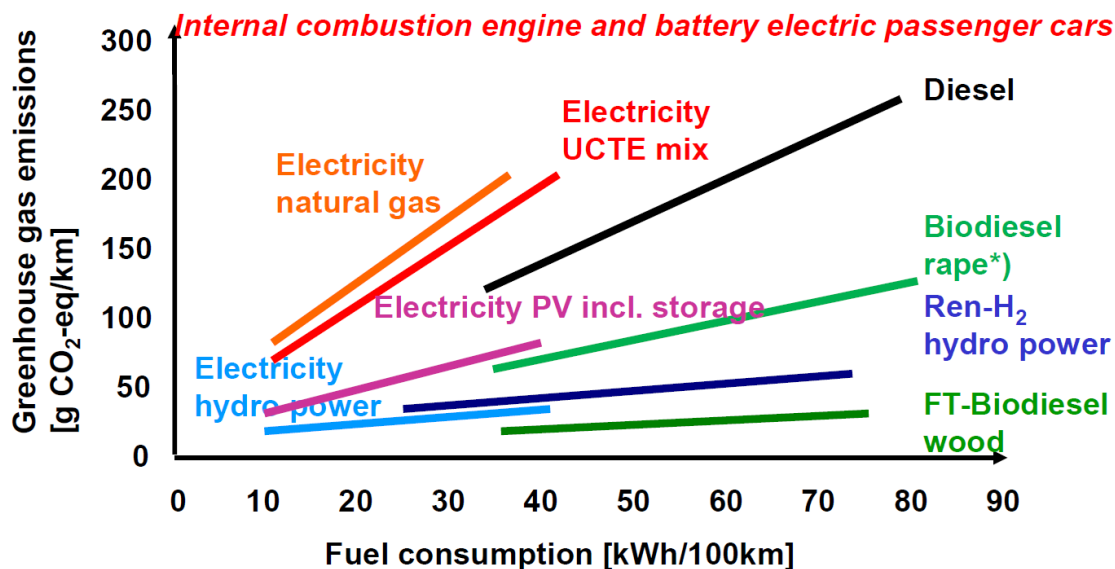
Kuva 8.3: Elinkaaritarkastelu sähköautojen arvoketjulle. (Gerfried Jungmeier 2016)

Kuvassa 8.4 on esitetty vertailu dieselhenkilöautoille ja sähköautoille. Kulutusarvo 40 kWh/100 km vastaa dieselpolttoaineena 4 l/100 km, eli pienen dieselauton kulutusta. Pieni sähköauto kuluttaa tyypillisesti noin 15 kWh/100 km.

Kuvasta nähdään, että puupohjaista uusiutuvaa dieselpolttoainetta käyttävä pieni dieselauto on elinkaaripäästöiltään samalla tasolla kuin vesisähköä käyttävä pieni sähköauto, eli noin 20 g CO_{2ekv}/km. Vesivoimalla tuotettua vetyä käyttävä polttokennoauto on näitä vaihtoehtoja hieman huonompi. Vastaavasti fossiilisia polttoaineita käytettäessä dieselhenkilöauto ja maakaasulla tuotettua sähköä käyttävä sähköauto ovat likimain samanarvoisia.



The 2 Keys: Renewable Energy and Energy Efficiency



Source: LCA of passenger vehicles, Joanneum Research, *) without iLUC

Kuva 8.4: Elinkaarivertailu diesel- ja sähköauton CO_{2ekv} päästöistä. (Gerfried Jungmeier 2016)

Roland Bergerin raportissa on myös arvioitu päästövähennyskustannuksia eri teknologioilla. Kuvassa 8.5 on esimerkki henkilöautoille ja kuvassa 8.6 keskiraskaille ja raskaille hyötyajoneuvoille.

Roland Bergerin mukaan kustannustehokkaimmat päästövähennyskeinot henkilöautojen osalta ovat matalaseosteiset biopolttoaineet ja hybridisointi, kustannus 200 €/tonni CO₂ tai alle. Akkusähköautolla vältetyn CO₂ tonnin hinta on noin 500 €. Tässä pitää ottaa huomioon, että Roland Berger ennustaa hintalisää sähköautolle vielä vuonna 2030. Hintojen tasoittuminen parantaisi sähköautojen kilpailukykyä.

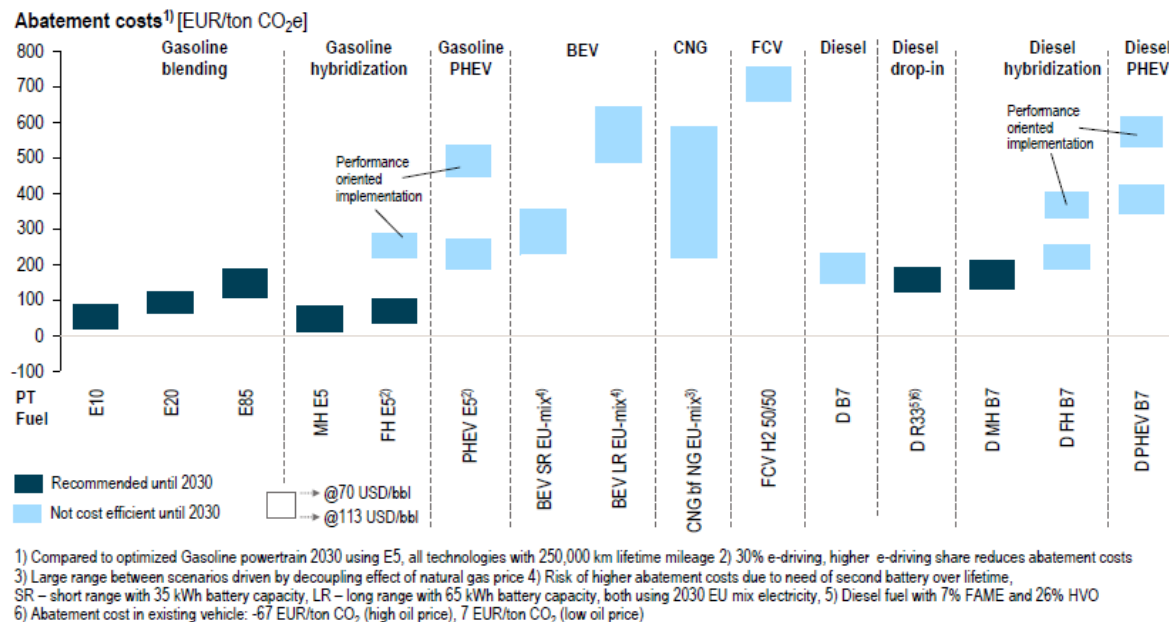
Roland Bergerin selvityksen taustalla olevassa koalitiassa ovat olleet mukana useat autoyhtiöt (BMW, Daimler, Honda, Toyota ja Volkswagen), jolloin arviota voi pitää varsin perusteltuna, kun taas nopeampaa hintaeron kaventumista esittävät pääasiassa markkina-analyytikot, kuten Bloomberg²¹. Silloin on kyse enemmänkin markkinoiden kehityksen ennustamisesta, jolloin autonvalmistajien arvioidaan kaventavan hintaeroa luodakseen lisääntyvää kysyntää, ja tavanomaisista autoista saatava kate riittää vielä pitämään kokonaistuloksen hyväksyttävällä tasolla, vaikka sähköautoa myytäisiinkin tappiolla. Toisaalta, jos tavanomaisille polttomoottoriautoille tulee myyntirajoituksia tai jopa kieltoja, yhtälö ei enää toimi, ja sähköautojen hintaan kohdistuu suurempi paine ylöspäin.

Raskaissa ajoneuvoissa kokonaispainon ja koon nosto, keinot jotka ovat jo käytössä Suomessa ja Ruotsissa (poikkeuksena muuhun Eurooppaan), antavan negatiivisen päästövähennyskustannuksen. Toiseksi paras keino on biopolttoaineiden käyttö, kustannus noin 150 €/tonni CO₂.

Maakaasun käyttö raskaan kaluston päästöjen vähentämiseksi on kallis vaihtoehto, koska maakaasu kipinäsytytteisessä kaasumootorissa ei juurikaan vähennä päästöjä dieselkäyttöön verrattuna. Roland Berger ei tarkastellut biokaasun käyttöä, mutta biokaasu asettuisi kustannusten osalta todennäköisesti hieman nestemäisten biopolttoaineiden yläpuolelle (kalliimmat ajoneuvot, huonompi hyötysuhde). Roland Bergerin selvityksessä on ilmeisesti ole-

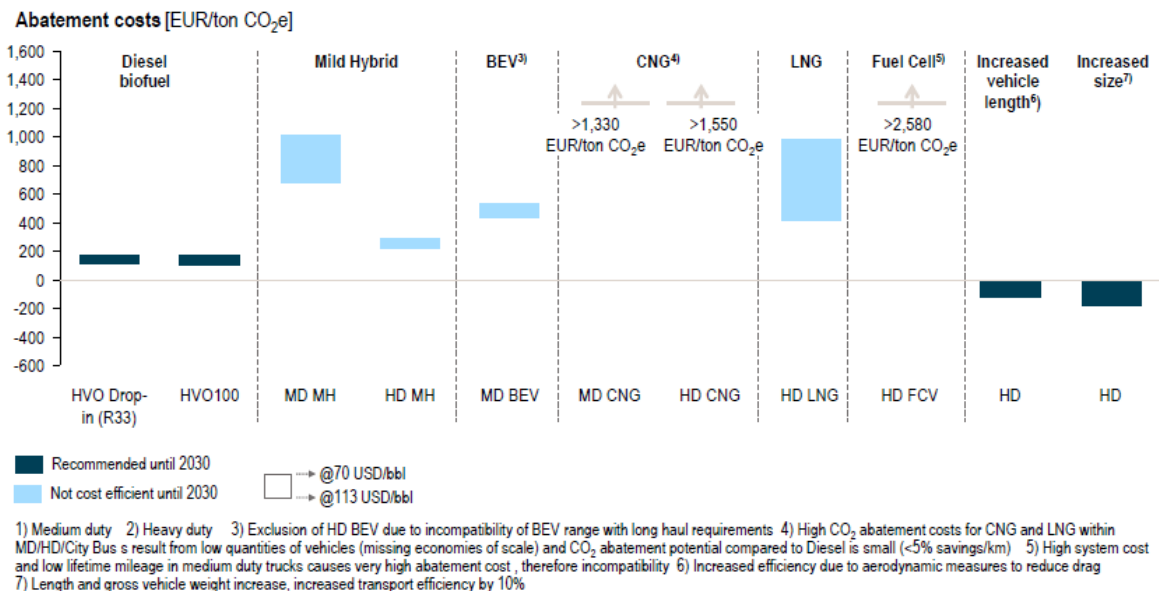
tettu, että paineistettu maakaasu (CNG) käytetään kipinäsytytysmoottoreilla varustetuissa kaasuautoissa.

Nesteytetty maakaasu (LNG) näyttäytyy paineistettua maakaasua parempana vaihtoehtona, LNG:n kohdalla oletamuksena lienee, että käytössä on kipinäsytytteisiä kaasumoottoreita energiatehokkaampia dual-fuel -kaasumoottoreita.



Source: Roland Berger

Kuva 8.5: CO₂ päästöjen vähennyskustannus C-luokan henkilöautolle. (Roland Berger 2016)



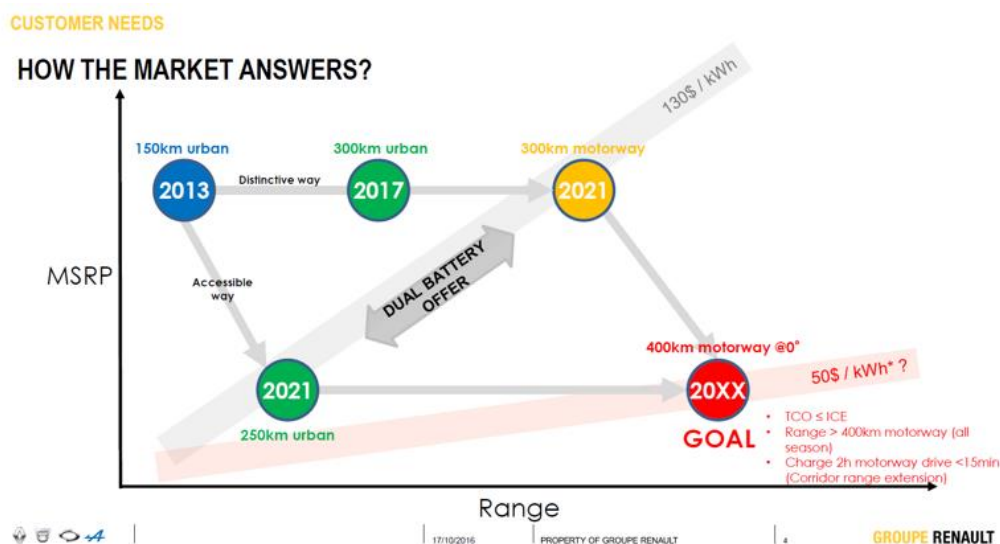
Source: Roland Berger, Expert interviews, IKA CO₂ study

Kuva 8.6: CO₂ päästöjen vähennyskustannus kesiraskaille ja raskaille hyötyajoneuvoille. (Roland Berger 2016)

8.4 Sähköautojen tarjonta ja markkinatilanne

Useat merkittävät autonvalmistajat, joukossa mm. BMW, Mercedes-Benz ja Volkswagen ovat ilmoittaneet massiivisista panostuksista sähköautojen kehitykseen. Esim. Volkswagen ilmoitti kesäkuussa 2016 tuovansa markkinoille yli 30 täyssähköautomallia vuoteen 2025 mennessä. Vuonna 2025 yrityksen tavoitteena on myydä jo 2 - 3 miljoonaa täyssähköautoa vuodessa, ja sähkövaihtoehto ei olisi enää silloin merkittävästi kalliimpi kuin muut. Tavoitteena on, että vuonna 2030 kolmannes yhtiön myymistä autoista olisi sähkömoottorilla varustettuja (Helsingin Sanomat 23.6.2016²²).

Täyssähköautojen toimintamatka on selvässä nousussa. Uudelle Opel Ampera-e täyssähköautolle ilmoitetaan yli 400 km:n NEDC-testisyklillä mitattuna²³. Kuvassa 8.7 on Renaultin näkemys täyssähköautojen toimintamatkan kehitymisestä. Renaultin mukaan täyssähköauton pitäisi kyetä 400 km:n todelliseen toimintamataan moottoritienopeuksilla kaikissa olosuhteissa, jotta täyssähköauto voisi toimia perheen ykkösautona. Jotta täyssähköauto voisi näissä olosuhteissa kilpailla polttomoottoriauton kanssa, akkujen hinnan pitäisi laskea rajusti, tasolle 50 €/kWh, eli noin puoleen nykyennusteesta. Toimintamatkan osalta hyväksyttävyyden minimiarvo kaupunkiajossa on 100 - 150 km.



RANGE EXPECTATIONS: 4 MAIN THRESHOLDS

1. 100-150km urban: minimum for **ACCEPTABILITY**
2. 200-300km urban: daily use **REASSURANCE**
3. 300km motorway: **USE EXTENSION** outside cities, access to "long distance" week-end trips*
4. 400km motorway (all conditions): target to be credible as **1st CAR** by securing long distance trips potential*

* Once achieved, these ranges must be accompanied by very fast charging capability (Compatibility with QC corridor infrastructure deployment → DC 200-350kW announced at the competition by 2025 → Considering 25kWh/100km consumption on motorway, DC 200-350kW = 200-350km refueling in 15min)

Source: ACME, EV survey FR/UK 2015

Kuva 8.7: Renaultin näkemys sähköautojen toimintamatkan kehitymisestä (Guillaume Bertier 2016²⁴).

²² <http://www.hs.fi/autot/art-2000002907769.html>

²³ <http://www.opel.fi/experience-opel/tietoja-opelista/opelin-uutisia/2016/09/opel-uutiset-uusi-opel-ampera-e-mullistaa-sahkoautoilun-toimintamatka-yli-400-kilometria.html>

²⁴ <http://www.a3ps.at/konferenz/eeco-mobility-2016>

Sen lisäksi, että sähköautojen toimintamatkaa pyritään lisäämään, myös latausasemaverkostoa halutaan kehittää. Useat saksalaiset autoyhtiöt (BMW Group, Daimler AG, Ford Motor Company ja Volkswagen Group (ml. Audi & Porsche) julkistivat 29.11.2016 yhteisen aloitteen ultra-nopean latausverkon luomiseksi Euroopan päätieverkolle. Tavoitteena on 400 latausasemaa, teholtaan 350 kW. Verkon rakentamisen on tarkoitus käynnistyä 2017²⁵.

Jo tänä päivänä sähköautojen tarjonta on kohtuullisen runsasta. Taulukossa 8.4 on lueteltu Suomessa marraskuussa 2016 myynnissä olleet sähköautot.

Taulukko 8.4: Suomessa marraskuussa 2016 myynnissä olleet sähköautot. (Helsingin Sanomat 26.11.2016)

10

halvinta

ladattavaa

hybridiautoa

ensirekisteröinnit

tammi-lokakuussa

2016

auto-

verollinen

hinta, euroa

1.	Toyota Prius Plug-In Hybrid	3	40 287
2.	Audi A3 E-Tron	28	40 793
3.	BMW Z25xe	52	41 426
4.	Volkswagen Golf GTE Plug-in Hybrid	45	41 991
5.	BMW i3 60 Ah REX	10	43 585
6.	Kia Optima Plug-In Hybrid	6	43 990
7.	BMW 330e	86	45 884
8.	Mitsubishi Outlander	65	48 490
9.	Volkswagen Passat	114	49 089
10.	Volvo V60 Plug-In Hybrid	19	56 576

10

halvinta

täyssähkö-

autoa

ensirekisteröinnit

tammi-lokakuussa

2016

auto-

verollinen

hinta, euroa

1.	Volkswagen up!	3	29 029
2.	Peugeot iOn	0	31 949
3.	Renault Zoe	1	32 990
4.	Nissan e-NV200	3	33 922
5.	Nissan Leaf	67	34 990
6.	Hyundai IONIQ	0	37 208
7.	BMW i3 94 Ah	8	39 067
8.	Volkswagen e-Golf	4	41 833
9.	Mercedes-Benz B 250 E	3	44 493
10.	Tesla Motors Model S	69	83 155

MP / HS, Lähteen: Trafli, Autotietokanta, Autotietojat ry, mallikohtaiset hinnastot

Sähköautot ovat veroedusta huolimatta vielä polttomoottoriautoja selvästi kalliimpia. Halvin sähköauto, Volkswagen e-up! maksaa verollisena 29.029 €, ja autoveroton hinta sisältäen ALV:n on 27.830 €. Halvimmalle bensiiniversiolle luvut ovat vastaavasti 13.954 € ja 12.050 €²⁶. Sähköversion autoveroton hinta on siis noin 2,3-kertainen bensiiniversioon verrattuna.

Liitteessä 1 on luettelo eri vaihtoehtoautojen (kaasu, sähkö, vety) myyntihhinnoista marraskuussa 2016.

²⁵ <http://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/BMW-Group-Daimler-AG-Ford-Motor-Company-and-Volkswagen-Group.xhtml?oid=14866747>

²⁶ http://www.volkswagen.fi/content/medialib/vwd4/fi/hinnastot/ha-vw-2016-10-18-up--nro-119/_jcr_content/renditions/rendition.file/ha-vw-2016-10-18-up--nro-119.pdf

Pienten pakettiautojen luokkaan sähköautoja tarjoavat mm. Renault/Nissan ja PSA-yhtymä. Nissan NV200 mallin halvimman polttomoottorikäyttöisen version verollinen hinta on 24.466 €, ja e-NV200 sähköautomallin verollinen hinta 33.469 €²⁷.

Sähköbussien tarjonta kasvaa jatkuvasti. Kotimainen sähköbussivalmistaja Linkker Oy toimitti ensimmäiset konversiosähköbussit loppuvuodesta 2015, ja ensimmäiset varsinaiset tuotantoautot 2016. Kuvassa 8.8 Linkker-sähköbussi lataa Espoon Tapiolan pikalatauspisteessä. Sähköisten kaupunkibussien merkitys tieliikenteen CO₂-päästöjen vähentämisessä on kuitenkin rajallinen, koska koko bussiliikenteen osuus tieliikenteen CO₂ päästöistä on tasolla 4 % (katso kuva 4.1).



Kuva 8.8: Kotimainen Linkker sähköbussi pikalatauksessa Espoon Tapiolassa.

Merkittävistä isoista ajoneuvovalmistajista eniten sähkökuorma-autoihin on panostanut Mercedes-Benz ja sen japanilainen tytäryhtiö Mitsubishi Fuso. Kuvassa 8.9 on kaksi prototyyppi-autoa jakeluajoon.

Marraskuussa 2016 Brysselissä pidetyssä seminaarissa Mercedes-Benzin Manfred Schuckert kertoi, että kuorma-autokäyttöön soveltuvan akkupaketin hinta on tasolla 400 €/kWh. Kuvan 8.9 raskaammassa autossa (kokonaispaino 25 t, hyötykuorma 11 t) on 212 kWh akusto, jonka hinnaksi muodostuu noin 85.000 €. Auton toimintamatka on enimmillään 200 km.

Taulukon 8.4 mukaan Suomessa oli tammi-lokakuussa rekisteröity yhteensä 586 sähköautoa, 428 ladattavaa hybridiä ja 158 täyssähköautoa. Samana ajanjaksona henkilöautoja rekisteröitiin arvoilta noin 85.000 kappaletta, joten sähköautojen osuus uusrekisteröinneistä oli vajaa prosentti.

Eurooppalaisten autonvalmistajien järjestö ACEA ylläpitää tilastoja autojen rekisteröinneistä EU:ssa, ml. vaihtoehtotekniikkaa hyödyntävät autot. Vuosien 2014 ja 2015 rekisteröinnit vaihtoehtoisille henkilöautoille on esitetty taulukossa 8.5. Sähköautojen rekisteröintiluvut ovat kovassa nousussa (109 % vuodesta 2014 vuoteen 2015), mutta osuus on kuitenkin vielä kovin vaatimaton, noin 1 % vuoden 2015 ensirekisteröinneistä. Kaasuautojen suosio näyttäisi lisäksi olevan lievässä laskussa.

²⁷ https://www.nissan.fi/mallisto/hyotyajoneuvot.html?&cid=psmoEpMsiS1_dc|D

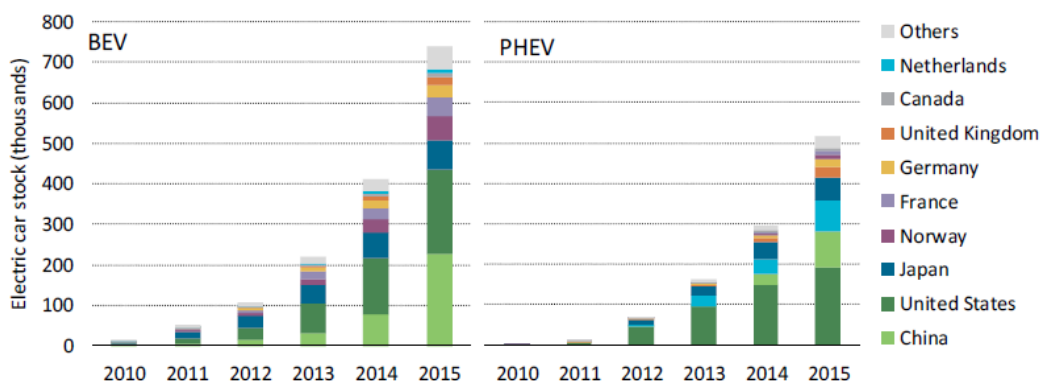
Fuso eCanter for LD distribution  Permanent magnet engine, 400 V ▪ P_{max}: 110 kW ▪ Max. torque: 650 Nm ▪ Battery capacity: 48.4 kWh ▪ Range: 100 km ▪ Chassis: 7.5 t ▪ Payload: 2 t	Mercedes-Benz Urban eTruck for HD distribution  HV Electric Drive ZF AVE 130-400 VAC modified ▪ P_{Peak} 2 x 125 kW / P_{Cont} 2 x 60 kW ▪ Max. torque: M_{max} 2 x 500 Nm ▪ Battery capacity: 212 kWh ▪ Range: up to 200 km ▪ Chassis: 25t ▪ Payload: 11 t
---	---

Kuva 8.9: Mitsubishi Fuso ja Mercedes-Benz jakeluajoon tarkoitetut sähkökuorma-autot. (Manfred Schuckert²⁸)

Taulukko 8.5: Vaihtoehtoisten henkilöautojen rekisteröinnit EU:ssa. Vuonna 2015 EU:ssa rekisteröitiin yhteensä 14,4 miljoonaa uutta henkilöautoa. (<http://www.acea.be/statistics>)

	EVs BEV + PHEV	HEVs	Gaseous fuels
2014	69 996	176 525	238 666
2015	146 161	217 261	218 713
Change	+109 %	+23 %	-8 %
Total share*)	1.0	1.5	1.5

Kansainvälisen energijärjestön IEA:n ”Electric Vehicle Initiative” seuraa sähköautojen yleistymistä maailmanlaajuisesti. Vuoden 2016 Global EV Outlook²⁹ julkaisussa todetaan, että maailman sähköautokanta on saavuttanut 1 miljoonan kappaleen rajapyykin. Kuvassa 8.10 on esitetty sähköautomäärien kehittyminen. Maailman sähköautokanta vuoden 2015 lopulla oli 1,26 miljoonaa yksikköä, ja suhteellinen osuus maailman autokannasta 0,15 %.



Note: the EV stock shown here is primarily estimated on the basis of cumulative sales since 2005.

Kuva 8.10: Maailman sähköautokannan kehittyminen. (Global EV Outlook 2016)

²⁸https://www.iea.org/media/workshops/2016/thefutureroleoftrucks/5_Schuckert_Daimler_IEA.pdf

²⁹https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf

9. Arvioit edistyksellisten bio- ja uusiutuvien liikennepolttoainesten tuotantomahdollisuuksista

9.1 Yleistä

Suomessa liikenteen biopolttoaineita valmistavat nykyisin Neste Oy sekä Porvoon että Naantalissa jalostamoilla, UPM-Kymmene Oy Lappeenrannassa sekä St1 Biofuels Oy useilla pienemmillä etanolitehtailla eri puolilla Suomea. Lisäksi liikennebiokaasun tuotantoa on useilla eri paikkakunnilla. Pääosa puhdistetusta ja konsentroidusta metaanista johdetaan maakaasuverkon kautta jakeluun, mutta kaasuverkon ulkopuolella on myös erillisiä biokaasun tuottajia ja jakelijoita. Yhteenlaskettu kotimainen tuotanto (eri toimijoiden valmistamia eri liikennepolttoaineita tai niiden komponentteja) on yhteensä noin 510 000 toe/a.

Seuraavissa kappaleissa on tarkasteltu kotimaisten biopolttoaineiden tuotantomahdollisuuksia vuoteen 2030 mennessä. Niin raaka-aineita kuin valmiita biopolttoaineita voidaan tuoda myös ulkomailta. Pääpaino on suurimmat tuotantovolymit mahdollistavissa biotalouden sivuvirtojen jäte- ja puupohjaisissa *drop-in* -tuotteissa. Yhdyskunta- ja maatalousjätepohjaiset raaka-aineet tarjoavat suuret biokaasun tuotantomahdollisuudet, ja useita mädätyslaitoksia on toiminnassa sekä suunnitteilla. Laajamittaista käyttöä on rajoittanut toistaiseksi kaasuautojen luoma pieni kysyntä sekä nykyisen maakaasuputken alueella sijoittuvien investointikohteiden rajallisuus sekä paineistetun, puhdistetun liikennekaasun tuotantokustannukset. Määtyskaasun lisäksi suurimittaista metaanin tuotantomahdollisuutta on tarkasteltu puusta termisellä kaasutuksella valmistettuna synteettisenä maakaasuna (SNG) sekä uusituvan sähkön ja konsentroidun CO₂-kaasuvirran jalostamisena metaaniksi ns. power-to-gas (P2G) menetelmällä.

EU:n Komissio käynnisti edistysellisten biopolttoainoiden tuotantolaitosten kaupallistamiseksi uuden NER300 riskirahoitusjärjestelyn tukemaan v. 2020 tavoitteita³⁰. Sen ensimmäiselle ja toiselle hakukierrokselle tuli 14 investointihanketta, joille myönnettiin yhteensä 937 milj. euron tuki³¹. Näistä on nykykäsityksen mukaan toteutumassa vain 2-3 hanketta, ja useimmissa tapauksissa epäselvä vuoden 2020 jälkeinen regulaatiopolitiikka on ollut eräs epävarmuuden aihe ja osasy syy hankkeiden pysäyttämiseen tai siirtämiseen. On mahdollista, että seuraava vastaava rahoitusinstrumentti NER400 käynnistyisi v. 2020. Vastaavien päästökaupparahoituksella toimivien cleantech-rahastojen perustamisesta keskustellaan useassa maassa uusien innovatiivisten vähähiilisten ja energiatehokkaiden investointien tarvitsemalle riskirahoitukselle.

Suomessa TEM on myöntänyt investointiavustuksia alan investointihankkeille. Keväällä 2016 jätettiin TEM:lle investointiavustushakemuksia uusiutuvan energian ja uuden energiateknologian hankkeisiin 17 kpl investointien kokonaisarvon ollessa yli 2.200 milj.euroa. Rahoitusta oli varattu 50 M€ tammikuussa 2017 järjestettävään hakukierrokseen. Hakemuksista v. 2016 yksi hanke liittyi uusiutuvaan dieseliin, tuotantomäärä n. 200 000 toe/a, kymmenen hanketta biokaasuun sekä seitsemän hanketta etanolin tuotantoon, yhteismäärältään yli 200.000 toe/a.³²

EU-regulaatio on kehittymässä edistysellisten uusiutuvien liikennepolttoainneiden osalta kohti vuotta 2030, Komissio antoi ns. kesäpaketin 2016 ja talvipaketti julkistettiin 30.11.2016, sisältäen uuden RED II -direktiiviehdotuksen. Polttoainetuotantoon investoijan kannalta tilanne elää edelleen kuvan 9.1 mukaisesti³³, joka on omiaan siirtämään isoja investointeja eteenpäin kunnes lopulliset viranomaispäätökset on tehty niin Euroopan kuin jäsenmaiden tasolla.

³⁰ http://ec.europa.eu/clima/policies/lowcarbon/ner300/index_en.htm

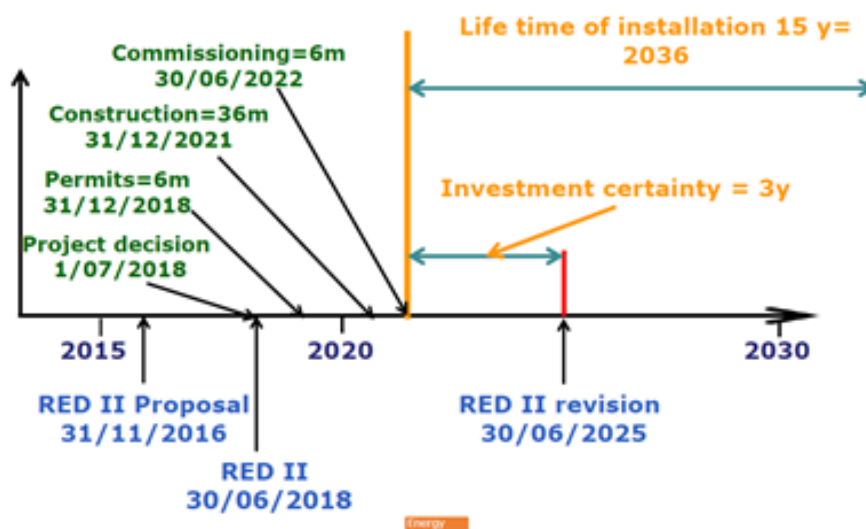
³¹ http://ec.europa.eu/clima/news/docs/c_2012_9432_en.pdf

32 TEM 18.2.2016

http://www.tem.fi/files/45008/Investointitukihakemukset_uusiutuva_energian_ja_uuden_energiateknologian_hankeiksi.pdf

³³ K.Maniatis, Decarbonising transport with Advanced Biofuels, What does it take? EBTP stakeholders plenary meeting, Brussels, 2016. <http://www.biofuelsto.eu/spm7/spm7.html>

Time to construct an advanced biofuel plant



Kuva 9.1: Säädösten lyhyt aikajänne luo epävarmuutta joka voi siirtää isoja investointeja Euroopassa.

Euroopassa ovat laajassa tuotannossa etanolin valmistus viljasta sekä rypsidieselin tuotanto öljykasveista, jotka molemmat ovat ns. ensimmäisen sukupolven tuotteita, joille Komissio on kestävyysyysistä asettamassa käytön rajoitteita. Neste Oy ja UPM-Kymmene Oy ovat kehittäneet kasviöljyjen, eläinrasvojen ja eri jätevirtojen ns. termistä vedytystekniikkaa edistyksellisten, uusiutuvien *drop-in* -dieselin ja bensiinin valmistukseen. Tuotantolaitokset ovat Sköldvikissä ja Lappeenrannassa. Neste Oy:n Naantalin jalostamossa harjoitetaan myös biopolttoaineiden tuotantoa jalostamon oheissyöttönä, ts. biораaka-aine korvaa raakaöljyä. Näiden tuotantomäärien odotetaan kasvavan niin Suomessa kuin Euroopassakin. Myös jättepohjaisen etanolin ja biokaasun valmistus ja käyttö etenevät voimakkaasti.

Laajamittainen, synteettisten liikennepolttoaineiden tuottamiseen soveltuva tekniikka kehitettiin pääosin Saksassa jo 1920-luvulla. Alun perin raaka-aineena käytettiin helposti saatavilla ollutta kivi- ja ruskohiiltä, josta synteettisiä polttoaineita tuotettiin mm. kaasuttamalla eli muuntamalla kiinteä polttoaine ensin häkää (CO) ja vetyä (H₂) sisältäväksi kaasuseokseksi (synteesikaasu) ja muuntamalla kaasuseos katalyyttien avulla erilaisiksi nestemäisiksi lopputuotteiksi. Maakaasu syrjäytti kivihiilen synteesikaasun raaka-aineena Euroopassa ja Yhdysvalloissa 1950-luvulla, mutta kivihiiltä kaasutetaan edelleen merkittävässä määrin Aasiassa, etenkin Kiinassa, kemikaalien valmistukseen.

Suomessa kehitettiin 1980-luvulla saksalaisen ruskohiiliteknologian pohjalta ratkaisu synteesikaasun valmistamiseen turpeesta. Kehitystyön näkyvin tulos oli Ouluun rakennettu turveammoniakkitehdas, joka oli kaupallisessa toiminnassa 1990-luvun alkuun asti. Ilmastonmuutoksen hillintätarpeet synnyttivät 2000-luvulla kysynnän uusiutuvista raaka-aineista, kuten metsätähteistä, tuotetuille synteesikaasutuotteille. Synteettisten biopolttoaineiden tuottamiseen soveltuva tekniikka demonstroitui Suomessa esikaupallisessa kokoluokassa NSE Biofuels –konsortion toimesta 2009 - 2011. Lisäksi suomalaiset toimijat ovat kehittäneet vastaavaa teknologiaa myös Yhdysvalloissa.³⁴

Synteettisten *drop-in* -polttoaineiden kehitystä ohjaa tällä hetkellä myös öljyntuotantokenttien soihutukaasujen ja Yhdysvalloissa etenkin liuskekaasun jalostaminen liikennepolttoaineiksi. Näiden sovellusten suuruusluokka on perinteistä jalostamokokoluokkaa pienempi, ja luo siten teknologisia valmiuksia ja kilpailukykyä myös vastaavan kokoisten biomassapohjaisten laitosten kaupallistamiseen. Täysin uusina biomassalähteinä leväpohjaisia liikennepolttoaineiden tuotantoratkaisuja kehitetään voimakkaasti.

³⁴ I. Hannula, E. Kurkela, 2012, Liquid transportation fuels via large-scale fluidised-bed gasification of lignocellulosic biomass. VTT Technology 91.

9.2 Biokaasun ja uusiutuvan metaanin tuotanto

Biokaasua tuotetaan laajasti anaerobisen käymisen kautta biohajoavista materiaaleista kuten yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesistä, karjanlannasta, maatalouden kasvijätteistä ja nurmesta, biojätteistä jne. Maataloudessa biokaasun tuotantoa tulee suosimaan Euroopassa lannan levityksen rajoitukset pelloille, sekä tarve ravinteiden kierrätykseen. Yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesien puhdistuksessa se on perinteinen tapa biologisen kuormituksen vähentämiseksi. Biokaasua voidaan polttaa sellaisenaan lähellä syntyvistettä tai lyhyellä putki-kuljetuksella lämmön ja sähkön tuotantoon. Liikennekäyttöä varten tai maakaasuverkossa tapahtuvaa kuljetusta ja jakelua varten biokaasu tulee puhdistaa hiilidioksidista ja muista epäpuhtauksista, jolloin se vastaa teknisesti perinteistä maakaasua. Jakelumuotona voi olla joko paineistettu (CNG) tai nesteytetty kaasu (LNG).

Paineistetun kaasun tankkausasemia oli Suomessa vuoden 2016 alussa yhteensä 24 kappaletta. Kaasuautoilija voi valita tankkausasemilla polttoaineeksi joko maakaasun tai biokaasun. Molemmat ovat kuitenkin metaania, mutta pääosa Suomen kaasuasemista on liitetty maakaasuverkkoon, johon syötetään myös biokaasua toistaiseksi neljästä eri pisteestä (Kouvola, Espoo, Lahti, Virolahti). Kaasuverkon ulkopuolella olevia julkisia kaasun tankkausasemia on neljä; Laukaassa, Forssassa, Joutsassa ja Uusikaarlepyyssä. Näiltä asemilta voi tankata ainoastaan biokaasua. Biokaasun osuus kaikesta kaasuautoihin tankatusta kaasusta oli vuonna 2015 noin 40 %. Gasum Oy suunnittelee laajentavansa jakeluverkostoa noin 35 uudella jakeluasemalla.

Suomessa tuotettiin v. 2015 biokaasua 180 milj. m³/a eli 850 GWh, ja energiakäyttö oli 600 – 700 GWh/a³⁵. Vuonna 2015 Suomessa toimi yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla 16 biokaasureaktorilaitosta. Teollisuuden jätevesiä käsiteltiin anaerobisesti kolmessa eri laitoksessa. Maatilakohtaisia biokaasulaitoksia oli toiminnassa 11 paikassa. Kiinteitä yhdyskuntajätteitä käsiteltiin 14 biokaasulaitoksessa. Vuonna 2015 *reaktorilaitoksilla* tuotettiin biokaasua kyselyissä saatujen tietojen mukaan 69,6 milj. m³, mistä ylijäämäpolttoon meni 5,8 milj. m³. Tuotettua biokaasua hyödynnettiin lämpö- ja sähköenergiana yhteensä 353,5 GWh. Vuonna 2015 biokaasua kerättiin talteen 40:ltä *kaatopaikkalaitokselta* yhteensä 83,3 milj. m³. Pumpatusta biokaasusta 67,9 milj. m³ käytettiin sähkön ja lämmön tuotantoon. Energiaa kaatopaikoilta pumpatusta biokaasusta tuotettiin 276,9 GWh. Biokaasun liikennekäyttö oli vuonna 2015 noin 23 GWh/a eli n. 2000 toe/a³⁶, mikä ennakoi kasvua, sillä vuonna 2014 tilastoiu liikennekäyttö oli noin 17 GWh/a.

Biokaasun tuotantoon sopivat raaka-ainemäärät ovat Suomessa merkittäviä, eri lähteissä mainitaan biokaasun tuotantopotentiaaliksi noin 2 - 9 TWh/a. Tarkempia tuotantokustannusarvioita ja paljonko potentiaalista on nykyisen maakaasuputken varrella, on kuitenkin niukasti saatavissa julkisista lähteistä.

Kaasuyhdistys ja Gasum ovat molemmat esittäneet visioitaan, miten biokaasujen liikennekäyttö voisi edetä Suomessa. Gasumilla on nyt tuotannossa tai suunnitteilla laitokset Kouvola, Espoon Suomenojalla ja Lahdessa, joiden tuotanto on yhteensä n. 80 GWh/a, sekä suunnitteilla Lahden ja Kouvola II -laitokset, joiden kapasiteetti on yhteensä 100 GWh/a. Näiden lisäksi on selvitetty puusta termisellä kaasutuksella valmistettavan biometaanin (SNG) tuotannon investointiedellytyksiä yhdessä Helenin ja Metsä Groupin kanssa Joutseon sellutehtaalle, jossa biokaasun tuotantomäärätavoitteena on 600 GWh/a.

Suomen Kaasuyhdistys on julkaissut kaasuvision energia- ja ilmastotiekarttaan 2050³⁷ (kuva 9.2). Visiossa on vuodelle 2025 kuvattu tuotannossa olevan yli 100 biokaasureaktoria, 1 - 3 kpl SNG laitoksia, ja useat biokaasulaitokset on kytketty maakaasuverkkoon. Kaasun jakeluinfra on kasvanut ja käytössä olisi 70 paineistetun kaasun CNG/CBG sekä 10 nestemäisen kaasun LNG/LBG tankkausasemaa.

³⁵ Biokaasusta kasvua. Sitra raportti 2016. <https://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksiä-sarja/Selvityksia111.pdf>

³⁶ Suomen biokaasulaitosrekisteri 2015 <http://www.biokaasuyhdistys.net/wp/wp-content/uploads/2016/04/Biokaasulaitosrekisteri2015.pdf>

³⁷ (<http://www.kaasuyhdistys.fi/tiedotteet/kaasuvision-energia-ja-ilmastotiekarttaan-2050>)

Tämän raportin ”kehitys”-skenaariossa vuodelle 2030 esitetään biokaasun tarpeeksi 74 ktoe/a eli 860 GWh/a ja ”kaasumax”-skenaariossa 470 ktoe/a eli 5460 GWh/a. Matalampi biokaasun määrä 74 ktoe/a on oletettu voitavan valmistaa mädätysteitse, ja puhdistettu liikennekaasu syötettäisiin joko kaasuverkkoon tai jaellaan paikallisesti. Puhdistetun mädätyskaasun hinnaksi on oletettu 70 €/MWh eli 815 €/toe jakeluaseman tankkausyhteessä. Jälkimmäinen skenaario edellyttäisi joko mädätysteitse valmistetun biokaasun nykykäytön 200-kertaistamista tai noin kolmen biotalouden sivuvirtoja, kuorta tai metsätähteitä jalostavan SNG laitoksen rakentamista maakaasuverkon alueelle vuosittaisella 1600 GWh tuotantomäärillä. Vaihtoehtoisesti uusien SNG-laitosten rakentamiselle, ensimmäisellä laitoksella voisi SNG:n tuotannon sivutuotteena syntyvän CO₂:n jalostaa sähköllä tuotetun vedyn avulla myös metaaniksi P2G eli *power-to-gas* -konseptilla. Silloin yhden kuorta ja metsätähteitä käyttävän SNG laitoksen metaanin tuotanto nousisi 1600 GWh:sta jopa 5000 GWh:iin vuodessa biomassasyötön ollessa vakio. Lisäenergiaksi tarvittaisiin sähköä elektrolyyttiseen veden hajottamiseen vedyksi noin 6000 GWh/a laitosta kohti. SNG-laitoksen uusiutuvan metaanin hinnaksi on oletettu jakeluaseman tankkausyhteellä 95 €/MWh eli 1 106 €/toe. Jos P2G-laitoksille saadaan vähähiilistä sähköä erittäin alhaisella vuosittaisella keskihinnalla ympäri vuoden, voisi senkin metaanituotannon hinta olla sama, eli 95 €/MWh.

Energia- ja ilmastotiekartta 2050

Visio kaasuinfrastruktuurin kehittymisestä

Tilanne vuonna 2025: maakaasu - putki

- Kaksi tuontisuuntaa, yhteys Baltian maihin
- Siirtoputkistoa 1700 km
- Jakeluputkistoa 3000 km
- Lisäksi siirtoverkon ulkopuolella erillisiä kaasun jakeluverkkoja LNG:n ja/tai biokaasun jakeluun

Tilanne vuonna 2025: LNG

- Yksi valtakunnallisesti merkittävä tuontiterminaali
- Useita pienempiä LNG-terminaaleja
- Erikokoisia kaasuvästöjä LNG-terminaalien ja tankkausasemien yhteydessä sekä kaasun käyttäjillä
- 10...20 LNG- säiliöperävaunua
- Useita jakelualuksia ja/tai -proomuja

Tilanne vuonna 2025: biokaasu ja bio-SNG

- 1...3 bio-SNG:n tuotantolaitosta
- Yli 100 reaktorilaitosta
- Kaatopaikkakaasun talteenotto vähentynyt
- Useita biokaasulaitoksia kytketty kaasuverkkoon
- Biokaasun liikennekäyttö yleistä

Tilanne v. 2025: kaasuinfra liikennekäyttöä varten

- 70 kaasun tankkausasemaa CNG/CBG:n liikennekäytölle
- Noin 10 kaasun tankkausasemaa LNG/LBG:n liikennekäytölle
- Kaasun tankkauspisteet (LNG/LBG) suurimmissa satamissa



Kuva 9.2: Kaasuyhdistyksen Kaasuvisio vuodelle 2025³⁸.

9.3 Bioetanolin valmistus jäte-, tähde- ja lignoselluloosapohjaisista raaka-aineista

Suomessa St1 Biofuels Oy valmistaa etanolia elintarviketeollisuuden ja yhdyskuntien jätevirroista n. 15.000 m³/a eli 7.700 toe/a. Tällä hetkellä St1 Biofuelsin laitokset sijaitsevat Haminaassa, Vantaalla, Lahdessa, Jokioisissa ja Hämeenlinnassa. Näiden lisäksi on Kajaanissa SOK:n ja St1:n yhteisesti omistaman North European Biotech Oy:n investoima uusi tuotanto-

³⁸ http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/esitykset/20131121_syyskokous/Kauppinen.pdf

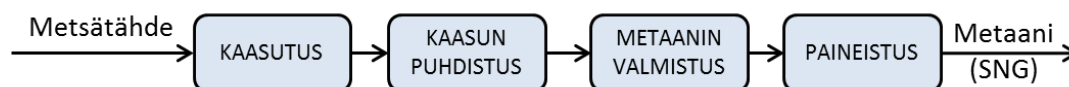
laitos rakenteilla, joka tuottaa 10.000 m³/a etanolia sahanpurusta. St1/Neotin on ilmoitettu julkisuudessa suunnittelevan kahden purupohjaisen etanolitehtaan rakentamista á 50.000 m³/a Kajaaniin ja Pietarsaareen. Laitokset tuottaisivat yhteensä 110.000 m³/a etanolia sahanpurusta eli noin 56.000 toe/a. Etanolilaitoksia on tai on ollut suunnitteilla mm. Myllykoskelle ja Sieviin käyttäen mm. olkea raaka-aineena. Puru- ja olkietanolin tuotantokustannuksia voivat alentaa uusien sivutuotteiden arvo (esim. tärpähti, furfuraali ja ligniini), sekä useiden laitosten ja integraattien tuomat kustannushyödyt.

Raportin "kehitys"-skenaarion mukainen E10-polttoaineen etanolitarve oli noin 118.000 m³ vuodessa eli 60 ktöe/a vuonna 2030, jonka täyttäminen kotimaisin raaka-ainein vaatisi muuttaman suuren uuden etanolilaitoksen rakentamista tai vastaavaa polttoaineiden tuontia. Laskelemissa on oletettu puru- tai olkietanolin hinnaksi 1300 €/toe eli 660 €/m³.

Keväällä 2016 eri yritykset toimittivat TEM:iin investointihakemuksia²⁸ uusiutuvan energian ja uuden energiateknologian hankkeisiin, joiden joukossa oli 7 etanolihanketta. Niiden yhteenlaskettu tuotanto riittäisi mainitun E10-bensiinin vaatiman etanolin kulutukseen v. 2030.

9.4 Synteettinen biometaani (SNG) termisesti kuoresta ja metsätähteistä

Kiinteistä biomassoista (kuori, metsätähteet ja muut jäteraaka-aineet) voidaan valmistaa myös synteettisiä polttoaineita, kemikaaleja tai muovien raaka-aineita. Prosessin välituote on synteetikaasu, joka valmistetaan biomassasta kaasuttamalla. Puhdistetusta synteetikaasusta voidaan edelleen valmistaa haluttuja lopputuotteita valitsemalla niille soveltuvat prosessiolosuhteet ja katalyytit.



Kuva 9.3: Synteettisen biometaanin valmistukseen soveltuvan prosessin yksinkertaistettu kaaviokuva.

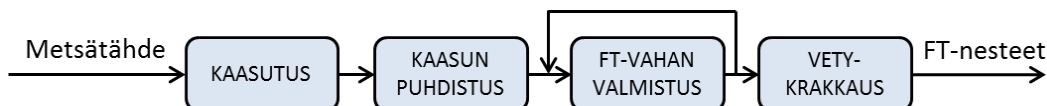
Yksi mahdollinen lopputuote on synteettinen biometaani (SNG), jonka yksinkertaistettu tuotantoperiaate on esitetty kuvassa 9.3. Liikenteessä biometaania voidaan käyttää kaasuautoissa fossiilisen maakaasun sijasta. Suomessa kehitetyllä leijukerroskaasutukseen ja kaasun katalyyttiseen kuumapuhdistukseen perustuvalla menetelmällä on mahdollista tuottaa lämpöarvoltaan 100 MW:sta metsätähdettä noin 67 MW synteettistä biometaania ja sen lisäksi 10 MW kaukolämpöä, kokonaishyötysuhteen noustessa lähes 80 %:iin.

Tuotantokustannusarvot synteettiselle biometaanille riippuvat mm. tuotannon kokoluokasta, sijoitetun pääoman tuottovaatimuksesta sekä raaka-aineen hinnasta. VTT:n arvio kaupallisen kypsytyden saavuttaneen, 200 MW biometaania (~140.000 toe/a) tuottavan, laitoksen tuotantokustannukseksi on 64 €/MWh, joka on bensiiniin verrattaviksi litrahinnoiksi muunnettuna 0,57 €/L_{b-ekv}. Maailmassa ei toistaiseksi ole rakennettu yhtään isoa teollista biomassapohjaisen SNG:n tuotantolaitosta. Lähin demonstraatiolaitos on tällä hetkellä Göteborgissa.

9.5 Synteettinen, uusiutuva diesel tai bensiini kuoresta ja metsätähteistä

Synteetikaasusta voidaan valmistaa myös dieseliä ns. Fischer-Tropsch -menetelmän (FT) avulla (kuva 9.4). Prosessin olosuhteet valitaan niin, että ne suosivat molekyylimassaltaan raskaiden tuotteiden muodostumista. Tämän jälkeen syntynyt vahamainen tuote jatkojalostetaan (vetykrakkaus) myyntikelpoisiksi hiilivetynesteiksi, kuten korkean setaaniluvun dieseliksi

tai lentopolttoaineeksi. Vetykrakkauksen toimintaolosuhteista riippuen naftan, kerosiinin ja kaasuöljyn väliset saannot voivat vaihdella välillä 15-25-60 (kaasuöljymoodi) ja 25-50-25 (kerosiinimoodi). Kaasutusreitien kautta voidaan valmistaa myös synteettistä bensiiniä (MTG ja TIGAS teknologiat), jonka hyötysuhteet ja kustannukset ovat verrattavissa FT-reitin kautta tuotettuun dieseliin.



Kuva 9.4: Fischer-Tropsch nesteiden tuotantoon soveltuvan tuotantoprosessin yksinkertaistettu kaaviokuva.

Suomessa kehitetyllä leijukerroskaasutukseen ja kaasun katalyyttiseen kuumapuhdistukseen perustuvalla menetelmällä on mahdollista tuottaa lämpöarvoltaan 100 MW:sta metsätähdettä noin 52 MW synteettistä dieseliä tai bensiiniä, sekä 27 MW kaukolämpöä. VTT:n arvio kaupallisen kypsyyden saavuttaneen, 200 MW (~140 000 toe/a) drop-in polttoainetta tuottavan, laitoksen tuotantokustannukseksi on 81 €/MWh, joka on bensiiniin verrattaviksi litrahinnoiksi muunnettuna 0,73 €/l_{h-ekv}. Maailmassa ei toistaiseksi ole yhtään biomassaa käyttävää teollista FT-tuotantolaitosta, pilotlaitoksia on rakenteilla mm. Ranskassa.

Suureen kokoluokkaan optimoitu ja happikaasutukseen perustuva prosessi demonstroitiin Varkaudessa 2010-luvun alussa, mutta hanke ei johtanut investointiin. VTT kehittää parhailaan Bioruukissa pienempään kokoluokkaan optimoitua teknologiaa, jonka tavoitteena on noin 40 – 80 ktoe/a tuotanto integroituna teollisuuden voimalaitoksiin tai kaukolämmitykseen. Tämän teknologian kehityspolkua havainnollistetaan kuvassa 9.5.

Vaihe 1: Kehitys ja arviointi

- 2016-2017
- 3 M€; JS/YS 2/1 M€
- VTT Bioruukki

Vaihe 2: Kaasutusdemo, 30 MW

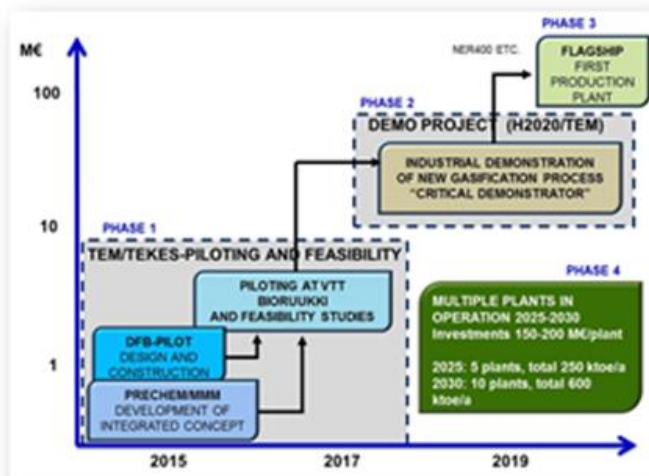
- 2018-2020
- 50 M€; JS/YS 30/20 M€
- Lämpövoimala/teollisuus-paikka
- Synteesit sivuvirrassa

Vaihe 3: Flag ship: 90 MW

- 2021-2023; 30 ktoe/a
- Toinen kaasutin 30+60 MW
- Loppupuhdistus + synteesi
- 200 M€; JS/YS 80/120 M€
- Sama paikka kuin vaihe 2

Vaihe 4: Monistus ja skaalaus

- 2024-30; 40-80 ktoe/a /laitos
- 200-300 M€/laitos
- Kustannus ja tuen tarve laskevia
- Suomalaisen teknologian vienti kasvaa



<http://www.vtt.fi/sites/BTL2030>

Lähde: Esa Kurkela, VTT 28.9.16

Kuva 9.5: Lämmöntuotantoon integroidun BTL-tuotannon suunniteltu kehityspolku.

9.6 Sähköenergialla valmistettavat uusiutuvat liikennepolttoaineet, P2G/L (Power to Gas/Liquid)

Liikennepolttoaineita on mahdollista valmistaa myös hiilidioksidista ja sähköstä (power-to-fuels). Näiden niin kutsuttujen *sähköpolttoaineiden*³⁹ valmistuksessa tarvittava vety tuotetaan elektrolyytisesti vedestä vähähiilisen sähköenergian avulla. Tuotettu vety muunnetaan sen jälkeen hiilidioksidin kanssa katalyyttisesti hiilivety- tai alkoholipolttoaineeksi.

Vetyä tuotetaan nykyään elektrolyysillä lähinnä pienten erikoissovellusten tarpeisiin, kun taas suuria vetymääriä tuotetaan maakaasua ja muita fossiilisia polttoaineita höyryreformoimalla, ja käytetään pääasiassa mineraaliöljypohjaisten liikennepolttoaineiden ominaisuuksien parantamiseen. Vakiintunein ja kaupallisesti saatavilla oleva elektrolyysiteknologia perustuu alkalielektrolyysereihin, PEM:n ja kiinteäoksidi-elektrolyysereiden (SOEC) edustaessa kehittyneempää ja nousevaa teknologiaa. Kaupallisen alkalielektrolyysijärjestelmän energiahyötysuhde sähköstä vedyksi on 65 % (LHV) luokkaa ja investointikustannus noin 1000 €/kW.

P2G/L-tuotantolaitoksen tarvitsema puhdas hiilidioksidi voidaan ottaa talteen esimerkiksi erilaisista prosessi- ja savukaasuista. Talteenoton kustannus on sitä korkeampi mitä matalampi on hiilidioksidin lähtökonsentraatio, ja mitä suurempi on epäpuhtauksien määrä. Hiilidioksidia erotetaan jo nyt rutiininomaisesti monissa teollisissa prosesseissa. Hiilidioksidin talteenotto-kustannukset savukaasuista ovat 30 - 45 €/tCO₂ luokkaa uusille ylikriittisille kivihiihikattiloille ja 45 - 100 €/tCO₂ moderneille maakaasukombivoimalaitoksille⁴⁰.

Hiilidioksidin käyttö kemiallisena raaka-aineena rajoittuu tällä hetkellä pieneen määrään teollisia sovelluksia kuten urean tuotanto. Toisaalta hiilidioksidiin ja vetyyn perustuvia pieniä polttoaineen tuotantolaitoksia on parhaillaan koekäytössä erityisesti Saksassa. Tuoreen katsauksen⁴¹ mukaan maailmassa on tällä hetkellä käynnissä 57 elektrolyysiin perustuvaa kehitys- ja pilot-hanketta, joissa tavoitellaan joko vedyn, metaanin tai muiden polttoaineiden/kemikaalien tuotantoa sähköenergian avulla. Näistä 57:stä projektista ainoastaan kuusi sijaitsee Euroopan ulkopuolella. Katsauksen perusteella voidaan tunnistaa kolme pääsovelluskohdetta: 1) sähköenergian kemiallinen varastointi vetynä, 2) sähkö- ja kaasuverkkojen integrointi vedyn avulla ja 3) liikennepolttoaineiden tuotanto. Näistä 57:stä hankkeesta 41:ssä lopputuote on vety, 14:ssä metaani, ja neljässä metanoli tai muu tuote. Noin puolet hankkeista sijaitsee Saksassa. Sähköteholla mitattuna suurin (12 MWe) laitos sijaitsee Alankomaissa.

Kokoluokkansa ja lopputuotteensa vuoksi seuraavat kaksi sähköpolttoainehanketta ovat erityisen mielenkiintoisia: Audin e-gas laitos Saksassa ja CRI:n Georg Olah -laitos Islannissa. Molemmat hankkeet on kuvattu lyhyesti alla.

Audi e-gas laitos

Vuonna 2013 autovalmistaja Audi, yhteistyössä ETOGAS:n kanssa, rakensi demonstraatiolaitoksen, jossa valmistetaan synteettistä metaania hiilidioksidista ja elektrolyytisestä vedystä. Hiilidioksidi otetaan talteen läheisen mädätyslaitoksen biokaasuvirrasta. Kolmea yhteis-sähköteholtaan 6,6 MW alkalielektrolyyseriä käytetään tuottamaan tarvittava vety puhdistetusta vesijohtovedestä. Tämän jälkeen hiilidioksidi ja vety muunnetaan katalyyttisesti metaaniksi ja syötetään läheiseen maakaasuverkkoon. Laitos tuottaa metaania sähköstä 54 % (LHV) hyötysuhteella ja Audin mukaan laitos tuottaa polttoainetta 1500 kaasuauton tarpeisiin. Laitoksen ilmoitettu investointikustannus oli 20 M€.

Georg Olah laitos

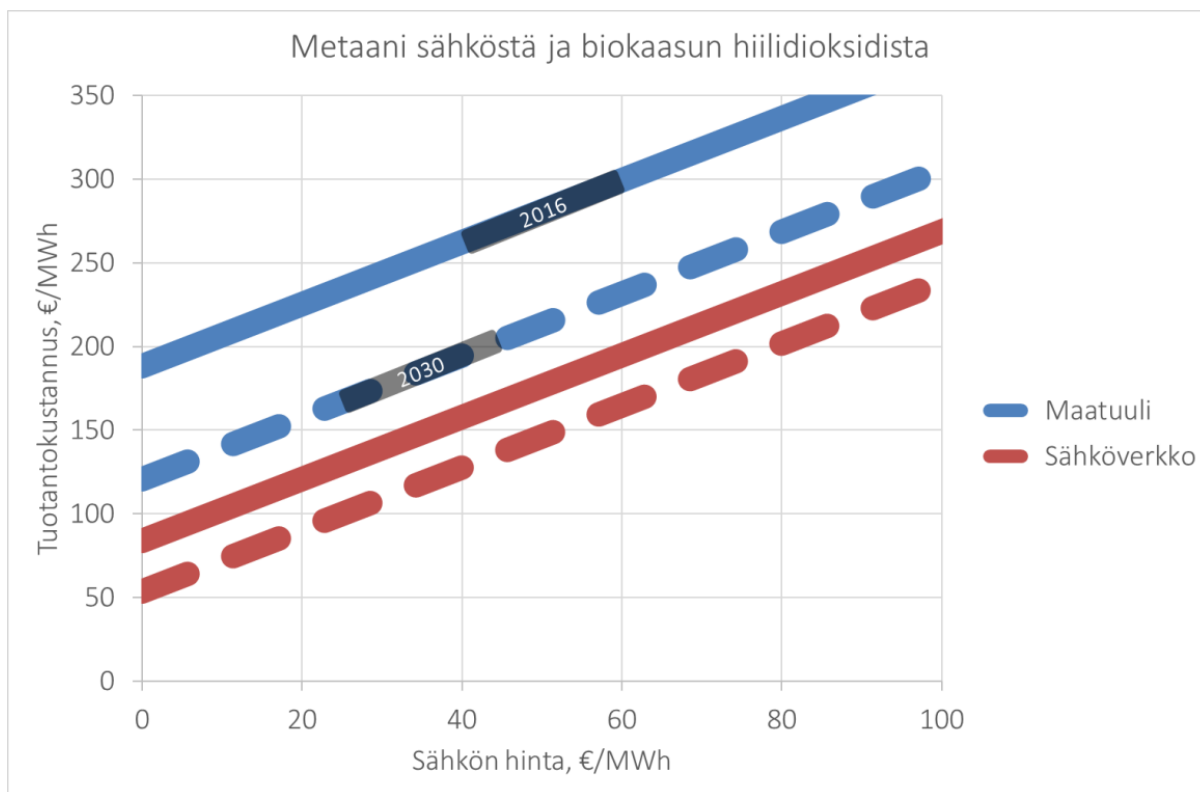
Vuonna 2009 CRI (Carbon Recycling International) alkoi rakentaa laitosta synteettisen metanolin valmistuksen demonstroimiseksi hiilidioksidista ja elektrolyytisestä vedystä. Laitos avattiin virallisesti vuonna 2012 yhdellä, sähköteholtaan 1,9 MW alkalielektrolyysillä, mutta

³⁹ Voidaan puhua myös CCU-polttoaineista (Carbon Capture and Utilisation).

⁴⁰ Edward S. Rubin, John E. Davison, Howard J. Herzog, The cost of CO₂ capture and storage, International Journal of Greenhouse Gas Control, Volume 40, September 2015, Pages 378-400, ISSN 1750-5836, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2015.05.018>.

⁴¹ Vesa Vartiainen, 2016. Power to gas –projektien kartoitus. Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

laitosta laajennettiin vuonna 2015 kahdella elektrolyyserillä yhteissähköteholtaan 5,7 MW kokoluokkaan. Prosessin vaatima CO₂ otetaan talteen läheiseltä Svartsengin geotermiseltä voimalaitokselta, jonka käyttämä höyry sisältää noin 10 % hiilidioksidia. Hiilidioksidi ja vety muunnetaan katalyyttisesti metanoliksi. Laitoksen suunnittelukapasiteetti on viisi miljoonaa litraa metanolia vuodessa eli 22 GWh/a, joka myydään uusiutuvaksi komponentiksi liikenteeseen mm. bensiiniin sekoitettuna. Euroopassa on mahdollista sekoittaa maks. 3 til-% metanolia bensiiniin.



Kuva 9.6: Arvio sähkömetaanin tuotantokustannuksesta Suomessa sähkön lähteestä riippuen. Yhtenäiset käyrät pohjautuvat Audi e-gas laitoksesta saatavilla oleviin julkisiin tietoihin, arviot vuoden 2030 kustannuksista on esitetty katkoviivoin. Laskentaoletukset: polttoaineen tuotantoteho 10 MW (LHV), hyötysuhde sähköstä metaaniksi 54 %, investointikustannukset 45 M€ (2016) ja 29 M€ (2030), vuotuiset käyttö- ja ylläpitokustannukset 3 % investoinnista, kapasiteettikerroin maatuulelle 40 % ja sähköverkolle 90 % (rajoittavana tekijänä polttoaine-prosessi). Laskentakorko 10 %, pitoaika 20 vuotta.

Sähköpolttoaineiden tuotantokustannukset ovat herkkiä käytetyn sähkön hinnalle ja laitoksen vuotuiselle käyttöajalle, jotka riippuvat valitusta sähköntuotantomuodosta ja sen kapasiteettikertoimesta. Tuotantokustannuksia on pyritty arvioimaan kuvassa 9.7 pohjautuen Audi e-gas laitoksesta saatavilla oleviin julkisiin tietoihin sekä arvioihin teknologian mahdollisesta kustannuskehityksestä. Laskelman perusteella metaanin laajamittainen ja kilpailukykyinen tuotanto liikennekäyttöä varten vaikuttaa haasteelliselta: tuulisähköön pohjautuvalle tuotannolle kustannusarvio on tällä hetkellä 260 - 300 €/MWh ja vuodelle 2030 arvio on 160 - 200 €/MWh. Aurinkosähköön perustuvalle tuotannolle vastaava arvio (ei kuvassa) on tällä hetkellä 900 - 940 €/MWh ja vuodelle 2030 arvio on 450 - 500 €/MWh. Vertailukohtana voidaan pitää fossiilista maakaasua, jonka keskihinta on pysytellyt Suomessa vuonna 2016 keskimäärin 22 - 27 €/MWh tasolla tilaustehosta riippuen. Tulokset ovat kuitenkin herkkiä laskennassa käytetyille oletuksille, eikä niissä ole huomioitu prosessin sivutuotteena syntyvän lämmön ja hapen myymistä tai elektrolyyserin osallistumista taajuussäätömarkkinoille.

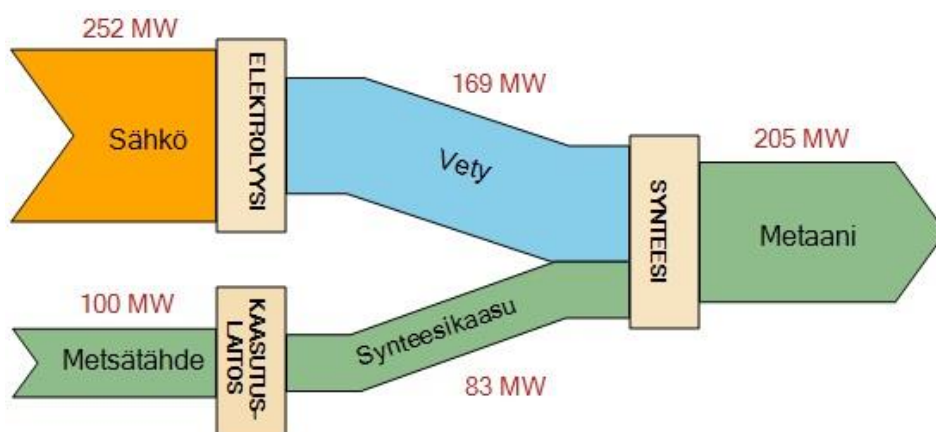
Sähköverkkoon kytketyn tuotantolaitoksen tapauksessa sähköntuotannon keskimääräisen ominaispäästön (hiili-intensiteetin) tulisi olla erittäin alhainen (< 140 gCO₂/kWh), jotta EU-

direktiiviehdotuksessa (RED II) vaadittu 70 % päästövähennys suhteessa fossiiliseen polttoaineeseen alittuisi tuotetun metaanin osalta.

Vertailun vuoksi sähköntuotannon keskimääräinen ominaispäästö on tällä hetkellä EU:ssa 441 g/kWh ja Suomessa⁴² 172 g/kWh. Johtopäätöksenä voitaneen todeta, että sähköpolttoaineiden kaupallistuminen ei edellytä niinkään uusia teknologisia läpimurtoja, vaan vähähiilisen sähkön huomattavan edullista hintakehitystä ja saatavuutta ympäri vuoden.

9.7 Sähköenergialla täydennetyt biopolttoaineet

Biopolttoaineiden ja sähköpolttoaineiden valmistusperiaatteet on mahdollista myös yhdistää samaan prosessiin, jolloin hiilen lähteenä toimii kiinteä biomassa ja vedyn pääasiallisena lähteenä vesi, josta se erotetaan sähköenergialla. Tämän kaltaisella *sähköavusteisella* biopolttoaineprosessilla (kuva 9.7) on mahdollista lisätä biomassasta tuotettavan liikennepolttoaineen määrä merkittävästi. Tällöin prosessin sähköenergian tarve nousee kuitenkin jo biomassan kulutusta suuremmaksi, jonka seurauksena myös tuotantokustannukset saattavat merkittävästi nousta, ellei vähähiilistä sähköä ole tarjolla pitkiä aikoja edulliseen hintaan.



Kuva 9.7: Esimerkkilaskelma maksimaalisen vetylisäyksen vaikutuksesta synteettisen polttoaineen tuotannossa. Enimmillään lopputuotteen määrä voi jopa kolminkertaistua verrattuna tilanteeseen jossa vetyä ei lisätä.

Hybridiprosessin toteuttaminen ei periaatteessa edellytä uusien teknologioiden kehittämistä, vaan kytkentä voidaan toteuttaa olemassa olevia komponentteja yhdistelemällä. Tekniikka voi kaupallistua vuoteen 2030 mennessä ja demonstraatiolaitokset toteutua jo lähivuosina.

9.8 Yhteenveto uusiutuvien liikennepolttoaineiden tuotantokustannusarvioista synteesikaasusta

Taulukossa 9.1 on esitetty yhteenveto synteettisten polttoaineiden tuotantokustannusarvioista⁴³. Taulukon tuotantokustannusarviot perustuvat niin sanottuun n:s laitos oletamaan, eli tasoon jota kustannusten uskotaan yleisellä tasolla lähestyvän tuotantokapasiteetin ja laitos-

⁴² Pohjoismaisen sähköverkon ominaispäästö vaihtelee mm. vesitilanteen ja pakkasjaksojen keston mukaan. 172 gCO₂/kWh on keskiarvo vuosien 2010 - 14 Suomen sähköntuotannon ominaispäästölle. Luvussa ei ole huomioitu tuontia (vrt. RES-kriteeristön määrittely) ja päästöt on allokoitu yhteistuotantosähkölle ja -lämmölle energiaperusteisesti.

⁴³ Ilkka Hannula, Co-production of synthetic fuels and district heat from biomass residues, carbon dioxide and electricity: Performance and cost analysis, Biomass and Bioenergy, Volume 74, March 2015, Pages 26-46, ISSN 0961-9534, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.01.006>.

ten lukumäärän vähitellen kasvaessa. Ensimmäisten kyseistä teknologiaa edustavien laitosten tuotantokustannukset ovat taulukossa esitetyjä korkeampia, vaikkakin lisäkustannuksen suuruusluokkaa on vaikea arvioida luotettavasti.

Taulukko 9.1: Yhteenveto tuotantokustannusarvioista jalostettaessa liikennepolttoaineita kiinteistä biomassoista. Kaupallistuneen teknologian hintataso, metsätähde 18 €/MWh.

	€/MWh	€/GJ	€/toe	€/L _{b-ekv}
biometaani	64	18	792	0.57
bio drop-in	81	23	1012	0.73
biovety	58	16	669	0.52
hybridimetaani	82	23	1012	0.73
hybridi drop-in	99	28	1232	0.89

Julkisesti saatavilla olevien tietojen pohjalta⁴⁴ voidaan kuitenkin arvioida ensimmäisen puusta biometaania kaupallisessa kokoluokassa (140 ktoe/a) tuottavan laitoksen investointikustannuksen olevan tasolla 650 M€. Investoinnin osalta tämä on 60 %, ja tuotantokustannuksen osalta 30 % korkeampi kuin arvio kaupallistuneelle teknologialle. Ensimmäisen laitoksen ja kaupallistuneen teknologian välisen kustannuseron poistaminen vaatisi siten noin 40 % suuruusluokkaa olevan investointituen.

9.9 Uusiutuvat liikennepolttoaineet jalostamon oheissyöttönä sekä biojalostamointegraateissa

Metsätähteestä, purusta ja mustalipeästä voidaan valmistaa nestemäisiä tuotteita, joita voidaan erillisen biopolttonestejalostamon ohella tulevaisuudessa jalostaa myös olemassa olevissa mineraali- tai bioöljyjalostamoissa⁴⁵. Näitä vaihtoehtoisia nestemäisiä tuotteita, bioöljyjä, voidaan valmistaa nopealla pyrolyysillä ja korkeapainenesteytystekniikoilla. Molempien primäärituotteita voidaan käyttää polttoöljyjen korvaamiseen kattiloissa⁴⁶, mutta niistä voidaan myös edelleen jalostaa sekundäärituotteita, jotka joko sellaisenaan tai oheisjalostuksen jälkeen ovat osa tavanomaista bensiiniä ja dieseliä⁴⁷.

Nopeassa pyrolyysissä kuivattu biomassa lämmitetään nopeasti noin 500 °C:een inertissä kaasukehässä kuumalla hiekalla, ja syntyneet höyryt lauhdutetaan bioöljyksi. Tällä bioöljyllä voidaan korvata kattilapolttoneiteita. Tähän teknologiaan perustuen Valmet on rakentanut Fortumin CHP-voimalaan Joensuuun demonstraatiolaitoksen⁴⁸.

⁴⁴ Tällä hetkellä suurin SNG-teknologiaa hyödyntävä prosessi on Ruotsissa Göteborg Energin vuonna 2013 rakentama GoBiGas-biometaanilaitos. Sen toteutunut investointikustannus oli 139 M€ ja tuotetun metaanin teho 20 MW (LHV). Kaupallisen kokoluokan laitoksen investointikustannus on arvioitu käyttämällä 0,67 kustannusskaalauseksponenttia.

⁴⁵ (a) de Rezende Pinho, A.; de Almeida, M. B. B.; Mendes, F. L.; Ximenes, V. L., Production of lignocellulosic gasoline using fast pyrolysis of biomass and a conventional refining scheme. Pure and Applied Chemistry 2014, 86 (5); (b) Ramirez, Jerome, et al, A Review of Hydrothermal Liquefaction Bio-Crude Properties and Prospects for Upgrading to Transportation Fuels. Energies 8.7 (2015): 6765-6794.

<http://search.proquest.com/docview/1703914484/abstract/330421FF1CCA4A74PQ/1?accountid=27306>

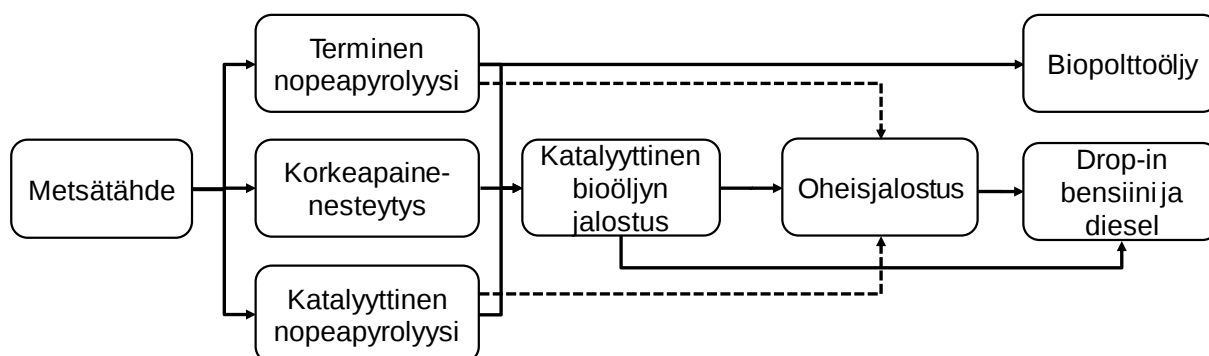
⁴⁶ Lehto, Jani; Oasmaa, Anja; Solantausta, Yrjö; Kytö, M.; Chiaramonti, D.. 2014. Review of fuel oil quality and combustion of fast pyrolysis bio-oils from lignocellulosic biomass. Applied Energy. Elsevier, vol. 116, March, ss. 178 - 190 doi:10.1016/j.apenergy.2013.11.040

⁴⁷ Fogassy, G., Thegarid, N., Schuurman, Y. & Mirodatos, C. 2011, "From biomass to bio-gasoline by FCC co-processing: effect of feed composition and catalyst structure on product quality", Energy and Environmental Science, vol. 4, no. 12, pp. 568-576.

⁴⁸ Joakim Autio, Fast pyrolysis demonstration - increasing efficiency with integration to combined-heat-and-power, IEA Bioenergy Conference 2015, Berlin.

http://ieabioenergy2015.org/fileadmin/veranstaltungen/2015/IEA_Bioenergy_Conference/S06-1_Autio.pdf

Mikäli kuuma hiekka korvataan katalyytillä, saadaan tuotteena bioöljyä, jonka happipitoisuus on alempi kuin termisesti tuotetun bioöljyn. Sen jalostaminen edelleen korkeampi-arvoisiksi tuotteiksi on helpompaa kuin termisen bioöljyn, mutta sen saanto biomassasta on alempi.



Kuva 9.8: Oheisjalostuksen ja drop-in polttonestetuotannon tekniikoita. Katkoviivoilla esitetyt vaihtoehdot ovat myös kehitteillä useissa yrityksissä ja tutkimuslaitoksissa.

Kolmas tekninen vaihtoehto oheisjalostuksen syötöksi on korkeapainenesteytys, jossa biomassaa paineistetaan ja johdetaan lietteenä noin 370 °C:ssa reaktoriin. Tämä tekniikkaa soveltuu erityisesti hyvin märille biomassoille, ja myös mustalipeän konversiota on kehitetty⁴⁹.

Primäärituotteet voidaan katalyyttisellä käsittelyllä muuntaa niin, että ne soveltuvat liikenteen polttonesteiksi sellaisenaan (pitkälle viety vedytys) tai jalostamon oheissyötöksi (lievempi jalostus). Myös primäärisen bioöljyn oheisjalostusta on kehitetty, jolloin bionesteen katalyyttinen vaihe voidaan jättää pois.

Liikenteen polttonesteiden tuottamiseksi kaikki esitetyt jalostusreitit ovat vasta kehitysvaiheessa. Termisen bioöljyä on oheisjalostettu matalilla seossuhteilla (5 - 20 p-%) FCC-yksikön pilotissa VGO:n⁵⁰ kanssa⁵¹. Tulokset ovat lupaavia, ja tämän sovelluksen voidaan arvioida olevan tekniseltä kehitystaseltaan (technology readiness level) TRL 5, kun täysin kaupalliseen tuotantoon kykenevän prosessin TRL on 9-10. Muut bioöljyvaihtoehdot, joissa voidaan tuottaa liikenteen polttonesteitä, ovat vasta kehitystasella, ja niiden TRL on 4, koska primäärisen bioöljyn jalostusta on kehitetty vasta jatkuvatoimimisissa laboratoriolaitteissa⁵². Taulukossa 9.2 on vertailtu termisen pyrolyysin ja korkeapainenesteytyksen hyötysuhteita ja kustannuksia, kun tuotteena ovat liikenteen drop-in polttonesteeet. Laskentaperusteet ovat peräisin US DOE:n arvioista.

Taulukko 9.2 esittää liikenteen polttonesteiden tuotantoa termisen pyrolyysin (Pyro+HDO⁵³) ja korkeapainenesteytyksen (HTL⁵⁴+HDO) avulla, molemmissa toisena vaiheena primäärituotteiden vedytys (Elliott et al.⁵⁵). Laitoskapasiteetti 2000 t/d (kosteus 50 %, vastaa noin 390

⁴⁹ (a) Elliott, Douglas C.; Oasmaa, Anja. 1991. Catalytic hydrotreating of black liquor oils. Energy and Fuels, vol. 5, 1, ss. 102 - 109 doi:10.1021/ef00025a018, (b) Öhman, F., Wallmo, H. & Theliander, H. 2007, "An improved method for washing lignin precipitated from kraft black liquor - The key to a new biofuel", Filtration, vol. 7, no. 4, pp. 309-315.

⁵⁰ VGO = vacuum gas oil, joka on mineraaliöljyjäljostamon FCC (fluid catalytic cracker) -yksikön tavallinen syöte

⁵¹ Mendes, F. L., Ximenes, V. L., de Almeida, M. B. B., Azevedo, D. A., Tessarolo, N. S., & de Rezende Pinho, A. (2016). Catalytic pyrolysis of sugarcane bagasse and pinewood in a pilot scale unit. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, doi:10.1016/j.jaap.2016.08.001

⁵² Olarte, M.V., Zacher, A.H., Padmaperuma, A.B. et al. Top Catal (2016) 59: 55. doi:10.1007/s11244-015-0505-7

⁵³ HDO = Hydrodeoxygenation, vedytys

⁵⁴ HTL = Hydrothermal liquefaction, korkeapainenesteytys

⁵⁵ Elliott, D., Tews, I., Snowden-Swan, L., Solantausta, Y., Onarheim, K., Comparative analysis of fast pyrolysis and hydrothermal liquefaction routes for biomass conversion to liquid hydrocarbon fuels. tcs2014: Symposium on Thermal and Catalytic Sciences for Biofuels and Biobased Products. Sept. 2-5, 2014, in Denver, CO.

<https://www.tcs2014.org/program/presenters/elliott/d/>

MW), raaka-aine 20 €/MWh, pääomakustannukset muutettu vuosikustannuksiksi kertoimella 0.12. Alkuperäisen lähteen polttoaineen hinta nostettu, ja dollarit muutettu euroiksi.

Taulukossa esitetty kapasiteetti on korkea ensimmäisille kaupallisille laitoksille. Jos arvioidaan, että molemmat tekniikat toteutettaisiin niin, että laitoksen syöttö on 100 MW (LHV), tarvittaisiin molempia laitoksia 4 kappaletta, jotta liikennepolttonesteiden tuotantokapasiteetti olisi yhteensä 300 000 t/a.

Taulukko 9.2: Liikenteen polttonesteiden tuotanto termisen pyrolyysin (Pyro+HDO) ja korkeapainenesteytyksen (HTL+HDO) avulla.

Tekniikka	Pyro+HDO	HTL+HDO
Kokonaishyötysuhde % (LHV)	54.4	62.3
Tuotantokapasiteetti t/a	140 000	160 000
Pääomantarve M€	322	220
Lopputuotteiden massasaanto p% ka	24.2	27.4
Polttonesteen hinta €/MWh	124	88
Polttonesteen hinta €/toe	1 442	1 025

Kuvassa 9.9 on hahmoteltu, mikä on näiden tekniikoiden nykytila, ja minkälaisen kehityskäytännön kautta teollisesti merkittäviin kapasiteetteihin voidaan päästä.

STATUS

2014-6

- Teolliset pyrolaitokset Fortum, BTG, Ensyn
- Petrobras oheisjalostus 2013
- UOP esitys 2014

KOTIMAINEN KEHITYSPOLKU

Vaihe 1 – 2016-8

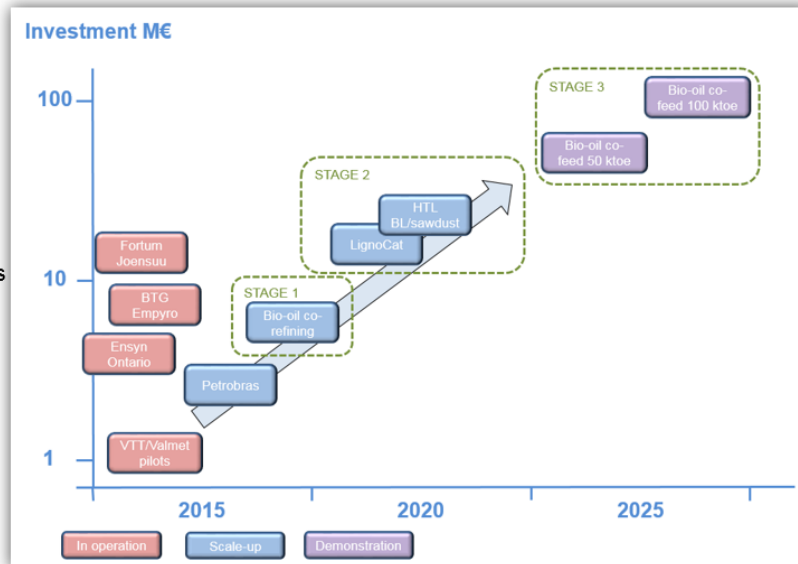
- Eri syötöt piloteissa ja oheisjalostus
- 5 M€, JS/YS 4/1 M€

Vaihe 2 – 2020->

- HTL, katalyyttinen pyrolyysi
- Teolliset oheisjalostuskokeet ja uudet teolliset pilotit
- 30 M€, JS/YS 20/10 M€

Vaihe 3 – 2025->

- Uusien teollisten yksiköiden käyttöönotto
- 200-300 M€/laitos



Kuva 9.9: Bioöljyjen oheisjalostuksen kehitys.

Pyrolyysi- ja korkeapainenesteytyksen oheisjalostus on melko uusi tekninen mahdollisuus, joka on noussut teollisesti merkittäväksi vaihtoehdoksi viime vuosina. Teknisesti kasviöljyjä voidaan jo nyt käyttää oheisjalostukseen, mutta viimeisen 10 vuoden aikana uudet lignoselluloosasta valmistetut bioöljyt ovat nousseet sekä akateemisen että teollisen kiinnostuksen kohteeksi. Voimistunut kehitys johtuu erityisesti kolmesta syystä. Ensimmäinen tämän kaltaisessa biopolttonesteiden valmistuksessa voidaan täysimääräisesti hyödyntää olemassa oleva mineraaliöljyn jalostuskapasiteetti ilman tarvetta investoida kokonaan uuteen, erilliseen biopolttonesteen tuotantolaitokseen mikä johtaa alentuneeseen investointitarpeeseen. Toi-

seksi hajautettu bioöljyn valmistus ja öljytuotteiden kuljetus keskitettyyn oheisjalostukseen öljynjalostamolla tarjoaa kustannussäästöjä logistisista syistä. Kolmanneksi hajautettu tuotanto ja sen mahdollistava kapasiteetin vaihteellinen lisääminen vähentävät investoivan teollisuuden riskejä, jotka aina liittyvät uuden tekniikan käyttöönottoon. Jalostamolta saadaan useita tuotteita kuten uusiutuvaa dieseliä, bensiiniä, polttoöljyä ja lentopetrolia. Jalostamolta valmistetaan myös jakeita kemian ja muoviteollisuuteen. Pitkällä aikavälillä vuosina 2030-2050 maantieliikenteen sähköistyessä kohti hiilineutraalisuutta, vähähiilisen ilmailun ja meriliikenteen kysyntä uusituvista polttoaineista kasvaa.

9.10 Uusiutuvien liikennepolttoaineiden tuotantokapasiteetin lisäyssi-naariot vuoteen 2030

Puupohjaisia edistyksellisiä liikenteen biopolttoaineita on kehitetty jo vuosikymmenten ajan, ja toistaiseksi mäntyöljyn ja mäntypien käyttö dieselkomponentiksi on kaupallistunut sulfiitti-etanolin lisäksi. Lisäksi puupurupohjaisen etanolin tuotanto on alkamassa Kajaanissa.

Tällä hetkellä merkittävin puuta käyttävä liikennepolttoaineinvestointi on suunnitteilla Kaidi Finland Oy:n toimesta Kemiin. Sen tuotanto olisi yhteensä 200.000 toe/a uusiutuvaa dieseliä ja bensiiniä. Lopullista investointipäätöstä ei ole tehty.

UPM käynnisti Lappeenrannassa mäntyöljyn vetykäsittelylaitoksen vuoden 2015 alussa. Laitoksen kapasiteetti on noin 100.000 t korkealaatuista uusiutuvaa dieseliä vuodessa. Myös Neste on aloittanut Naantalin jalostamollaan mäntyöljyn tislauksessa syntyvän mäntypien hyödyntämisen biopolttoaineiksi. Tämä ns. *co-feed* -tuotanto on yhteensä n. 30.000 t/a uusiutuvaa dieseliä ja bensiiniä. Mäntyöljyn ja mäntyöljypien haasteita tulevaisuuden biopolttoaineiden raaka-aineina on niiden rajallinen saatavuus. Pöyry on arvioinut v. 2015 Euroopan raakamäntyöljyn tuotannon kasvavan noin miljoonaan tonniin vuodessa ja mäntypien määrän noin 300.000 tonniin vuodessa vuoteen 2030 mennessä.

Myös sellun keitossa syntyvän mustalipeän hyödyntämistä biopolttoaineiden tuottamiseksi on vuosikymmenten kuluessa kehitetty. Ruotsalainen Chemrec Ab on kehittänyt mustalipeän kaasutukseen ja synteisiin pohjautuvan synteetikaasuprosessin DME:n (di-metyylieetterin), metanolin ym. tuottamiseksi. Pilot-laitos oli toiminnassa Piteåssa. DME on fysikaalisilta ominaisuuksiltaan nestekaasua vastaava tuote, kuitenkin sillä erotuksella, että se syttyy hyvin dieselmoottorissa. DME:tä onkin käytetty polttoaineena paikallisesti kuorma-autoissa. Yhteenvetona yllä olevasta tilannekatsauksesta edistyksellisten toisen sukupolven biopolttoainelaitosten kokonaistuotantokapasiteetin arvioidaan olevan maailmassa noin 4 miljoonaa tonnia, josta vetykäsittelyn kasvi- ja eläinrasvan osuus on yli 3 miljoonaa tonnia.

Tässä raportissa on kuvattu eri skenaarioita 40 % maantieliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen saavuttamiseksi. Eri skenaarioiden tarvitsemat polttoainemäärät ovat taulukon 9.3 mukaiset. Kaikissa skenaarioissa uusiutuvien polttoaineiden tai sähkön tarve kasvaa.

Vuoden 2030 uusiutuvien liikennepolttoaineiden lisätarve voidaan tyydyttää joko tuonnilla tai tuotannolla kotimaassa uusilla biojalostamoinvestoinneilla. Raaka-aine tulisi pääasiassa kotimaasta, mutta tuontiraaka-aineita käytetään niiden ollessa hintakilpailukykyisiä. Taulukossa 9.4 on esitetty skenaario kotimaisista investointimahdollisuuksista vuoteen 2030 mennessä.

Laitosten investoinnit on arvioitu julkisuudessa esitettyjen arvioiden pohjalta, kuten NER350 hankkeet ja EU:n Biofuels Technology Platform raportit, sekä VTT:n tietokantaan pohjautuen. Niihin sisältyy huomattavaa epävarmuutta, koska kaupallisen kokoluokan laitoksia ei maailmassa juurikaan ole vielä rakennettu, pois lukien ns. HVO-laitokset uusiutuvan dieselin tuotannossa. Uusiutuvan HVO-dieselin tuotantomäärä maailmalla on nykyisin noin 4 milj. toe/a ja on kasvamassa voimakkaasti isoilla, jopa kapasiteetiltaan 1 milj. toe/a yksiköillä. Tuotantokustannukset ovat tyypillisesti 800 – 1100 €/toe raaka-aineen hinnasta riippuen.

Puu- ja olkipohjainen etanoli sekä synteettisen maakaasun valmistus biomassan kaasutuksesta tai sähkön avulla (P2G) ovat vasta pilot- ja demonstraatiolaitosten tasolla. Julkisten investointiavustusten tarve kotimaisista ja/tai EU lähteistä, kuten NER350, on arvioitu innovatiiviselle teknologialle kolmelle ensimmäiselle laitokselle 35, 25 ja 15 % suuruksena investoinnista. Taulukossa esitettiin n. 600 ktoe/a uusiutuvien edistyskellisten liikennepolttoaineiden investointitarpeeksi n. 2 000 milj.€ sekä riskirahoitustarpeeksi n. 570 milj.€ vuoteen 2030 mennessä. Uusien teknologioiden kehitys- ja pilot-rahoituksen tarpeen arvioidaan olevan noin 20 - 60 milj. euroa vuoteen 2020 mennessä kotimaisten kehityskonsortioiden kehityshankkeiden lukumäärästä ja pilotointi-investoinneista.

Raaka-aineen tarve olisi HVO-laitoksiin 150 - 200 ktoe/a tuontina tai kotimaisina jättepohjaisina eläin- ja kasvirasvojen ja sivuvirtoina. Kiinteän puun tarve 300 ktoe/a biopolttoaineiden tuotantoon 3.6 milj.m³/a. Siitä olisi yli 75 % teollisuuden sivutuotteita, pääasiassa kuorta ja purua, ja 25 % metsätähteitä eli 0.9 milj.m³/a. Jos puupohjaisten edistyskellisten liikennepolttoaineiden tuotantomäärä kohoaisi kaksinkertaiseksi tasolle 600 – 700 ktoe/a, nousisi kiinteän puun tarve huomattavasti suuremmaksi, joka hankittuna kokonaisuudessaan kotimaasta voisi aiheuttaa vaikeuksia tai häiriöitä metsäteollisuuden ja nykyisen energiakäytön puun saatavuuteen ja hintaan⁵⁶.

Tämän raportin kansantaloudelliset laskelmat on tehty seuraavilla liikennepolttoaineiden hinnoilla; biokaasu mädätysteitse jätteistä ja sivuvirtoista 70 €/MWh eli 815 €/toe ja 95 €/MWh eli 1105 €/toe kasvatetuista raaka-aineista sekä biomassan termisestä kaasutuksesta SNG:nä ja sähköavusteisista metaanista puu-SNG laitoksella. Etanolin hintana on käytetty 112 €/MWh eli 1300 €/toe, drop-in uusiutuvan dieselin ja bensiinin 103 €/MWh eli 1200 €/toe. Fossiilisen dieselin ja bensiinin hinnaksi on v. 2030 oletettu verottomana 625 €/toe.

Taulukko 9.3: Maantielikenteen polttoaine- ja sähkön tarve eri skenaariossa vuonna 2030.

Vuoden 2030 tilanne					
Yhteensä	PERUS+	KEHITYS+	SÄHKÖMAX+	KAASUMAX+	WAM+
Fossiilinen bensiini toe/a	927 711	858 661	674 779	796 147	804 773
Fossiilinen diesel toe/a	1 355 645	1 425 389	1 603 463	1 485 698	1 477 323
Uusiutuva diesel toe/a	1 110 216	995 736	718 177	768 175	943 402
Etanoli toe/a	67 998	63 009	49 721	58 491	59 115
Metaanikaasu toe/a	0	0	0	0	0
Biokaasu toe/a	5 521	76 908	41 537	480 263	75 991
Sähkö toe/a	6 989	46 747	204 637	46 670	76 625
Vety toe/a	0	0	0	0	0
Uusiutuvat yhteensä (diesel, etanoli, biokaasu, sähkö)	1 190 724	1 182 400	1 014 073	1 353 600	1 155 133
Uusiutuvien osuus (%)	34.2 %	34.0 %	31.5 %	37.2 %	33.6 %
Energia yhteensä toe/a	3 474 080	3 466 451	3 292 315	3 635 446	3 437 229
Energia yhteensä; suhteessa PERUS (%)	100 %	100 %	95 %	105 %	99 %
CO ₂ -päästöt (tonnia/a)	7 040 175	7 045 551	7 036 101	7 041 624	7 041 999
CO ₂ -päästöjen vähenemä (%) vs. 2005	-40.0 %	-40.0 %	-40.0 %	-40.0 %	-40.0 %
Uusiutuvien polttoaineiden lisätarve, toe	690 139	575 659	298 100	348 098	523 326
Bio-osuus dieselissä (til-%)	46.2 %	42.3 %	32.0 %	35.2 %	40.1 %
Etanoli bensiinissä (til-%)	10.0 %	10.0 %	10.0 %	10.0 %	10.0 %
Biokaasun osuus metaanista (%)	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Biokaasu GWh/a (1 toe=11,63 MWh)	64	861	861	5 457	863

⁵⁶ Metsäbiomassan kustannustehokas käyttö. Pöry Management Consulting Oy. valtioneuvoston selvitys- ja julkaisutoiminnan julkaisusarja 23/2017. Helmikuu 2017.

Taulukko 9.4: Uusiutuvien liikennepolttoaineiden lisätuotantoinvestointeja vuoteen 2030.

Uusiutuvien liikennepolttoaineiden tuotantomahdollisuuksia Suomessa vuoteen 2030 – tuotteiden tai raaka-aineiden tuontia?

- Kehitysskenaariossa tarve 1 136 ktoe/a dieselinä, bensiininä E10, metaanina
- Maamme nykyinen tuotantokapasiteetti n. 510 000 toe/a, jolloin laskennallinen lisätarve on 626 000 toe/a kotimaasta tai tuontina
- Lisätarve voidaan tyydyttää tuonnilla tai uusinvestoinnein (ktoe/a):

- Nykyisten HVO-diesellaitosten lisäkapasiteetit	100 – 150 000
- Öljynjalostamoilla oheissyöttöratkaisut	300 000
- Puu- ja olkipohjaiset etanolilaitokset	50 000
- Kaidin FT-laitos Kemiin	200 000
- Uudet biokaasulaitokset	50 – 150 000
- Sivuvirtojen ja metsätähteiden jalostus-FT/SNG laitokset,	150 000
niissä mahdolliset P2G/L sähköavusteiset tuotannonnostot	50 – 100 000
Mahdollisuuksia yhteensä	850 – 1 100 000 toe/a
- Investoinnit olisivat n. 600 ktoe/a lisätuotantoon yhteensä n. 2 000 M€ vuoteen 2030 ja niiden riskitukitarve olisi EU/kotimaasta n. 570 M€ 15-35 % rahoitusosuudella.

10. Vaihtoehtoisten teknologioiden hintavaikutukset

10.1 Yleistä

Liikenteen vuoden 2030 kustannuksiin liittyy paljon epävarmuustekijöitä. Merkittävä osa näistä on omien vaikutusmahdollisuuksiemme ulottumattomissa. Tärkeimmät epävarmuustekijät ovat:

- Raakaöljyn hinta ja sitä kautta fossiilisten polttoaineiden verottomat tuotantohinnat
- Biopolttoaineiden raaka-aineiden ja tuotannon hintakehitys, ja sitä kautta näiden polttoaineiden verottomat tuotantohinnat
- Ajoneuvojen, erityisesti sähköautojen hintakehitys
- Ajoneuvojen energiankulutuksen kehittyminen
- Hiilidioksidipäästöjen hinnoittelu ja verotus yleisesti

Kotimaiset liikenteen veroratkaisut vaikuttavat merkittävästi vaihtoehtoisten käyttövoimien yleistymiseen mentäessä kohti vuotta 2030. Kuten ei alkuperäisessäkään raportissa, tässä päivityksessäkään ei oteta kantaa ohjauskeinoin.

Luvussa 11 on tarkasteltu eri skenaarioiden vaikutuksia kansantalouteen. Tekstissä todetaan, että uusien autojen hintakehityksellä on ratkaiseva merkitys skenaarioiden välisten erojen kannalta, vaikka infrastruktuurin vaatimat investoinnit vaikuttavatkin eroja hieman kasvattavasti.

Tässä luvussa keskitytään avaamaan polttoaineiden hintoja ja vaihtoehtoisten tekniikoiden kokonaiskustannuksia. Kustannukset on esitetty henkilöautojen (kaikki käyttövoimavaihtoehdot) ja bussien (diesel ja kaasumaiset polttoaineet) osalta.

10.2 Polttoaineiden hinnat tammikuussa 2017

Tammikuun 2017 lopulla pääkaupunkiseudulla oli myynnissä seuraavat polttoainelaadut (suluissa likimääräinen kuluttajahinta):

- E10-bensiini (1,45 €/l)
- E5-bensiini (1,50 €/l)
- E85-korkeaseosetanoli (0,99 €/l, bensiniekvivalenttina noin 1,40 €/l)
- diesel (1,30 €/l)
- 100 %:nen uusiutuva diesel (1,45 €/l)
- maakaasu (0,78 €/l bensiniekvivalentti)
- biokaasu (0,93 €/l bensiniekvivalentti)

Kuvassa 10.1 on esimerkki jakelupisteen hintanäyttötäulusta. Vähittäismyyntihinnat saattavat samallakin myyntipaikalla vaihdella eri viikonpäivinä useita senttejä/litra, ja myös vuodenajan mukaan hinnat vaihtelevat.

Vuodesta 2011 voimassa olleen biopolttoaineiden jakeluvuorotuksen (1420/2010) mukainen sekoitevelvoite vuodelle 2017 on 12 % (energiana, tuplalaskentasääntö huomioon). Öljy- ja biopolttoaineala ry:n⁵⁷ mukaan laskennallinen bio-osuus vuonna 2015 oli 24 %, jolloin biopolttoaineiden todellisen energiasuuden voidaan arvioida olevan tasolla 13 - 14 %. Siitä huolimatta, että Suomessa on, Ruotsin rinnalla, Euroopan korkein keskimääräinen biopolttoaineosuus, suomalaiset pumppuhinnat eivät oleellisesti poikkea Länsi-Eurooppalaisten maiden keskimääräisestä tasosta^{58,59,60}.

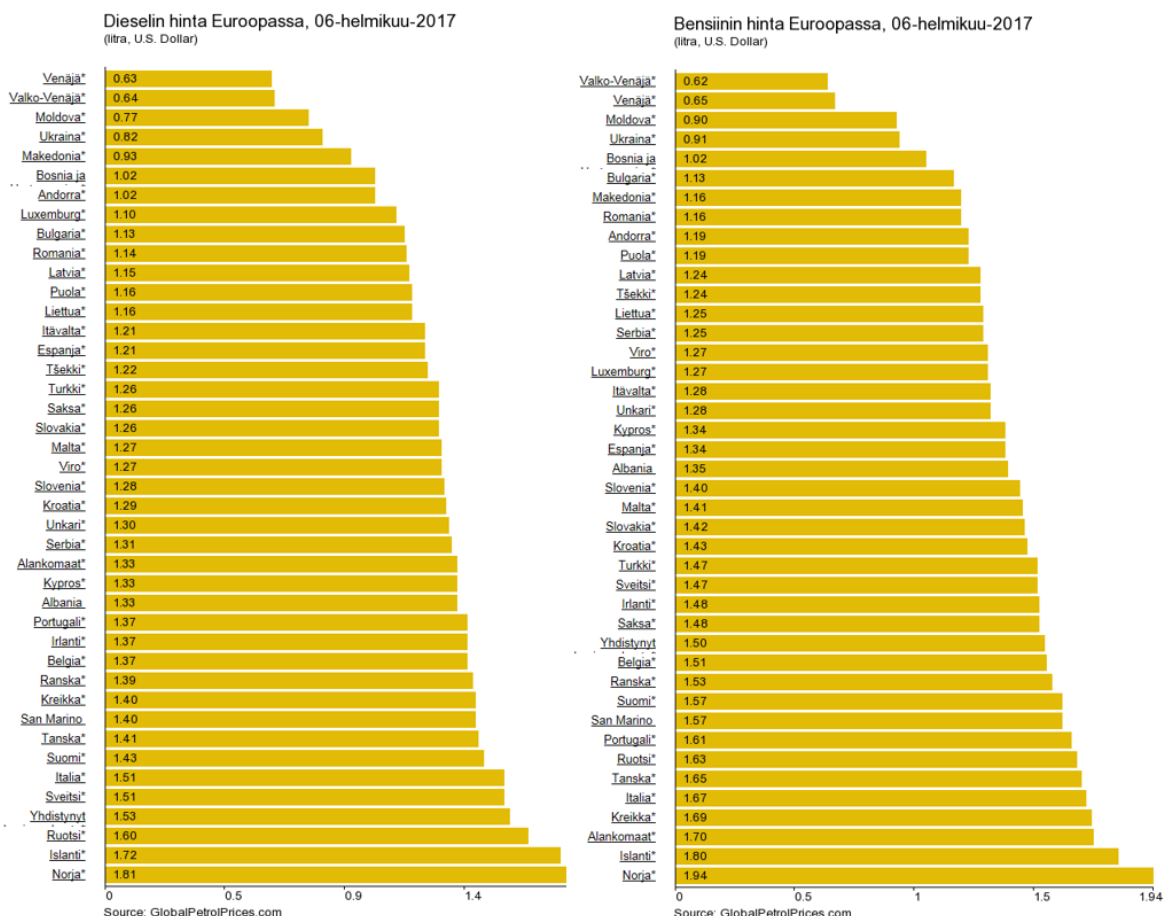
⁵⁷ <http://www.oil.fi/fi/biopolttoaineet/kansallinen-jakeluvuorotus-vuoteen-2020>

⁵⁸ <https://www.autoliitto.fi/matkailu/hyva-tietaa/ennen-matkaa/polttoainehinnat-euroopassa>

⁵⁹ http://fi.globalpetrolprices.com/diesel_prices/Europe/



Kuva 10.1: Polttoainehintoja Suomessa tammikuussa 2017.



Kuva 10.2: Polttoainehintoja Euroopassa helmikuun alussa 2017^{60,61}. Hinnat US dollareissa.

Voimassa oleva biopolttoaineiden jakeluvelvoite tarkoittaa sitä, ettei eri polttoaineiden pump-puhinnoista voi vetää suoria johtopäätöksiä biopolttoaineiden todellisista hinnoista. Jakelijat ovat velvoitettuja toimittamaan markkinoille tietyn määrän biopolttoaineita, ja toimijoiden omassa päättäväisyydessä on mm. se, miten velvoite kohdistetaan eri polttoaineisiin ja jakelu-

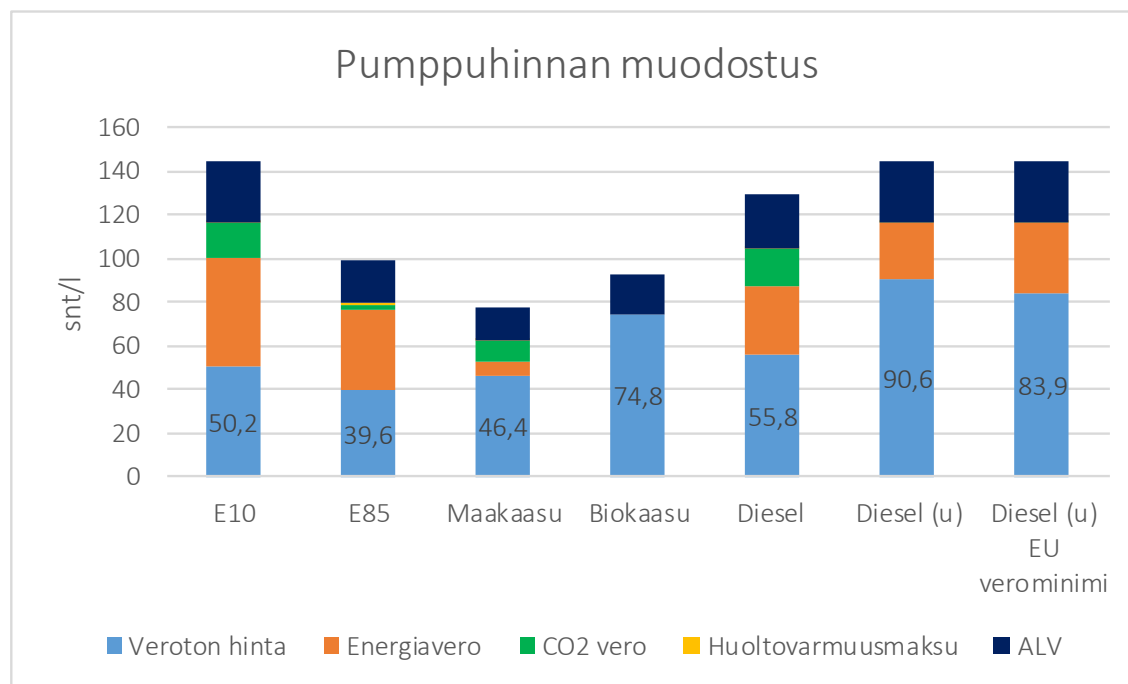
⁶⁰ http://fi.globalpetrolprices.com/gasoline_prices/Europe/

pisteisiin. Edellä olleista hintaesimerkeistä ei siten voi suoraan vetää esimerkiksi sitä johtopäätöstä, että 100 %:n uusiutuva diesel olisi todellisuudessa vain 0,15 €/l kalliimpaa kuin tavanomainen diesel, joka sekin tällä hetkellä sisältää suuruusluokkaisesti n. 15 % biokomponenttia. Itse biokomponentin kustannus jaetaan suuremmalle polttoainemäärälle (koko dieselpooli), ja 0,15 €/l kuvaa lähinnä erikoislogistiikasta (ylimääräinen polttoainelaatu) aiheutuvia lisäkustannuksia.

Kuvassa 10.3 on esitetty pumppuhinnan muodostuminen yllä oleville polttoaineille (pl. E5). Laskennassa on käytetty vuoden 2017 verotasoja. Verot on laskettu sillä oletuksella, että E10-bensiinissä on 10 % (til.) etanolia ja dieselissä 15 % (til.) uusiutuvaa komponenttia. Tämä tarkoittaa myös sitä, että kuvan veroton hinta on bensiniseokselle, jossa on 10 % etanolia ja dieselpolttoaineelle, jossa on 15 % uusiutuvaa komponenttia.

Suomalainen polttoaineverojarjestelmän⁶¹ elementtejä ovat energiasisältövero, hiilidioksidivero ja huoltovarmuusmaksu. Energiasisältöveron osalta parafiinisella dieselpolttoaineella (EN 15940) on lähipäästöperusteinen verohuojennus, suuruudeltaan 5 snt/l. Uusiutuvan, jätteistä tai tähteistä valmistetun tuplalaskettavan parafiinisen dieselpolttoaineen kokonaisvero olisi verotaulukon mukaan 26,3 snt/l. EU:n miniverotaso dieselpolttoaineelle on kuitenkin aina 33 snt/l, ja tätä verotasoa joudutaan soveltamaan 100 %:na myytävälle uusiutuvalle dieselille. Biokaasu on Suomessa ainoa polttoainevaihtoehto, jolla ei ole energiaveroa. Maakaasua ja sähköä verotetaan nestemäisiä polttoaineita lievemmin. Osittain eroja tasataan käyttövoimaveron avulla.

Kuvassa 10.4 on eri polttoaineiden veroton hinta suhteutettuna energiasisältöön.

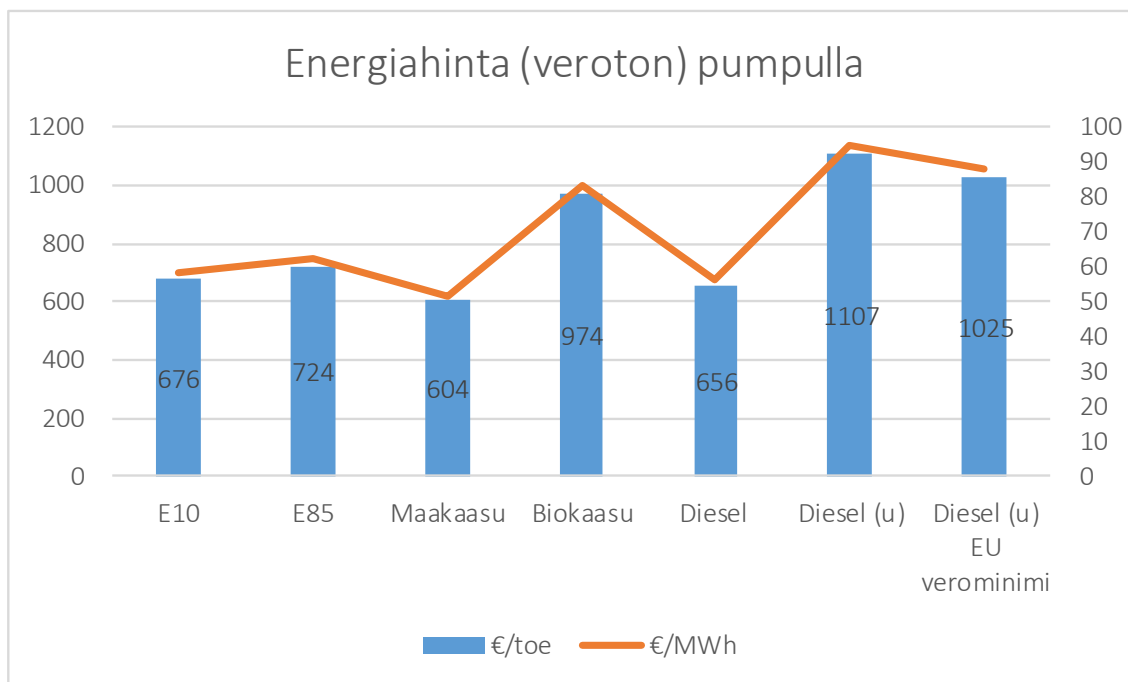


Kuva 10.3: Polttoaineiden pumppuhinnan muodostuminen tammikuussa 2017. E85 polttoaineen litrahinta 0,99 € on bensiniekvivalenttina noin 1,40 €/l. Maa- ja biokaasun hinnat on annettu bensiniekvivalenttina. Diesel (u) tarkoittaa 100 %:sta uusiutuvaa dieseliä.

Taulukossa 10.1 on polttoaineiden CIF ARA (Amsterdam/Antwerp/Rotterdam) tuotenoteeraukset 1.2.2017. ARA tuotenoteerausten päälle tulee joukko muita kustannuksia, mm. terminaali- ja logistiikkakustannukset, tuotepreemiot, lisäaineet ja verot.

Uusiutuvalle dieselille (HVO) ei erikseen ole noteerausta, vaan hinta perustuu RME (perinteinen biodiesel) noteeraukseen ja laatu-preemioon.

⁶¹ <http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2016/20160136.pdf>



Kuva 10.4: Eri polttoaineiden veroton hinta pumpulla suhteutettuna energiasisältöön. Diesel (u) tarkoittaa 100 %:sta uusiutuvaa dieseliä. Kaasujen hinnassa on mukana komprimointi jakelupaineeseen (200 bar).

Taulukko 10.1. Polttoaineiden CIF ARA (Amsterdam/Antwerp/Rotterdam) tuotenoteeraukset 1.2.2017. Gasoline= bensiini, ULSD= rikitön dieselpolttoaine. (Lähde: Matti Pentti/St1)

Päivän Noteeraus 1.2.2017		
Noteeraukset:		
Gasoline 10 ppm	577,50	usd/t
ULSD 10 ppm	502,25	usd/t
RME	1005,00	usd/t
ETBE	859,25	usd/t
Ethanol	800,39	usd/t
Usd/Euro, EKP	1,0790	Usd/Euro

Taulukon 10.1 arvot litrahintoina ovat noin:

- bensiini 40 snt/l
- etanoli 59 snt/l
- diesel 39 snt/l
- RME 83 snt/l
- uusiutuva diesel 95 snt/l (arvio RME + 15 %)

Kuvassa 10.3 olevat verottomat hinnat ovat 10 % etanolia sisältävän bensiinin ja 15 % bio-komponenttia sisältävän dieselin osalta noin 20 % noteerauksia korkeammat (lisässä siis mukana mm. logistiikkakuluja ja myyntikate).

E85-polttoaineen veroton hinta on selvästi ARA-noteerausta alempi, samaten uusiutuvan dieselin veroton hinta (EU:n minimiverotasolla) verrattuna arvioon uusiutuvan dieselin ARA-noteerauksesta. Tämä siis tarkoittaa sitä, että biopolttoaineen jakeluvetoite tavallaan tukee E85:n ja uusiutuvan dieselin pumppuhintoja (todelliset lisäkustannukset jaetaan suuremmalle polttoainemäärälle). Uusiutuvan dieselin osalta on oletettavaa, että rypsi (RME) on raaka-aineena kalliimpaa kuin esimerkiksi palmuöljyjohdannaiset ja jäterasvat.

RME-noteeraus 1005 USD/t vastaa 1050 €/toe. Jos oletetaan, että HVO:n preemio (jalostuksen arvonlisä) on 15 %, rypsiin perustuvan HVO:n noteeraus olisi luokkaa 1200 €/toe. Tässä hinnassa ei ole mukana esim. raaka-aineen logistiikkakustannuksia.

Luvussa 9 uusiutuvan dieselin hinnaksi on arvioitu 1000...1200 €/toe, eli 1050...1260 €/t (alempi arvo kotimaassa ja ylempi arvo ulkomailla tuotetulle polttoaineelle). Koska HVO tuotettuna rypsistä on yksi kalleimmista vaihtoehtoista, hinta-arviota 1000...1200 €/toe voidaan pitää perusteltuna (veroton litrahinta dieselinä 0,82...0,98 €/l).

Taulukossa 10.2 on esitetty laskelma pumppuhinnoista eri CO₂-verotasoilla ja eri uusiutuvan dieselin hintatasoilla. Tapaus A on laskettu nykyveroilla (CO₂-vero 62 €/t) , ja polttoaineen verottomana hintana on taulukon 10.1 ARA-noteeraus lisättynä 20 %:lla. A, B ja C eivät sisällä biokomponentteja. D:ssä ja E:ssä on eri biokomponentin hinta ja nykyverot. B:ssä ja C:ssä CO₂ veroa on säädetty niin, että B ja D sekä C ja E päätyvät pareittain samaan pumppuhintaan.

Vertailemalla kuvan 10.3 dieselin pumppuhintaa (1,30 €/l) ja taulukon 10.2 tapausta A, näyttäisi siltä, että noin 15 % biokomponenttia dieselin seassa nostaa pumppuhintaa luokkaa 5 snt/l verrattuna täysin fossiiliseen dieseliin.

Taulukon 10.2 mukaan 100 %:n uusiutuva diesel olisi tällä hetkellä ja nykyveroilla jakelumittarilla 11 - 31 snt/l kalliimpaa kuin fossiilinen diesel, riippuen biokomponentin hinnasta. Jos CO₂ hinta nostettaisiin tasolle 88...139 €/t, pumppuhinnat tasaantuisivat.

Taulukko 10.2: Dieselin ja uusiutuvan dieselin pumppuhinnat, muuttujina biokomponentin hinta ja CO₂ vero. Sarakkeet A, D ja E on laskettu nykyveroilla.

	Fossiilinen diesel			Uusiutuva diesel	
	A	B	C	D	E
CO ₂ hinta €/t	62	88	139		
Veroton hinta €/t	560	560	560	1050	1260
Veroton hinta €/l	0,466	0,466	0,466	0,819	0,983
Energiavero €/l	0,3277	0,3277	0,3277	0,2595	0,2595
CO ₂ vero €/l	0,1990	0,282	0,446		
Huoltovarmuusmaksu €/l	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
Verot yhteensä €/l	0,5302	0,614	0,777	0,263	0,263
Hinta ilman ALV €/l	0,996	1,080	1,243	1,082	1,246
ALV €/l	0,239	0,259	0,298	0,260	0,299
Verollinen pumppuhinta €/l	1,24	1,34	1,54	1,34	1,54
Hintalisä A verrattuna				0,11	0,31
Hintalisä B verrattuna				0,00	0,21
Hintalisä C verrattuna				-0,20	0,00

Hallituksen marraskuussa 2016 julkaistussa energia- ja ilmastostrategiassa sanotaan:

”Liikenteen biopolttoaineiden energiasisällön fyysinen osuus kaikesta tieliikenteeseen myydyistä polttoaineista nostetaan 30 prosenttiin vuoteen 2030 mennessä.”

Tämän raportin luvussa 7 esitettiin seuraava arvio:

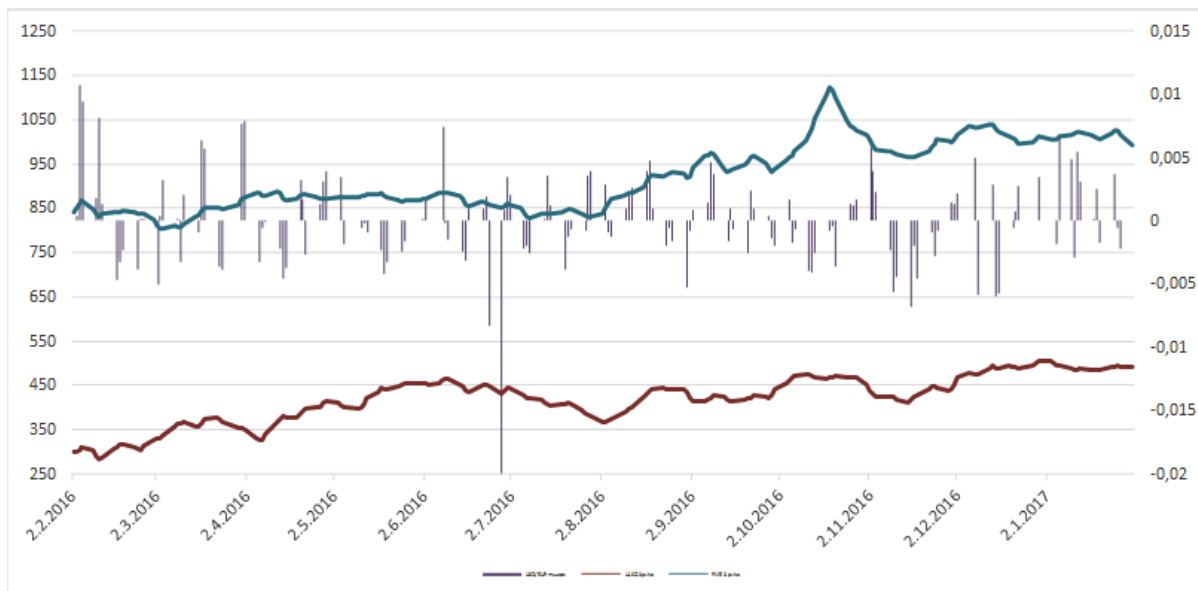
Jos oletetaan, että bensiinissä ei ole muuta biokomponenttia kuin etanoli (kaikki bensiini E10, eli etanolin tilavuusosuus 10 %), eri skenaarioissa dieselpolttoaineen bio-osuus on:

- Perus+: 46 %
- Kehitys+: 42 %
- Sähkömax+: 32 %
- Kaasumax+: 35 %
- VAM+: 40 %

Todennäköisesti dieselpoolissa on siis vuonna 2030 suuruusluokkaisesti 40 % biokomponenttia. Taulukon 10.2 perusteella 40 % biokomponenttia sisältävä dieselpolttoaine maksaisi tällä hetkellä 1,36 €/l biokomponentin verottoman hinnan ollessa 1200 €/toe (1260 €/t). Biokomponenttia sisältävän dieselpolttoaineen pumppuhinta on tällä hetkellä (helmikuun 2017 alku) n. 1,30 €/l.

VTT:n LIISA-laskentajärjestelmän⁶² (Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä) mukaan kuorma-autojen polttoaineen kulutus Suomessa vuonna 2015 oli n. 1,1 Mt, eli noin 1,3 Mm³. Kuorma-autoliikenne on kokonaisuudessaan hyötyliikennettä. Jos oletetaan, että dieselin bio-osuuden kasvattaminen nykyisestä n. 15 %:sta 40 %:iin nostaisi pumppuhintaa 0,1 €/l (1,30 → 1,40 €/l), tästä aiheutuisi kuorma-autoliikenteelle enintään n. 130 M€:n lisäkustannus vuositasolla. Tämä siis siinä tapauksessa, ettei verotasoja muuteta nykyisestä. Kohti vuotta 2030 mentäessä on todennäköistä, että fossiilisten polttoaineiden CO₂-veroa on pakko korottaa, jos päästöjä halutaan alentaa (kts. taulukko 10.2).

Polttoaineiden hinnoissa esiintyy joka tapauksessa vaihtelua. Kuvassa 10.5 on ARA noteeraukset rikittömälle dieselpolttoaineelle ja RME:lle vuoden ajalta. Kuvasta nähdään, että vuoden aikana rikittömän dieselin noteeraus on noussut n. 300 USD/t → 500 USD/t. Nykyveroilla 500 USD/t olisi pumppuhintana taulukon 10.2 mukainen A eli 1,24 €/l, 300 USD/t olisi 1,00 €/l. Toisin sanoen öljytuotteiden markkinahintojen vaihtelut heiluttavat helposti polttoaineiden pumppuhintoja yhtä paljon kuin bio-osuuksien lisääminen.



Kun USD/EUR muutos on negatiivinen niin euro heikkenee.

Kuva 10.5: Rikittömän dieselin ja RME ACA-noteeraukset helmikuu 2016 - tammikuu 2017. Punainen viiva diesel, sininen viiva RME. Harmaat viivat kuvaavat euron ja US dollarin kursivaihteluita. (Kuvan lähde: Matti Pentti/St1).

⁶² <http://www.lipasto.vtt.fi/liisa/index.htm>

10.3 Vaihtoehtoisten teknologioiden hintavaikutukset henkilöautoissa

Vuoden 2015 raportissa eri käyttövoimavaihtoehtoista tehtiin CO₂-päästöjen well-to-wheel (WTW) tarkastelu käyttäen esimerkki-autona Volkswagen Golfia (alkuperäisen raportin kuvio 5, s. 32). Tästä autosta on olemassa runsas valikoima eri käyttövoimavaihtoehtoja. Nyt kustannusvertailuun valittiin syyskuussa 2016 ilmestyneessä hinnastosta⁶³ seuraavat mahdollisimman vertailukelpoiset vaihtoehdot (verollinen ohjehinta):

- bensiini 81 kW manuaali: 24.975 €
- korkeaseosetanoli (E85/FFV) 92 kW manuaali: 26.801 €
- metaani (maa- ja biokaasu) 81 kW manuaali: 27.503 €
- diesel: 26.700 €
- lataushybridi: 41.991 €
- täyssähkö: 41.832 €

Yllä olevat hinnat ovat autoille, joiden teho on pääosin luokassa 80 - 85 kW. Täysin vertailukelpoisten autojen valinta ei ole mahdollista, koska esim. flex-fuel -auton kohdalla ainoa tehoversio on 92 kW, ja lataushybridin teho on peräti 150 kW. Täyssähköversiossa ei ole vaihteistoa lainkaan. Lataushybridissä on automaattivaihteisto, muissa vertailuun valituissa autoissa on manuaalivaihteisto (flex-fuel -autoon on tarjolla vain manuaalivaihteisto).

Tämän hinnaston perusteella tehtiin arvioita eri käyttövoimavaihtoehtojen vuosikustannuksista. Nykyinen veromalli (energia, ajoneuvo, käyttövoimavero, autovero) suosii kaasu- ja sähköautoja. Tässä esimerkkitapauksessa bensiiniauton autovero on n. 4200 €, hinnaltaan melkein kaksinkertaisen sähköauton n. 17 200 €. Laskenta tehtiin 5 vuoden pitoajalle ja kahdelle vuosisuoritteelle, 17.000 km/a ja 30.000 km/a.

Laskennan lähtöoletukset olivat:

- autojen hinnat: Volkswagen Golf hinnasto syyskuu 2016
- pitoaika: 5 vuotta
- jäännösarvo: vakio 40 % tai jäännösarvo n. 10.000 €
- korkokanta: 4 %
- vuosisuorite: 17.000 tai 30.000 km
- energian kulutus: valmistajan ilmoituksen mukaan
- polttoaineiden hinnat: kohdassa 10.2 luetellut tammikuun 2017 lopun pumppuhinnat
- sähkön hinta: kotitaloussähkö 0,12 €/kWh
- huoltokustannus: voimassa olevan huolenpitosopimushinnaston mukaan, 48 kk:n sopimus ekstrapoloitu 60 kk:een
- ajoneuvovero: vuoden 2017 verotaso
- käyttövoimavero: vuoden 2017 verotaso

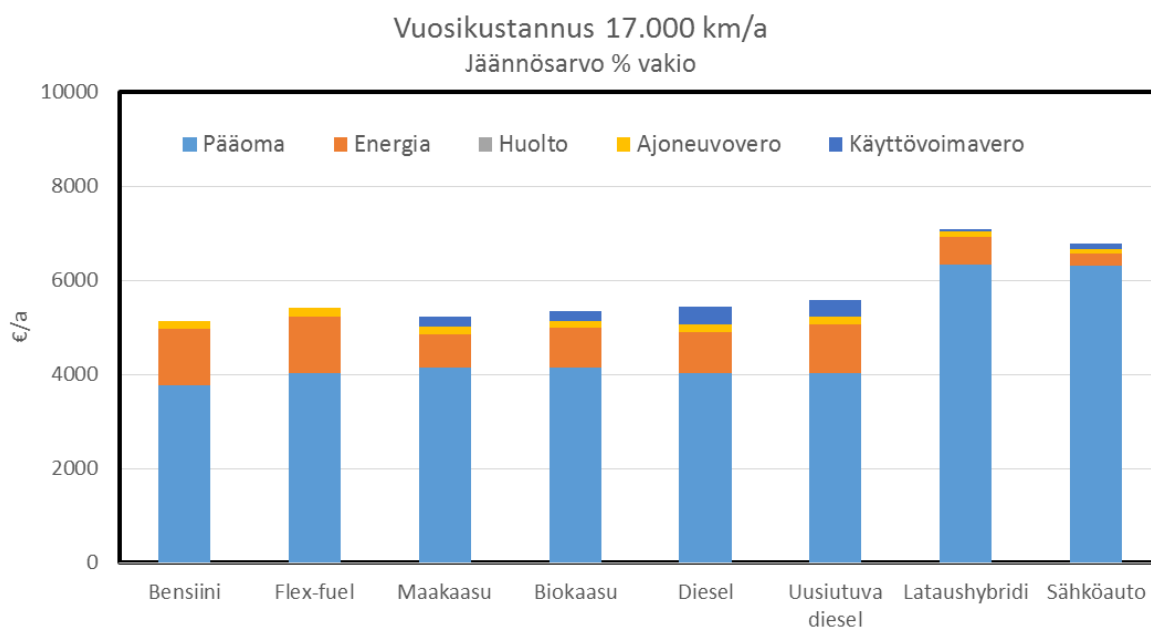
Pitoajaksi valittiin 5 vuotta, koska tällöin sähköautoautojen akkujen takuu (8 vuotta) on vielä voimassa, eikä akustoja tarvitse huomioida erillisenä kustannuseränä.

Viisi vuotta vanhan bensiini- tai dieselauton jäännösarvo on suuruusluokkaisesti 40 %. Bensiiniauton osalta tämä olisi tässä tapauksessa euromääräisesti n. 10.000 €. Sähköautot ovat tällä hetkellä ostohinnaltaan selvästi muita autotyyppejä kalliimpia, ja sähköautojen prosentuaalinen arvonalennus on todennäköisesti selvästi suurempi kuin perinteisten autojen kohdalla. Koska sähköautokanta on vielä hyvin rajallinen, niin sähköautojen jälkimarkkinatkin ovat vielä vakiintumattomat, ja sähköautojen jäännösarvon arviointi on haasteellista. Tästä syystä tarkastelu tehtiin niin kiinteällä prosentilla (40 %) kuin kiinteällä summalla (10.000 €). Kiinteän summan käytöllä pyritään huomioimaan se, että akkujen kesto on kuitenkin rajallinen. Normaali takuu akuille on 8 vuotta, ja oletettavasti nykyisten sähköautojen akut joudutaan vaihtamaan kertaalleen auton eliniän aikana.

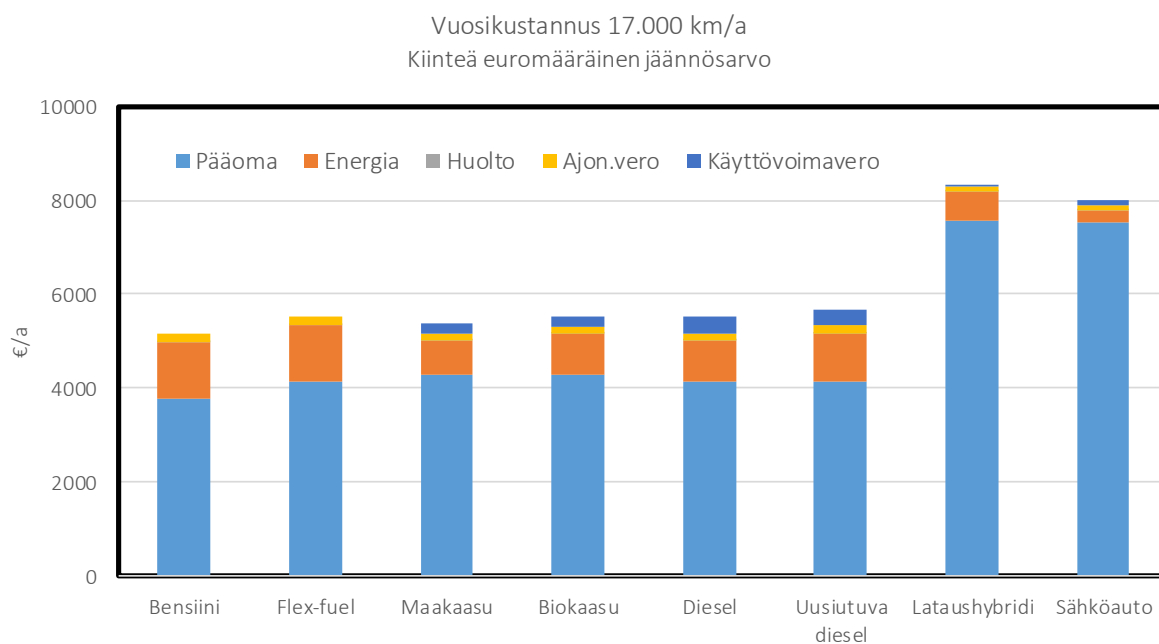
⁶³ <http://www.volkswagen.fi/fi/models/golf/hinnat-ja-esitteet.html> (14.9.2016)

Huolenpitosopimus on tarjolla normaalisti vain 48 kk:n ajalle. Huolenpitosopimuksissa hinta kasvaa sopimuskauden pidentyessä, koska korjaustarve lisääntyy ajan myötä. Laskennassa 48 kk:n sopimuksien hinta kerrottiin kertoimella 1,5 kuvastamaan viisivuotisen (60 kk) sopimuksen hintaa.

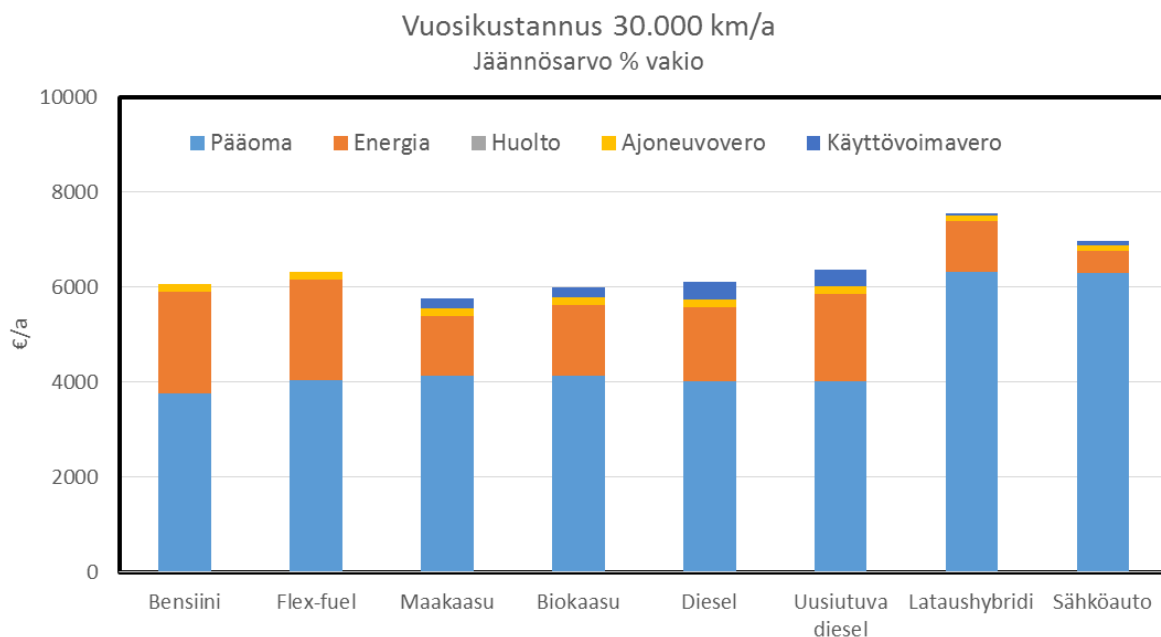
Kuvissa 10.6 (kiinteä jäännösarvoprosentti) ja 10.7 (kiinteä jäännösarvo) on esitetty vuosikustannukset vuosisuoritteella ollessa 17.000 km (keskimääräinen henkilöautojen vuosisuorite Suomessa), ja kuvissa 10.8 ja 10.9 vastaavasti kustannukset vuosisuoritteella ollessa 30.000 km.



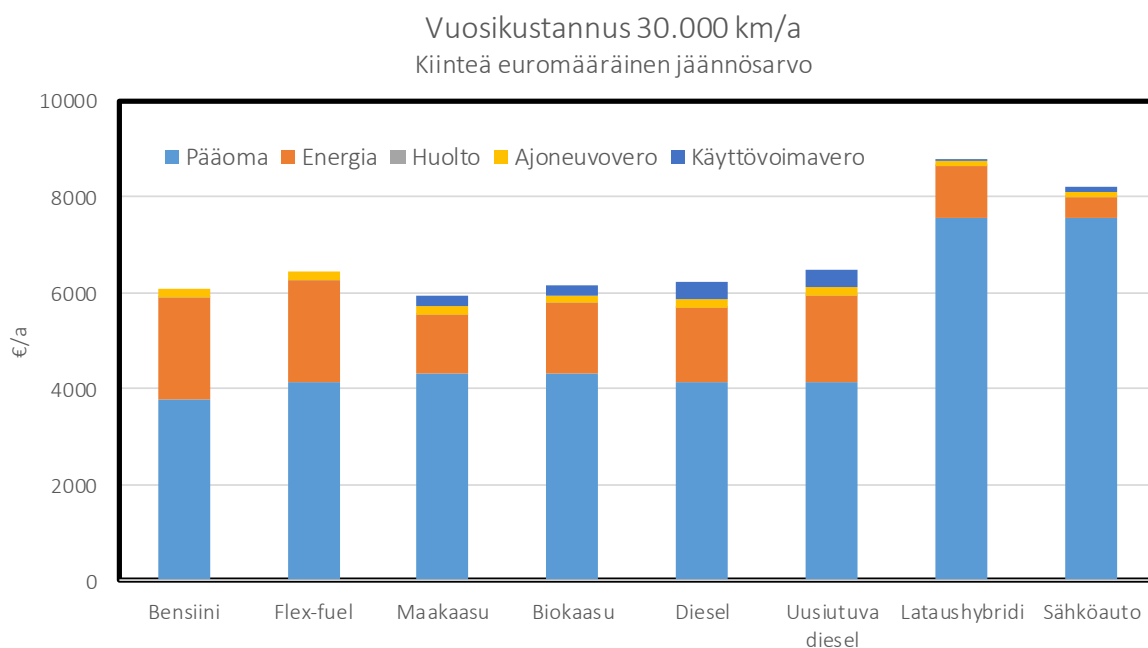
Kuva 10.6: Vuosikustannus kiinteällä jäännösarvoprosentilla ja 17.000 km/a suoritteella.



Kuva 10.7: Vuosikustannus kiinteällä euromääräisellä jäännösarvolla ja 17.000 km/a suoritteella.



Kuva 10.8: Vuosikustannus kiinteällä jäännösarvoprosentilla ja 30.000 km/a suoritteella.



Kuva 10.9: Vuosikustannus kiinteällä euromääräisellä jäännösarvolla ja 30.000 km/a suoritteella.

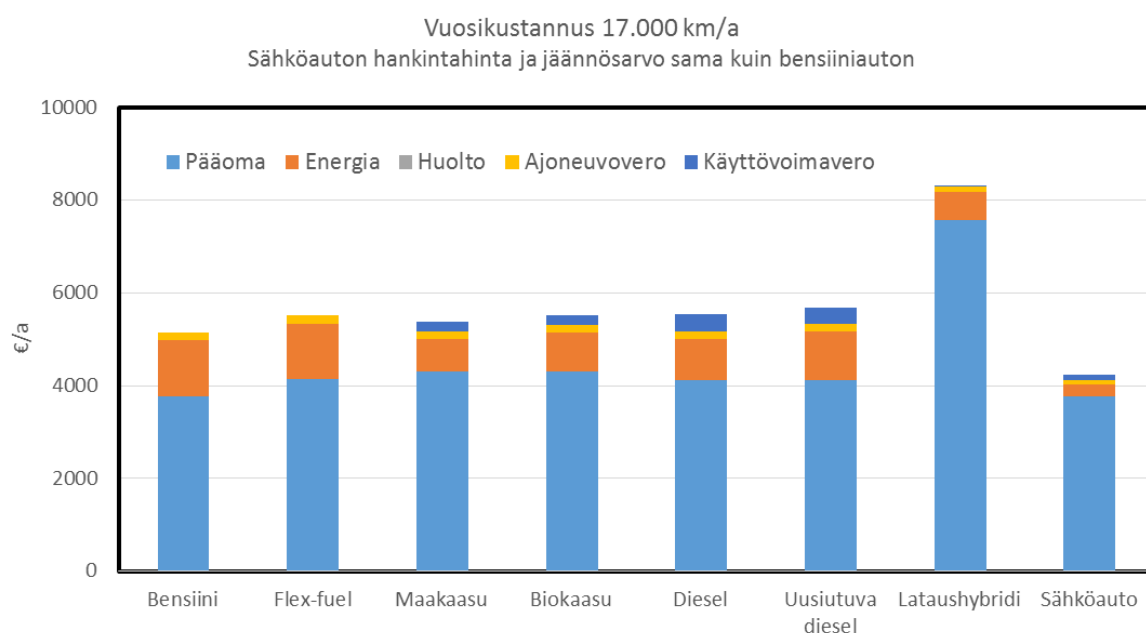
Tapauksesta riippumatta lataushybridi on aina kallein (8100 - 10.300 €/a) ja täyssähköauto toiseksi kallein vaihtoehto (7400 - 9000 €/a). Näiden vaihtoehtojen kohdalla jäännösarvotarkastelun vaikutus on 1200 - 1300 € vuositasolla. Sähköautojen kohdalla suoritteiden nosto 17.000 → 30.000 € vaikuttaa vain vähän vuosikustannuksiin, 300 - 900 €/a.

17.000 km/a suoritteella bensiiniauto on halvin vaihtoehto, 5900 €/a, polttomoottoriautojen vaihteluvälin ollessa 5900 - 6400 €/a.

Korkeammalla 30.000 km/a suoritteella ja kiinteällä jäännösarvoprosentilla maakaasu on niukasti edullisin vaihtoehto, 7100 €/a. Vaihteluväli polttomoottoriautoille on jäännösarvosta riippumatta 7100 - 7800 €/a. Suoritteen nosto lisää kustannuksia 1200 - 1400 €/a.

30.000 km/a suoritteella ero täyssähköauton ja kalleimman polttomoottorivaihtoehdon (flex-fuel) välillä on enää 200 - 1300 €/a, jäännösarvosta riippuen. Vuosisuoritteena 30.000 km/a merkitsee 150 km ajoa 200 päivänä vuodessa, joten se on autolle, jolle valmistajan ilmoittama ajomatka yhdellä latauksella on 200 km, teoreettisesti mahdollinen.

Kuvassa 10.10 on vielä tarkasteltu tapausta, jossa täyssähköauto on oletettu samanhintaiseksi kuin bensiiniauto (n. 25.000 €), ja jossa euromääräinen jäännösarvo on sama kuin bensiiniautolla (10.000 €). Tällä laskennalla sähköauto on halvin vaihtoehto, 4900 €/a, verrattuna bensiiniauton lukuun 5900 €/a. Jos siis sähköauton ostohinta ja jälleenmyyntiarvo olisivat samat kuin bensiiniautolla, ja jos sähköauton verotus edelleen säilyisi keveämpänä kuin polttomoottoriautoilla, täyssähköauto olisi kuluttajalle ylivertainen vaihtoehto. Tämä kuitenkin sillä edellytyksellä, että myös käytännön toimintamatka vastaa kuluttajien tarpeita.

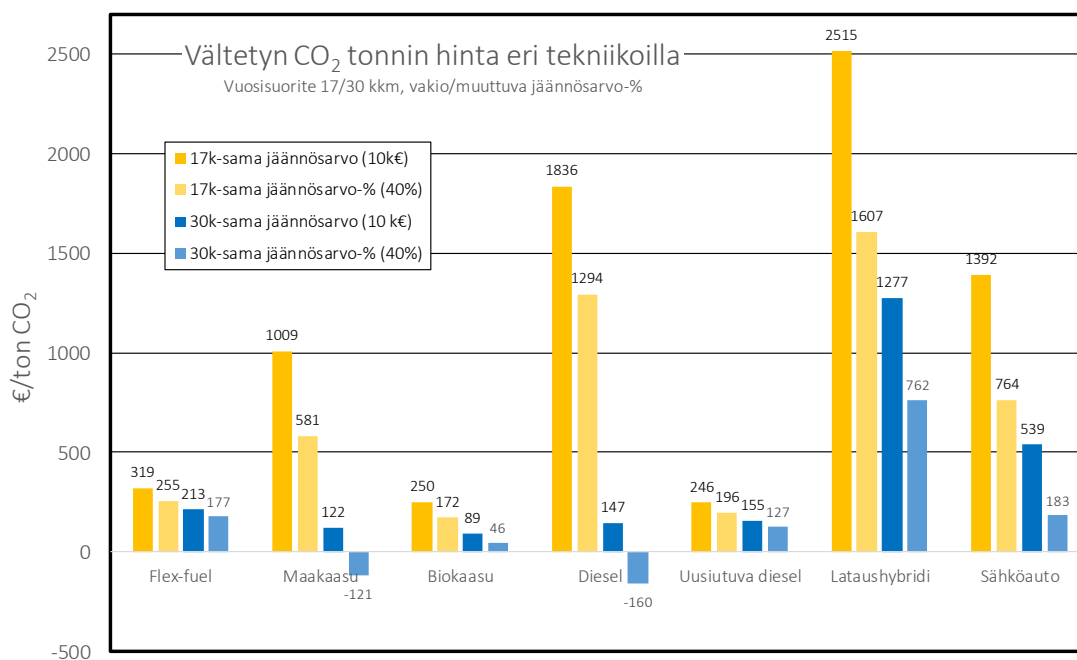


Kuva 10.10: Vuosikustannus kiinteällä jäännösarvolla ja 17.000 km/a suoritteella. Täyssähköauton hinta ja jäännösarvo asetettu samoiksi kuin bensiiniautolla.

Kuvassa 10.11 on tarkasteltu vältetyn CO₂-tonnin hintaa. Tarkastelu on tehty loppukäytön (pakoputkesta tulevasta) CO₂-päästöstä, toisin sanoen liikenteen CO₂-taseen laskennan kannalta, ei kokonaispäästöjen (WTW) kannalta. Biopolttoaineilla ja sähköllä päästö on siis nolla. Vertailukohta on bensiiniauto (E0).

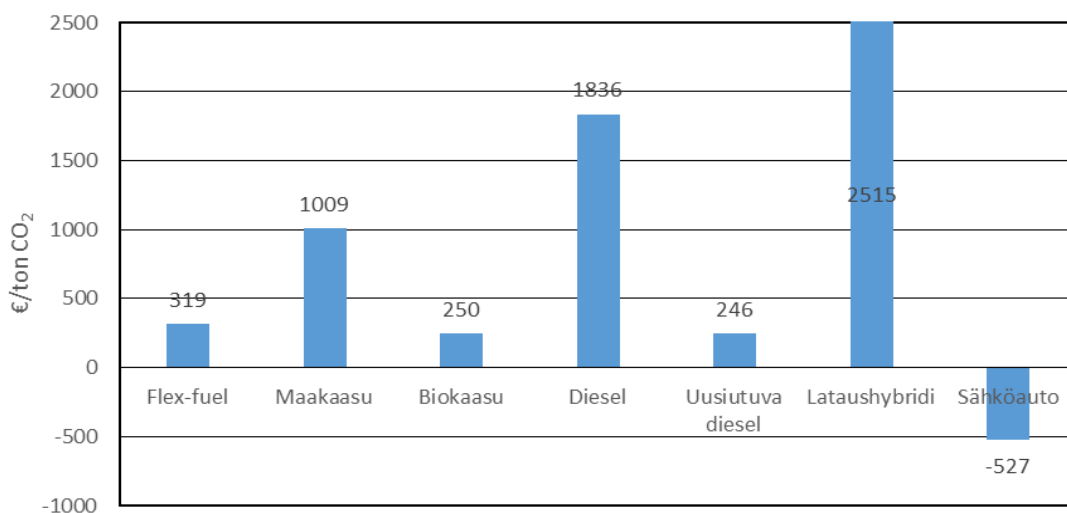
Biopolttoaineiden avulla vältetyn CO₂-tonnin hinta on haarukassa 50 - 300 €. Tämä vastaa varsin hyvin Roland Bergerin lukuja, tosin Roland Bergerin luvut on projisoitu vuoteen 2030.

Lataushybridi on kaikissa tapauksissa kustannustehottomin vaihtoehto, vältetyn CO₂-tonnin hinta on välillä 800 - 2500 €. Lataushybridi on kallis hankkia ja ylläpitää, ja sähköinen toimintamatka on rajallinen. Täyssähköauto suoriutuu selvästi paremmin vaihteluvälin ollessa 200 - 1400 €/per tonni CO₂:ta. Vuotuinen suorite vaikuttaa voimakkaasti niin maakaasun kuin dieselin kustannustehokkuuteen, haarukan ollessa dieselin osalta -200...+1800 €/t ja maakaasun osalta -100...+1800 €/t.



Kuva 10.11: Vältetyn CO₂ tonnin kustannus eri jäännösarvoilla ja suoritteella. Vertailukohteenä on fossiilista polttoainetta käyttävä bensiiniauto.

Kuvassa 10.12 on tarkasteltu tapausta, jossa täyssähköauto on oletettu samanhintaiseksi kuin bensiiniauto (n. 25.000 €), ja jossa euromääräinen jäännösarvo on sama kuin bensiiniautolla (10.000 €). Tässä tapauksessa täyssähköauto olisi myös ylivoimainen vältetyn CO₂ tonnin hinnan osalta, kustannuksen ollessa selvästi negatiivinen, -500 €/tonni.



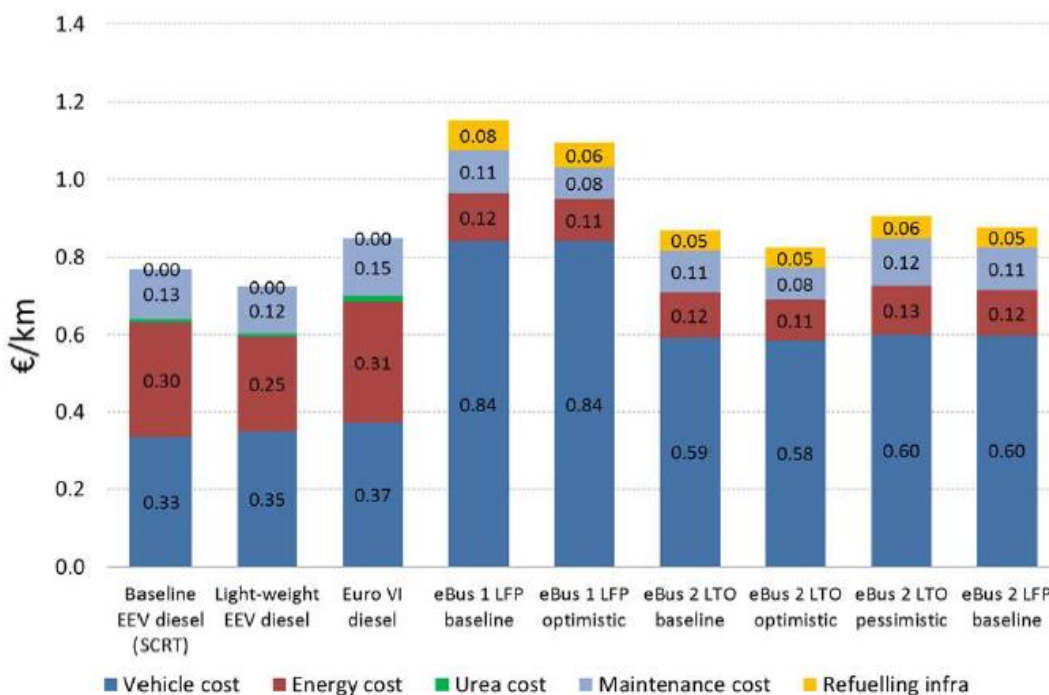
Kuva 10.12: Vältetyn CO₂-tonnin kustannus kiinteällä jäännösarvolla ja 17.000 km/a suoritteella. Täyssähköauton hinta ja jäännösarvo asetettu samoiksi kuin bensiiniautolla.

10.4 Vaihtoehtoisten teknologioiden hintavaikutukset busseissa

Raskaan kaluston osalta tarkastelukohteeksi otettiin bussit. Tarkasteltavat vaihtoehdot ovat diesel, uusiutuva diesel, maakaasu ja biokaasu. VTT:llä on busseista paljon mittaustietoa jota voidaan käyttää laskennan pohjana⁶⁴. Laskennan suorittaminen edellyttää ajomatkaan suhteutettuja suoritusarvoja, esim. polttoaineen kulutus l/100 km ja päästöarvot g/km. Ajoneuvojen valmistajat eivät yleensä ilmoita suoritusarvoja näissä muodoissa.

VTT on myös arvioinut sähköbussien kustannuksia⁶⁵. Sähköbusseihin ja sähköbussijärjestelmiin liittyy kuitenkin vielä epävarmuustekijöitä, mm. hintojen (itse ajoneuvot ja latausinfrastruktura) ja akkujen keston osalta, joten sähköbusseja ei sisällytetty tähän tarkasteluun. Pihlatie et al. arvioivat, että sähköbussit (kaupunkibussit) voivat jo nykytilanteessa olla kilpailukykyisiä dieselkalustoon verrattuna ilman mitään erityisiä tukia⁶⁵ (kuva 10.13). Osasyynä tähän on bussien korkea ajosuorite, jolloin alhainen energian hinta (sähkö vs. diesel) ja sähköbussien alhainen energian kulutus kompensoivat selvästi korkeampaa hankintahintaa. Tällä hetkellä on vaikea löytää muita sähköautoille soveltuvia käyttökohteita, joissa käyttöaste olisi yhtä korkea.

Kuvaa 10.13 voidaan käyttää dieselbussien ja sähköbussien keskinäiseen (suhteelliseen) vertailuun. Sen tuloksia ei voi verrata suoraan jäljempänä esitettäviin kuviin, koska esim. dieselpolttoaineen hinta on nyt eri kuin vuonna 2014, jolloin po. tarkastelu on tehty.



Kuva 10.13. Sähköbussien kilometrikustannus verrattuna dieselbusseihin⁶⁵.

Diesel-kaasubussivertailu on tehty seuraavin oletuksin:

- dieselbussin hinta: 230.000 €
- kaasubussin hinta: 270.000 € (+17 %)
- pitoaika: 15 vuotta
- jäännösarvo: 0 €
- korkokanta: 4 %

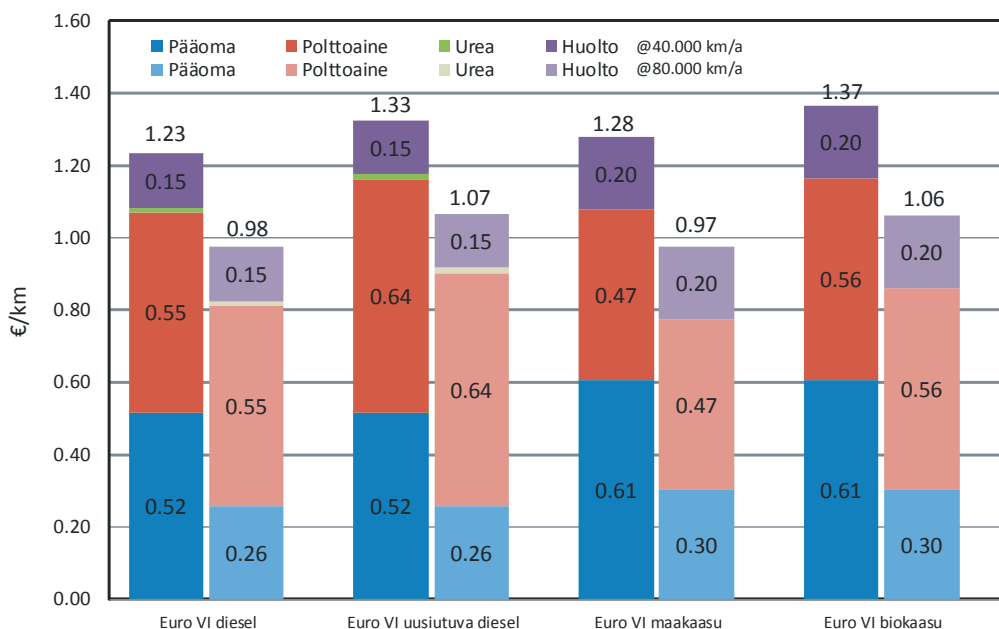
⁶⁴ http://www.transsmart.fi/files/398/Rakebus_2016_Projektin_loppuraportti.pdf

⁶⁵ Pihlatie, Mikko; Kukkonen, Samu; Halmeaho, Teemu; Karvonen, Veikko; Nylund, Nils-Olof
IEEE International Electric Vehicle Conference, IEVC 2014, 17 - 19 December 2014, Florence, Italy
IEEE (2014), 8 p.

- vuosisuorite: 40.000 ja 80.000 km/a
- energian kulutus (VTT:n mittausten perusteella):
 - dieselbussi 15,3 MJ/km
 - kaasubussi 19,4 MJ/km (+27 %)
- polttoaineiden hinnat: kohdassa 10.2 luetellut tammikuun 2017 lopun pumppuhinnat
- urean kulutus: 5 % polttoaineen kulutuksesta (dieselbussi)
- urean hinta: 0,9 €/l
- huoltokustannus:
 - dieselbussi 0,15 €/km
 - kaasubussi 0,20 €/km (+33 %)

Laskentatulokset on esitetty kuvassa 10.14, jossa suorite on busseille tyypillinen 80.000 km/a tai myös jakeluautoille tyypillinen 40.000 km/a. Tulos 80.000 km:n vuosisuoritteella on mielenkiintoinen. Käytetyillä laskentaparametreilla diesel ja maakaasu antavat lähes identtisen kilometrikustannuksen, ja vastaavasti pari uusiutuva diesel ja biokaasu antavat lähes identtisen kustannuksen. Tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että maakaasu on lievemmin verotettua kuin diesel, ja ettei biokaasussa ole lainkaan energiaveroja. Henkilöautojen osalta kaasuautojen käyttövoimavero tasaa verotuksen epäsuhdetta hieman.

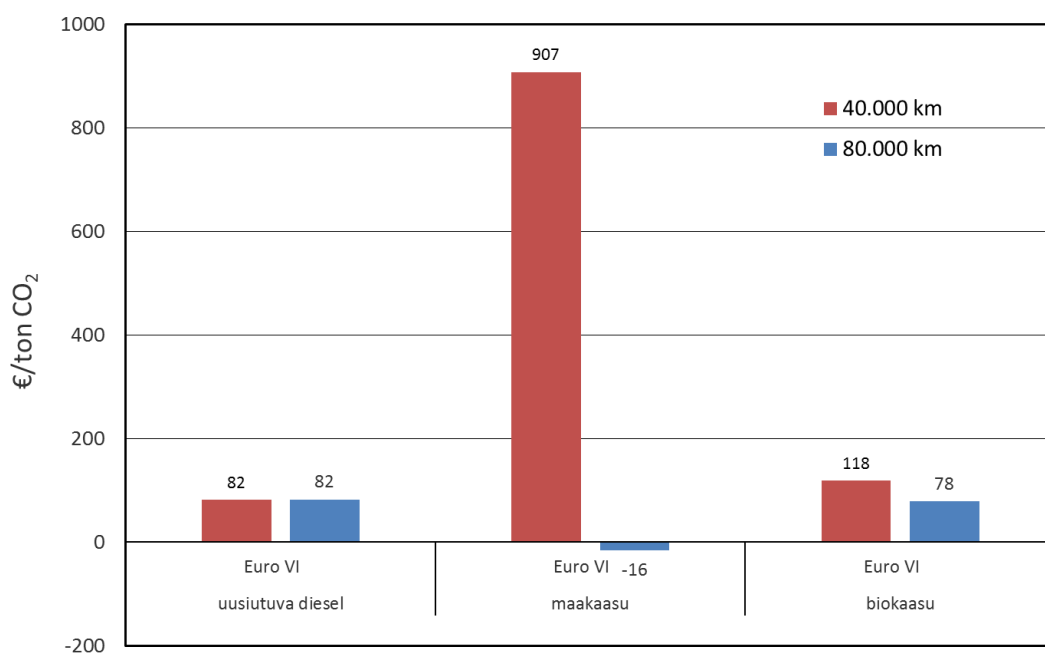
Bussituloksia voidaan jossakin määrin peilata myös keskiraskaaseen kuorma-autokalustoon. Jakeluajossa vuosisuorite jää alhaisemmaksi kuin busseilla. Vuosisuoritteen laskiessa (40.000 km kuvassa 10.14) kaasuauto muuttuvat hieman epäedullisimmiksi dieselautoihin verrattuna, koska pääomakustannuksen osuus kasvaa. Keskiraskas kuorma-auto on selvästi halvempi kuin bussi, joten kaasukäytön suhteellinen lisäkustannus on kuorma-autossa merkittävämpi kuin bussissa.



Kuva 10.14: Bussien kilometrikustannus eri polttoainevaihtoehdoilla. Suorite 40.000 tai 80.000 km/a. Tyypillinen suorite jakeluorma-autoille 40.000 km/a.

Kuvassa 10.15 on esitetty vältetyn CO₂-tonnin hinta. Biopolttoaineiden avulla vältetyn CO₂-tonnin hinta on noin 100 €. Ajokilometrit vaikuttavat hintaan vain vähän. Maakaasun kohdalla ajosuorite vaikuttaa voimakkaasti vältetyn CO₂-tonnin hintaan. Pakoputkesta mitattu CO₂-päästö on maakaasulla marginaalisesti pienempi (-5 %) dieselkäyttöön verrattuna. Vuosisuoritteella 80.000 km/a maakaasuauto on 0,01 €/km halvempi kuin diesel, jolloin CO₂-hinta kääntyy negatiiviseksi. Maakaasun käyttö olisi siis tässä tapauksessa kustannustehokas

vaihtoehto, mutta päästövähennyspotentiaali (-5 %) on vaatimaton. 40.000 km/a suoritteella maakaasun kilometrikustannus on kalliimmasta autosta johtuen 0,05 €/km dieseliä kalliimpi, jolloin vältetyn CO₂-tonnin hinnaksi tulee noin 900 €.



Kuva 10.15: Vältetyn CO₂-tonnin kustannus bussille tyypillisellä 80.000 km/a suoritteella.

11. Kansantaloudelliset vaikutukset

Kansantaloudellisia vaikutuksia on arvioitu laskennallisen, yleisen tasapainon mallin avulla kuten alkuperäisessä vuoden 2015 raportissakin. Arvion taustana olevaa kansantalouden kehitysarviota ei vertailtavuuden säilyttämiseksi muutettu, vaan päivitys keskittyi liikenteen päästöjen vähentämisehtojen päivitykseen.

Liikenteen skenaarioissa toteutetaan muutoksia ajoneuvokannassa, polttoaineiden ja sähkön kulutuksessa ja kotimaisten polttoaineiden tuotannossa talouden perusuraan nähden. Kansantaloudellisessa tarkastelussa nämä muutokset otetaan annettuna ja keskitytään niihin kerrannaisvaikutuksiin, joita muutoksista aiheutuu. Keskeisiä ajureita muutosten välittymiselle ovat:

- 1) Uusien ajoneuvojen määrät ja myyntiosuudet (luvun 7. mukaan)
- 2) Ajoneuvokannan muutoksesta aiheutuva vaikutus uusien ajoneuvojen keskihintaan, johon vaikuttaa vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävien, hybridien ja sähköautojen hintaero perinteisiin autoihin nähden
- 3) Uuden ajoneuvokannan vaatimat investoinnit jakelu- ja latausinfrastruktuuriin
- 4) Kotimaisen polttoaineiden tuotannon kehitys ja tuottajahinnat
- 5) Tuontipolttoaineiden hinnat
- 6) Muutokset sähkön kulutuksessa ja tuotannossa
- 7) Polttoaineiden kulutuksen vaikutukset polttoaineveroihin ja polttoaineiden kuluttajahintoihin, joka aiheutuu biopolttoaineiden osuuden kasvusta

Ajoneuvokannan muutoksien mahdollisesti vaatimia muutoksia ajoneuvoverotuksessa tai käyttömaksuissa ei tässä yhteydessä arvioitu erikseen, vaan muutoksien oletetaan toteutuvan sellaisenaan, kuten ko. skenaarioissa on oletettu. Myöskään biojalostamoiden mahdollisesti vaatimia julkisia tukia ei tässä yhteydessä erikseen arvioitu. Lisäksi tarkastelussa oletettiin, että polttoaine- ja ajoneuvoverojen kertymän muutoksien vaikutukset valtiontalouteen kompensoidaan kaikkeen kulutukseen kohdistuvalla hyödykeverotuksella, käytännössä esimerkiksi arvonlisäveron korotuksilla, jolloin muutokset ajoneuvokannassa ja sen käyttämissä energiatuotteissa eivät muuta kokonaisverokertymää. Muilta osin kansantalouteen vaikuttavien ajurien oletettiin kaikissa skenaarioissa säilyvän samoina.

Kuvassa 11.1 tarkastellaan skenaarioiden eroa kansantalouden kysyntäerien kasvukontribuutioiden kautta. Kaikissa skenaarioissa hyödynnetään nestemäisiä biopolttoaineita 40 %:n päästövähennemän saavuttamiseksi. Sekä "sähkömax" että "kaasumax"-skenaariot vähentävät nestemäisen biopolttoaineen tarvetta vuonna 2030 nestemäisiin biopolttoaineisiin painottuvaan "kehitys"-skenarioon verrattuna.

"Sähkömax"-skenaariossa sähköautojen määräksi vuonna 2030 on asetettu 600.000 kappaletta, "kaasumax"-skenaariossa on vastaavasti 200.000 kaasuhenkilöautoa, ja lisäksi ras-kaassa kalustossa kaasun osuus on 10 % ajosuoritteesta. "Kehitys"-skenaariossa on 150.000 sähköautoa ja 50.000 kaasuhenkilöautoa. Kaikissa skenaariossa biopolttoaineiden käyttö nousee vuoden 2020 tasosta.

"Sähkömax"-skenaariosta tehtiin kaksi versiota, jotka eroavat toisistaan sähköautojen hintakehityksen osalta:

- "Sähkömax"-perusversio, jossa sähköauto on polttomoottoriautoa kalliimpi vielä vuonna 2030 (lähde: Roland Berger²⁰)
- "Sähkömax2", jossa sähköauton hinta laskee polttomoottoriauton tasolle jo vuonna 2025, kuten lähteessä²² esitetään.

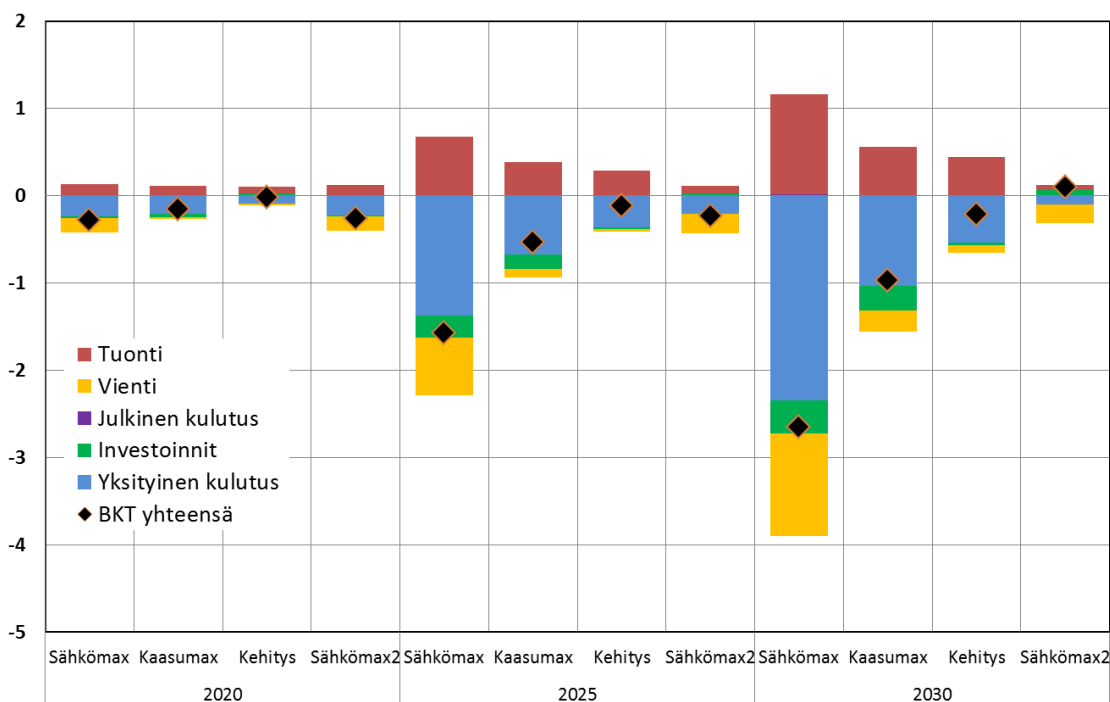
Kuvasta näkyy, että sekä "kaasumax"- että "sähkömax"-skenaarioissa ("sähkömax"-perusversio) lisäkustannus leikkaa ennen kaikkea kulutuskysyntää, jonka lasku selittää puolet kansantuotteen laskusta perusuraan verrattuna. Tuonnin pieneneminen selittyy osittain kulu-

tuksen pienenemisellä, osittain siihen vaikuttaa se, että myös vienti laskee (jolloin välituotteiden tuontikin pienenee). Kulutuksen pienenemisen takana on ennen kaikkea ostovoimaa heikentävä polttoaineiden ja autojen hintojen nousu. "Kehitys"-skenaariossa ostovoiman heikkeneminen aiheutuu enemmän polttoaineiden kuin autojen hinnasta. Hieman muunnellussa "sähkömax2"-skenaariossa sähköautojen hintaeron oletetaan poistuvan kokonaan 2025 mennessä, jolloin vaikutukset kulutuskysyntään vuonna 2030 jäävät olemattomiksi.

Uusien autojen hintakehityksellä on ratkaiseva merkitys skenaarioiden välisten erojen kannalta, vaikka infrastruktuurin vaatimat investoinnitkin vaikuttavat eroja hieman kasvattavasti. Skenaarioissa lähdetään siitä, että kaasu- ja sähköautojen hinta on perinteisiä korkeampi, mutta 2020-luvulla hintaero alkaa kaventua Roland Bergerin²⁰ arvioiden mukaisesti. "Sähkömax"-skenaariossa vaikutukset kansantuotteeseen ovat suurimmat hyvin pitkälti siksi, että uusien autojen keskihinta nousee siinä aluksi voimakkaasti sähköautojen lisähinnan kaventuessa vasta vuotta 2030 kohti.

"Sähkömax2"-skenaariossa puolestaan oletetaan, että uusien sähköautojen lisähinta poistuisi huomattavasti aikaisemmin, jo vuoteen 2025 mennessä. Tällöin lisäkustannus kansantaloudelle olisi samaa luokkaa "Kehitys"-skenaariossa. "Kaasumax"-skenaariossa ajoneuvokohtainen lisäkustannus on pienempi kuin sähköautoskenaariossa, mutta kotimaisen biokaasuntuotannon kustannusarvioita on tarkennettu aiempaan verrattuna. Tässä on oletettu, että biokaasun tuotantokustannukset nousevat, kun tuotannon kasvaessa joudutaan siirtymään kalliimpiin tuotantoprosesseihin. Käytännössä tämä tapahtuu kaasukäyttöisen ajoneuvokannan kasvettua yli 50.000:n yksikön.

Suomalaiset eivät millään tavalla voi vaikuttaa sähköhenkilöautojen hintakehitykseen. Biopolttoaineiden osalta suomalaiset yritykset ja suomalainen tutkimus puolestaan kulkevat kehityksen kärjessä, ja Suomessa tehtävillä valinnoilla voidaan vaikuttaa kehityksen kulkuun. Sähköautojen osalta laskelmat osoittavat, että mahdolliset edistämistoimenpiteet autojen hankintaan kannattaisi aloittaa vasta kun hinnat ovat laskeneet ja autojen suorituskyky on parantunut (kts. luku 8).



Kuva 11.1: Eri skenaarioiden vaikutukset kansantalouden kysyntäeriin ja BKT-kokonaismuutos.

Tieliikenteen kuljetusten (sekä marginaalit että välituotekäyttö) osuus on koko kansantalouden välituotekäytöstä vajaan prosentin ja kokonaiskustannuksista noin puoli prosenttia. Toimialojen välillä on suuria eroja: monien työvoimavaltaisten julkispalvelujen välituotekäytön osuus on 3 – 4 prosenttia, kun taas teollisuudessa osuus on lähes kaikilla toimialoilla pienempi. Tiekuljetusten osuus nousee 1 – 4 prosenttiin välituotekäytöstä lähinnä vain kaivannaisteollisuudessa, metsäteollisuudessa, kemian teollisuudessa ja osassa metallien jalostusta, ja se liittyy siis näiden toimialojen arvoketjuihin, joissa raaka-aineiden liikuttelu kotimaassa on välttämätöntä. Monet toimialat käyttävät liikennepolttoaineita välituotteinaan, mutta niiden osuutta ei tässä ole huomioitu.

12. Alustava arvio vuoden 2050 kalustosta ja energiamääristä

Vaikka tämän raportin pääasiallinen tarkoitus oli vertailla eri vaihtoehtoja vuoden 2030 tilanteessa, ja tähdätä siihen ajankohtaan asetettujen KHK-päästövähennemien saavuttamiseen, on tarkastelu ”sähkömax”-skenaarion osalta ulotettu aina vuoteen 2050 asti. Tällä tarkastelulla haluttiin tutkia, miten olisi mahdollista saavuttaa merkittävät 80 - 90 % KHK-päästövähennykset maantieliikenteessä jatkona v. 2030 toimenpidevalikolle.

Ulotettaessa ”sähkömax”-skenaario vuoteen 2050 oletettiin, että vuodesta 2030 eteenpäin uudet henkilö- ja pakettiautot olisivat vain sähkökäyttöisiä, ts. niissä polttomoottorit olisi kokonaan ”kielletty”, tai ne olisivat kuluttajalle niin paljon kalliimpia, ettei niitä ostettaisi. Lisäksi raskaissa ajoneuvoissa sähkökäyttö kasvaisi asteittain vuoteen 2050 mennessä siten, että 2050 mennessä pienemmissä kuorma-autoissa (kuorma-autot ilman perävainua, KAIP) uusien autojen myynnistä kaksi kolmasosaa (67 %) olisi sähkökäyttöisiä ja loput polttomoottorilla varustettuja, ja raskaiden perävaunullisten yhdistelmien (KAP) vetoautoissa sähkökäyttöisten osuus olisi 50 %, ja toinen puolikas olisi polttomoottorisia.

Tätä ei voida pitää realistisena tulevaisuutena, mutta sillä haluttiin testata, kuinka paljon vuonna 2050 tilanteessa edelleen olisi jäljellä ajoneuvoja, joihin tarvittaisiin nestemäisiä polttoaineita. Raskaiden ajoneuvojen pitoaika on tyypillisesti yli 20 vuotta. Kun lisäksi bio- ja uusiutuvia polttoaineita valmistavat laitokset ovat suuria investointeja ja niillä on tyypillisesti 20 - 30 vuoden käyttöikä, tällä ”sähkömax”-skenaarion jatkamisella haluttiin arvioida, kuinka paljon vuoden 2050 tilanteessa niiden valmistamille tuotteille olisi kulutuskysyntää.

Taulukossa 12.1 on esitetty ajoneuvokannan koostumus ”sähkömax”-skenaariossa vuosille 2030 ja 2050.

Taulukko 12.1: Ajoneuvokannan koostumus ”sähkömax”-skenaariossa vuosina 2030 ja 2050.

Ajoneuvot [kpl]	2030	2050	osuus
	SÄHKÖMAX	SÄHKÖMAX	
Henkilöautot, bensiini	1 346 283	265 959	8 %
Henkilöautot, diesel	958 830	171 524	5 %
Henkilöautot, FFV	3 995	59	0 %
Henkilöautot, GAS	50 000	10 273	0 %
Henkilöautot, PHEV	200 000	41 040	1 %
Henkilöautot, BEV	400 000	2 849 323	85 %
Henkilöautot, FCEV	0	0	0 %
Henkilöautot, yhteensä	2 959 108	3 338 178	100 %
Pakettiautot, bensiini	2 063	874	0 %
Pakettiautot, diesel	272 958	130 541	40 %
Pakettiautot, FFV	0	0	0 %
Pakettiautot, GAS	5 910	28 643	9 %
Pakettiautot, PHEV	5 000	22 717	7 %
Pakettiautot, BEV	25 000	141 085	44 %
Pakettiautot, FCEV	0	0	0 %
Pakettiautot, yhteensä	310 931	323 843	100 %
Linja-autot, diesel	12 507	9510	63 %
Linja-autot, ED95	0	0	0 %
Linja-autot, GAS	106	418	3 %
Linja-autot, PHEV	0	0	0 %
Linja-autot, BEV	1 500	5000	34 %
Linja-autot, FCEV	0	0	0 %
Linja-autot, yhteensä	14 112	14 829	100 %
Kuorma-autot, diesel	100 308	87 909	72 %
Kuorma-autot, ED95	0	0	0 %
Kuorma-autot, GAS	1 032	8 926	7 %
Kuorma-autot, PHEV	0	0	0 %
Kuorma-autot, BEV	6 312	25 640	21 %
Kuorma-autot, FCEV	0	0	0 %
Kuorma-autot, yhteensä	107 652	122 475	100 %
yhteensä	3 391 803	3 799 325	+12%

Kuten taulukosta 12.1 nähdään, sähköistyminen on henkilö- ja pakettiautoissa edennyt varsin pitkälle, mutta siitä huolimatta jäljellä on vielä lähes puoli miljoonaa bensiini- ja dieselkäyttöistä henkilö- ja pakettiautoa v. 2050. Tämä vähän yllättäväkin tulos on seurausta malliin kuvatusta, Suomelle tyypillisestä varsin pitkästä henkilöautojen pitoajasta ja korkeasta romutusiästä. Tähän vaikuttaa kuitenkin voimakkaasti autojen verotusmallit, joten jos autoverotusta siirrettäisiin hankinnasta käyttöön, poistuma-ajat varmasti lyhenisivät, jolloin 2050 tilanteessa koko henkilö- ja pakettiautoautokanta voisi olla sähkökäyttöistä, koska jo 2030 mennessä sähköautojen teknologian voidaan olettaa olevan riittävän kehittyntä ja hintakilpailukykyistä.

Näiden lisäksi kannassa olisi vajaat 100.000 raskasta dieselajoneuvoa. Niiden määrään ei autoveron poistaminen vaikuta, vaan teknologian kehittymättömyys: emme voi olettaa, että jo vuonna 2030 olisi mahdollista merkittävästi sähköistää raskaita ajoneuvoja, mutta 2050 mennessä se voisi olla jo mahdollista eri teknologiolla, mm. vetyä käyttävillä polttokennoilla tai trolleybussien tapaan ajojohdosta saatavalla sähköllä, ainakin joillain keskeisillä päätieosuuksilla.

Taulukkoon 12.2 on sitten koottu polttoaineiden kokonaiskysyntä "sähkömax"-skenaariossa vuosina 2030 ja 2050. Siitä nähdään, että dieselpolttoaineita tarvittaisiin vuonna 2050 vielä yli 1 milj. toe/a, ja vastaavasti uusiutuvan dieselin määrä, joka on sama kuin vuodelle 2030 arvioitu uusiutuvan *drop-in* -dieselin tarve tavoiteltaessa 40 % vähenemää, johtaa vuonna 2050 yli 80 % prosentin päästövähennemään.

Olisi siis hyvinkin todennäköistä, että vuoden 2030 uusiutuvan dieselin tuotantolaitoskapasiteetille riittäisi kysyntää vielä ainakin seuraaville 20 vuodelle, ja jos bio-osuutta vähitellen nostettaisiin, päästäisiin kohti 90 % KHK-päästövähennemiä vuonna 2050. Lentoliikenteen kulutus tulisi tämän lisäksi ehkä jopa nostamaan kysyntää ja tuotantotarvetta.

Taulukko 12.2. Polttoaineiden kysyntä "sähkömax"-skenaariossa vuosina 2030 ja 2050. Sähkökäytön lisäksi biopolttoaineiden määrää on nostettu suuremman CO₂-päästövähennemän saavuttamiseksi.

	2030	2050
Yhteensä	SÄHKÖMAX+	SÄHKÖMAX+
Fossiilinen bensiini toe/a	674 779	86 902
Fossiilinen diesel toe/a	1 603 463	536 187
Uusiutuva diesel toe/a	718 101	718 101
Etanoli toe/a	49 721	14 343
Biokaasu toe/a	41 537	219 105
Sähkö toe/a	204 637	900 175
Vety toe/a	0	0
Uusiutuvat yhteensä (diesel, etanoli, biokaasu ja sähkö)	1 014 073	1 851 723
Uusiutuvien osuus (%)	30.8 %	74.8 %
Energia yhteensä toe/a	3 392 315	2 474 812
Energia yhteensä; suhteessa PERUS 2030 (%)	95 %	71 %
CO₂-päästöt (tonnia/a)	7 036 101	1 928 896
CO ₂ -päästöjen vähenemä (%) vs. 2005	-40 %	-84 %
Bio-osuus dieselissä (til-%)	32.0 %	57.3 %
Etanoli bensiinissä (til-%)	10.0 %	20.0 %
Biokaasun osuus metaanista (%)	100 %	100 %
Biokaasu GWh/a (1 toe=11,63 MWh)	483	2548
Dieselpolttoaineiden kysyntä yhteensä, toe/a	2 321 394	1 254 288

Suomessa myynnissä olevat ”vaihtoehtoautot” ja niiden verolliset hinnat (marraskuu 2016).

tyyppi	merkki	malli	tarkenne	käyttö-voima1	käyttö-voima2	verollinen hinta, €
FFV	Volkswagen	Golf Sportsvan	Comfortline 1,4 TSI 92 kW (125 hv)	Bensiini	Etanoli	28,392
1						
CNG	Audi	A3	Sportback g-tron 1,4 TFSI CNG 81 kW	Bensiini	CNG	29,338 ... 34,628
CNG	Mercedes-Benz	B	200 c	CNG	Bensiini	40,427 ... 41,698
CNG	Opel	Zafira	Enjoy 1,6 XNT Turbo Biokaasu 110kW MT6	CNG	Bensiini	33,772
CNG	Opel	Combo	Tour L1H1 Enjoy 1,4 CNG 88kW MT6 (XIAA)	CNG	Bensiini	28,509
CNG	Seat	Mii	1,0 68 Ecofuel Style 5-ov.	CNG	Bensiini	15,967
CNG	Seat	Leon	1,4 TGI 110 Style	CNG	Bensiini	25,221 ... 26,417
CNG	Skoda	Citigo	1,0 G-TEC Ambition 3-ov.	CNG	Bensiini	15,973 ... 17,100
CNG	Skoda	Octavia	1,4 TSI G-TEC Ambition	Bensiini	CNG	24,780
CNG	Volkswagen	up!	eco up! 1,0 50 kW (68 hv)	CNG	Bensiini	16,488
CNG	Volkswagen	Golf	Comfortline 1,4 TGI 81 kW (110 hv) BLUEMOTION	CNG	Bensiini	27,497 ... 33,003
CNG	Volkswagen	Caddy	Kombi 1,4 TGI 81kW maakaasu/bens.	CNG	Bensiini	29,278 ... 35,005
11						
PHEV	Audi	A3	Sportback 1,4 TFSI e-tron S tronic	Bensiini	Sähkö	40,792 ... 44,006
PHEV	BMW	7-sarja	G11 Sedan 740e iPerformance A Business Exclusive	Bensiini	Sähkö	110,831
PHEV	BMW	7-sarja	G12 Sedan 740Le iPerformance A xDrive Business Exclusive	Bensiini	Sähkö	125,789
PHEV	BMW	i3	60Ah REX / 94Ah REX	Sähkö	Bensiini	43,584...45,131
PHEV	BMW	2-sarja	F45 Active Tourer 225xe A Business	Bensiini	Sähkö	41,426...45,966
PHEV	BMW	3-sarja	F30 Sedan 330e A	Bensiini	Sähkö	45,883...51,921
PHEV	Kia	Optima	2,0 GDI PHEV A/T	Bensiini	Sähkö	43,990...46,990
PHEV	Mercedes-Benz	E	350 e A Premium Business	Bensiini	Sähkö	67,087... 70,339
PHEV	Mercedes-Benz	GLC	350 e 4Matic A Premium Business AMG	Bensiini	Sähkö	63,911 ...69,000
PHEV	Mercedes-Benz	S	500 e L	Bensiini	Sähkö	130,969
PHEV	Mitsubishi	Outlander PHEV	Intense 4WD 5P	Bensiini	Sähkö	48,490...53,990
PHEV	Porsche	Panamera	4 E-Hybrid	Bensiini	Sähkö	123,361...131,912
PHEV	Volkswagen	Golf	GTE	Bensiini	Sähkö	41,991
PHEV	Volkswagen	Passat	GTE	Bensiini	Sähkö	49,088
PHEV	Volvo	V60	D5/D6 Twin-engine	Diesel	Sähkö	59,227 ... 62,798
PHEV	Volvo	XC90	T8 Twin-engine	Bensiini	Sähkö	92,166
16						
BEV	BMW	i3	60Ah/94Ah	Sähkö		39,067 ... 40,601
BEV	Mercedes-Benz	B	250 e	Sähkö		44,493
BEV	Nissan	Leaf	24 kWh/30 kWh	Sähkö		34,990 ... 36,990
BEV	Nissan	e-NV200	Van A/T Comfort Blind FD, Blind SSD	Sähkö		36,936
BEV	Nissan	e-NV200	Combi 5 A/T Comfort Plus DSD French Doors Nissan Connect	Sähkö		36,936
BEV	Peugeot	iOn	Active	Sähkö		31,948
BEV	Volkswagen	up!	e-up! 60 kW (82 hv) automaatti	Sähkö		29,028
BEV	Volkswagen	Golf	e-Golf	Sähkö		41,832
BEV	Tesla	Model S	P60/P60D, P70/P70D, P95D, P100D	Sähkö		79,900 ... 158,400
BEV	Tesla	Model X	P70D, P95D, P100D	Sähkö		103,100 ... 159,600
10						
FCEV	Hyundai	ix35	Fuel Cell	Vety		71,154
1						