



TUTKIMUSRAPORTTI

VTT-R-00752-15



Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehdot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset

Kirjoittajat: Nils-Olof Nylund, Saara Tamminen, Kai Sipilä, Juhani Laurikko, Esa Sipilä, Kari Mäkelä, Ilkka Hannula, Juha Honkatukia

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi		
Tieliikenteen 40 %:n hiilidioksidipäästöjen vähentäminen vuoteen 2030: Käyttövoimavaihtoehtot ja niiden kansantaloudelliset vaikutukset		
Asiakkaan nimi, yhteystiedot ja yhteystiedot		Asiakkaan viite
Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) Jukka Saarinen, yli-insinööri Energiaosasto, Uusiutuva energia ja päästökauppa PL 32, 00023 VALTIONEUVOSTO, jukka.saarinen@tem.fi		
Projektin nimi		Projektin numero/lyhytnimi
Biopolttoaineet 2020 – 2030 tavoitteissa ja liikenteen muu uusiutuva energia: Vaikutukset ilmastoon ja kansantalouden kannalta		100806; TEM2GSelvitys
Raportin laatija(t)		Sivujen/liitesivujen lukumäärä
Nils-Olof Nylund, Kai Sipilä, Juhani Laurikko, Saara Tamminen (VATT), Esa Sipilä (Pöyry), Kari Mäkelä, Ilkka Hannula, Juha Honkatukia (VATT)		105/204
Avainsanat		Raportin numero
hiilidioksidipäästöt, tieliikenne, vähentäminen, biopolttoaineet, kansantalous		VTT-R-00752-15
Tiivistelmä		
<p>Työssä selvitettiin millä toimenpiteillä ja millä kustannuksilla Suomen tieliikenteessä voidaan saavuttaa 30 tai 40 %:n vähenemä tieliikenteen hiilidioksidipäästöissä (CO₂) vuoteen 2030 mennessä vertailuvuoden ollessa 2005. Tieliikenteen CO₂ päästöt määräytyvät suoritteiden, energian kulutuksen ja käytetyn polttoaineen hiili-intensiteetin perusteella. Liikenteen CO₂ päästöjen laskennassa biopolttoaineet, vety ja sähkö oletetaan hiilineutraaleiksi.</p> <p>Työssä 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 koskevasta arvoista yhdessä Pöyryn kanssa. Ramboll teki konsulttityönä selvityksen jakeluinfrastruktuurin yksikkökustannuksista. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT) puolestaan arvioi eri skenaarioiden käyttöönoton vaikutuksia kansantalouden kannalta.</p> <p>Työssä luotiin teknologiaskenaariot, joissa päästöjen vähentäminen toteutettiin eri teknologioilla. Perusskenaariona käytettiin pääasiassa bensiini- ja dieselautoihin perustuvaa, ja nykyiseen jakeluvaihtoehtoon ja verotukseen perustuvaa skenaariota, jossa päästöt vähenisivät 21 % vuoteen 2030 mennessä vuoden 2005 päästöihin verrattuna. Teknologiaskenaarioissa päästöjä vähennettiin eri keinoilla lisää, jotta saavutettiin 40 % päästövähennys, ja niiden tuloksia verrattiin tähän perusskenaarioon.</p> <p>KEHITYS-skenaario, jossa päästövähennykset saavutetaan pääasiassa kotimaisten biopolttoaineiden avulla, on kansantalouden kannalta edullisin ratkaisu. Siinä biopolttoaineiden käyttö kasvaa nykyisestä noin 600 ktoe/a, josta osa on biokaasua. Kaasuautojen määrän arvioitiin olevan runsaat 50 000 vuonna 2030, ja myös sähköautojen yleistymisen uskotaan nopeutuvan vuoden 2020 jälkeen johtaen noin 100 000 – 200 000 ladattavan auton kantaan.</p>		
Luottamuksellisuus	julkinen	
Espoo 11.6.2015		
Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Nils-Olof Nylund, tutkimusprofessori	Tiina Koljonen tutkimustiimin päällikkö	Johannes Hyrynen tutkimusalueen päällikkö
Jakelu (asiakkaat ja VTT)		
Tilaaja (5), VTT (5), VATT (3)		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

Alkusanat

Tutkimuksessa arvioidaan biopolttoaineiden ja muiden vaihtoehtoisten energiamuotojen käyttöönoton ilmasto- ja kustannusvaikutuksia. Tässä työssä tutkimus jatkaa ”Tieliikenteen uusiutuva energia ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen vuoteen 2020 mennessä” – selvityksen viitoittamaa tietä vaihtoehtoisten toimintapolkujen selvittämiseksi ja parhaiden vaihtoehtojen löytämiseksi vuoteen 2030. Edellisessä vaiheessa biopolttoaineiden ja sähköautojen vaikutuksia kansantalouteen tarkasteltiin melko karkealla tasolla. Nyt tavoitteena oli yksityiskohtaisempi tarkastelu, sisältäen myös jakeluinfrastruktuurin kustannukset.

Tutkimuksen pääpaino oli edelleen tieliikenteessä ja yleinen tavoite oli mahdollisimman tehokkaiden kehityspolkujen määrittely liikenteen päästöjen vähentämiseksi sekä uusiutuvan ja hiilineutraalin energian käyttöönottamiseksi. Päästövähennyspotentiaalien rinnalla tarkasteltiin kustannustehokkuutta, vaikutuksia kansantalouteen ja Cleantech-vientipotentiaalia.

Aikaisempi selvitys ulottui vuoteen 2020, nyt tarkasteltiin lähinnä vuotta 2030. Toimintakehitys on muuttunut merkittävästi edellisen selvityksen valmistumisen jälkeen. EU:n vuoden 2030 ilmasto- ja energiapolitiikka edellyttää kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämistä 40 prosentilla vuoden 1990 tasosta, ja EU:n tasoista 27 prosentin uusiutuvan energian osuutta energian loppukulutuksesta. Komission esityksen mukaan liikenteen osalta ei ole erillistä tavoitetta uusiutuvan energian osalta. Biopolttoaineiden kestävyyskriteerien määrittelyn tarkentaminen (ns. ILUC-direktiivi¹) on kestänyt pitkään, ja tämä on omalta osaltaan hidastanut investointeja biopolttoaineiden tuotantoon. Asiasta saatiin kuitenkin lopulta aikaan kompromissi², jonka Euroopan parlamentti hyväksyi täysistunnossaan 28.4.2015. Positiivista Suomen kannalta on, että tekstiin otettiin mukaan kirjauksia vuoden 2020 jälkeisen biopolttoainepolitiikan tärkeydestä investointiympäristön parantamiseksi ja kehoitettiin komissiota tekemään esityksiä tällaisesta politiikasta³.

Loppuvuodesta 2014 vahvistettiin myös ns. infrastruktuuridirektiivi, joka edellyttää jäsenmailta suunnitelmia kaasumaisten polttoaineiden tankkausinfrastruktuurista ja sähköautojen laatusasemista.

Käsillä oleva selvitys on toteutettu Teknologian tutkimuskeskus VTT:n ja Valtion taloudellisen tutkimuskeskus VATT:in yhteistyönä. Työn aikana tutkijat kävivät tiivistä keskustelua niin julkisen sektorin (lähinnä TEM ja LVM ja LVM:n alaiset virastot) kuin aihealueen yritystenkin kanssa. Alihankintana myös Pöyry Oy osallistui edistyksellisten biopolttoaineiden tuotantokenaarioiden ja tuotantokustannusten arviointiin, sekä Ramboll Oy jakeluinfran kustannustarkasteluun.

Keväällä 2014 VTT ja VATT julkaisivat TEM:n tilaaman EU 2030 ilmasto- ja energiapolitiikkaesityksen taustaraportin⁴. Siinä tarkasteltiin myös ei-päästökauppasektorin mahdollisuuksia saavuttaa 30-40 % kasvihuonekaasuvähennykset. Liikennesektori on haasteellisin ja rajakustannuksiltaan selvästi päästökauppasektoria kalliimpi. Tässä tarkastelussa biopolttoaineiden tarve oli suurimmillaan jopa 40 % korkeimman vähennystavoitteen skenaariossa.

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

Espoo 11.06.2015

Tekijät

¹ 2012/0288(COD); [http://www.europarl.europa.eu/oeil/popups/ficheprocedure.do?reference=2012/0288\(COD\)&l=en](http://www.europarl.europa.eu/oeil/popups/ficheprocedure.do?reference=2012/0288(COD)&l=en)

² <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=TA&language=EN&reference=P8-TA-2015-0100>

³ https://www.tem.fi/energia/tiedotteet_energia?89519_m=118000

⁴ Koljonen, Tiina; Honkatukia, Juha; Pursiheimo, Esa; Lehtilä, Antti; Sipilä, Kai; Nylund, Nils-Olof; Lindroos, Tomi J. EU:n 2030 - ilmasto- ja energiapaketin vaikutukset Suomen energiajärjestelmään ja kansantalouteen. Taustaraportti. VTT Technology : 170. VTT, Espoo, 2014. 66 s. + liitt. 2 s.

Sisällysluettelo

Alkusanat	4
Sisällysluettelo	5
Lyhenteitä ja terminologiaa.....	7
1. Laajennettu tiivistelmä	9
1.1 Yleistä.....	9
1.2 Ajoneuvo- ja energiamäärien määrittely	10
1.3 Skenaarioiden yleiskuvaukset.....	11
1.4 Skenaarioiden kansantaloudelliset vaikutukset	12
1.5 KEHITYS-skenaario.....	15
1.5.1 Lähtökohtia ja perusteita valinnoille	15
1.5.2 KEHITYS-skenaarioiden kuvaus sekä ajoneuvo- ja energiamäärät	16
1.5.3 Kansantaloustarkasteluja	19
1.6 Keskeiset tulokset ja päätelmät.....	20
1.7 Toimenpide-ehdotukset	20
2. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet.....	22
3. Tutkimuksen sisältö ja menetelmät	23
3.1 Yleistä.....	23
3.2 Tarkastelujen periaate ajoneuvokaluston osalta	23
3.3 VATTAGE laskenta.....	25
3.3.1 Skenaarioiden muodostaminen.....	25
3.3.2 Kansantalouseläskelmat	26
4. Muutokset toimintaympäristössä	30
4.1 Yleistä.....	30
4.2 EU:n vuoden 2030 ilmasto- ja energiapoliittiset tavoitteet	30
4.3 Biopolttoaineiden kestävyysvaatimukset.....	33
4.4 Direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta	34
4.5 Ajoneuvojen tarjonta ja ajoneuvoja koskevat säännökset	36
4.6 Raakaöljyn hintakehitys	37
5. Nykytilanteen kuvaus ja kaluston kehitysnäkymiä	39
5.1 Nykytilanne (autokanta, suoritteet, polttoaineet)	39
5.2 Vaihtoehtoista energiaa käyttävät autot Suomessa ja muissa Pohjoismaissa	42
5.3 Nykyinen verotus	42
5.4 Kokonaisajokustannusten vertailua.....	42
6. Arvioita biopolttoaineiden tuotantomahdollisuuksista	45
6.1 Yleistä.....	45
6.2 Biopolttoaineet, jotka edellyttävät muutoksia kalustoon ja jakeluun.....	46
6.2.1 Biokaasun tuotanto mädättämällä	46
6.2.2 Bioetanoli jäte-, tähde- ja lignoselluloosapohjaisista raaka-aineista	48
6.2.3 Synteettinen biometaanoli (SNG) metsätähteistä.....	49
6.2.4 Synteettinen biometanoli metsätähteistä.....	49
6.2.5 Biovety puun synteetisikaasusta	50
6.3 Tuotteet, jotka eivät edellytä muutoksia kalustoon ja jakeluun	51
6.3.1 Synteettinen biodiesel metsätähteistä.....	51
6.3.2 Synteettinen biobensiini metsätähteistä	51

6.3.3	Sähköenergialla valmistettavat liikennepolttoaineet	52
6.4	Yhteenveto tuotantokustannusarvioista	55
7.	Puupohjaisten liikenteen biopolttoaineiden nykytila ja kaupallistuminen.....	56
7.1	Eri tuotantoteknologioiden tuotantokustannukset puupohjaisille liikenteen biopolttonesteille	57
7.2	Suomen puupohjaisten biopolttoaineiden tuotantoskenaario vuodelle 2030.....	59
7.3	Puun saatavuus ja laitosten sijoittuminen	62
8.	Laskennan tausta-aineisto	66
8.1	ALIISA- mallin kuvaus.....	66
8.2	Skenaarioiden ajoneuvo- ja energiamäärät.....	66
8.3	Autokaluston kustannusarviot	70
8.4	Jakeluinfrastruktuurin kustannusarviot	72
8.5	Polttoaineiden ja jalostamoinvestointien kustannusarviot.....	72
8.5.1	Polttoaineiden hinta	72
8.5.2	Jalostamoinvestointien kustannusarviot	73
9.	VATTAGE laskenta.....	75
9.1	Skenaariot ja laskentatapa.....	75
9.2	Tulokset.....	80
9.3	Herkkyyslaskelmat.....	86
10.	KEHITYS -skenaario.....	88
10.1	Perusteita valinnoille.....	88
10.2	Autokaluston kehitysnäkymät ja arviot automääristä eri skenaarioissa	89
10.3	Kaasuautot	89
10.4	Korkeaseosetanoli (FFV) autot	90
10.5	Sähköautot	91
10.6	Taloudelliset vaikutukset KEHITYS -skenaariossa.....	94
10.7	KEHITYS -skenaario lukuina.....	95
11.	Johtopäätökset	101
12.	Yhteenveto	103
12.1	Keskeiset tulokset ja päätelmät.....	103
12.2	Toimenpide-ehdotukset	103
13.	Bibliography	105
14.	Liitteet.....	105

Lyhenteitä ja terminologiaa

B	bensiini
BEV	battery electric vehicle; täyssähköauto, akkusähköauto
bi-fuel	kaksoispolttoaineauto, esim. bensiini ja maakaasu
blending wall	tekninen rajoitus biopolttoainekomponentin käytölle
BKT	bruttokansantuote, arvonlisä
BTL	biomass-to-liquids; kiinteästä biomassasta valmistettu synteettinen biopolttoaine
Bxx	perinteisen biodieselin (FAME) osuus dieselpolttoaineessa
CBG	compressed biogas; paineistettu biokaasu
CCS	carbon capture and storage=hiilidioksidin talteenotto ja varastointi
CCU	carbon capture and utilization=hiilioksidin jalostus mm. metaaniksi
CEN	Comite Europeen de Normalisation=Euroopan standardointijärjestö
CNG	compessed natural gas; paineistettu maakaasu
CTL	coal-to-liquids; hiilestä valmistettu synteettinen polttoaine
CO ₂	hiilidioksidi
CRT	continuously regenerating trap; jatkuvatoiminen hiukkassuodatin
CWA	CEN Workshop Agreement; standardin esiaste
DI	diesel
DME	di-metyylieetteri
drop-in fuel	"heittämällä yhteensopiva polttoaine"= polttoaine joka ei aiheuta muutostarpeita jakeluinfrastruktuurissa tai ajoneuvoissa
dual-fuel	auto, jossa käytössä kaksi polttoainetta samanaikaisesti, esim. diesel ja maakaasu
ED95	dieselmoottoriin tarkoitettu lisäaineistettu etanolipolttoaine
EEV	enhanced environmentally friendly vehicle; vapaaehtoinen päästöluokka raskaalle kalustolle (Euro V+)
EGR	exhaust gas recirculation; pakokaasujen takaisinkierätyk
EKPS	päästökauppasektoriin kuulumattomat sektorit, kuten liikenne
EN228	bensiinin eurooppalainen laatustandardi
EN590	dieselpolttoaineen eurooppalainen laatustandardi
EtOH	etanoli
EU	Euroopan unioni
Euro xx	autojen päästöluokka, henkilöautot arabialaisin numeroin, raskas kalusto roomalaisin
Exx	etanolin pitoisuus bensiinissä
E85, RE85	korkeaseosteinen FFV autojen polttoaine
FAME	Fatty-Acid Methyl Esther, kasviöljystä esteröimällä tuotettu 1. sukupolven biodiesel (rasvahappoesteri)
FCV	Fuel Cell Vehicle; vetyä polttoaineena käyttävä polttokennosähköauto
FFV, flex-fuel	fuel flexible vehicle; auto joka pystyy käyttämään mitä tahansa bensiinin ja korkeaseosteisen etanolin seosta
FQD	Fuel Quality Directive; EU:n liikenne polttoaineiden laatua koskeva direktiivi, alkuperäinen versio 98/70/EC
FT	Fischer-Tropsch synteesi
GHG	greenhouse gases; kasvihuonekaasut (yleensä CO ₂ , CH ₄ N ₂ O)
GTL	maakaasusta valmistettu synteettinen polttoaine
HVO	hydrotreated vegetable oil; vetykäsitelty kasviöljy/eläinrasva
IEA	International Energy Agency; kansainvälinen energiajärjestö
LBG	liquefied biogas; nesteytetty biokaasu
LNG	liquefied natural gas; nesteytetty maakaasu
L _{b-ekv}	bensiini-ekvivalentti litra (lämpöarvojenperusteella)
Mt	miljoonaa tonnia
NER300	uuden energiateknologian rahoitusinstrumentti

NEXBTL	Nesteen tuotemerkki HVO-dieselpolttoainelle
NO _x	typen oksidit
PHEV	plug-in hybrid vehicle; lataushybridi, pistokehybridi
PKS	päästökaupan alaisuuteen kuuluvat sektorit
PPP	private-public partnership; yksityisen ja julkisen sektorin yhteishanke
P2G	power to gas= sähköllä tuotetun vedyn ja hiilidioksidin jalostus metaaniksi tai polttonesteiksi
R	RES-direktiivin minimivaatimusten mukainen biopolttoaine
RED	RES-direktiivi (2009/28/EY)
SCR	selective catalytic reduction; ureakatalysaattori typenoksideille
SCRT	SCR + CRT; ureakatalysaattorin ja hiukkassuodattimen yhdistelmä
SNG	synthetic natural gas; synteettinen metaani
T	RES-direktiivin mukaan tuplalaskettava biopolttoaine
TCO	total cost of operation; auton käytön kokonaiskustannukset
toe	ton of oil equivalent; öljykvivalenttitonni
TTW	tank-to-wheel; polttoaineen loppukäyttö
Uusiutuva diesel	dieselpolttoaine, joka on valmistettu uusiutuvasta raaka-aineesta; esim. HVO-tyyppinen tuote
VATT	Valtion taloudellinen tutkimuskeskus
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
WTT	well-to-tank; polttoaineketjun alkupää (tuotanto)
WTW	well-to-wheel; polttoaineen koko elinkaari
YVA	ympäristövaikutusten arviointi

Taulukko eri energiamuotojen vastaavuuksista (toe)

	kg/Nm ³	MJ/kg			kg	m ³	GJ	kWh	toe
			1	TOE			41.868	11 630	1
			1	kWh			0.0036	1	0.000086
diesel	832	43.1	1	tonne	1000	1.20	43.1	11 972	1.03
diesel	832	43.1	1	m ³	832	1	35.9	9 972	0.86
petrol	745	43.2	1	tonne	1000	1.34	43.2	12 000	1.03
petrol	745	43.2	1	m ³	745	1	32.2	8 944	0.77
FAME	890	37.2	1	tonne	1000	1.12	37.2	10 333	0.89
FAME	890	37.2	1	m ³	890	1	33.1	9 194	0.79
HVO	780	44.0	1	tonne	1000	1.28	44	12 222	1.05
HVO	780	44.0	1	m ³	780	1	34.2	9 500	0.82
EtOH	794	26.8	1	tonne	1000	1.26	26.8	7 444	0.64
EtOH	794	26.8	1	m ³	794	1	21.3	5 917	0.51
CBG	1.37	49.2	1	tonne	1000	728	49.2	13 667	1.18
CBG	1.37	49.2	1	m ³	1.374	1	0.068	18.8	0.0016
H2	0.085	120.1	1	tonne	1000	11 765	120.1	33 361	2.87
H2	0.085	120.1	1	m ³	0.085	1	0.010	2.8	0.00024

WELL-TO-TANK Appendix 1 - Version 4a Conversion factors and fuel properties

1. Laajennettu tiivistelmä

Työn keskeiset tulokset ja päätelmät ovat:

- Perusskenaario, jossa toteutetaan vain nykyiset toimenpiteet, päättyy vuonna 2030 tilanteeseen, jossa liikenteen CO₂-päästöjen vähenemä on runsaat 20 % verrattuna vuoden 2005 tasoon. Tarvittavan lisävähennyksen aikaansaamiseksi tarvitaan liikenteeseen lisää vähähiillistä tai hiilineutraalia energiaa.
- Kansantalouden kannalta kustannustehokkain tapa vähentää päästöjä on investoiminen kotimaisten, edistyskellisten drop-in biopolttoaineiden tuotannon ja käytön lisäämiseen. Niiden käytöllä ei ole heijastusvaikutuksia autokalustoon tai jakelujärjestelmään. Myös biokaasun käyttöä voitaisiin lisätä, mutta edellytyksenä on merkittävä kaasuajoneuvokannan kasvaminen. Kaluston uusiutumiselle ei kuitenkaan voida asettaa velvoitetta.
- Pääosa lisäkysynnän tyydyttämiseen tarvittavista uusinvestoinneista voitaisiin toteuttaa Suomessa tukeutuen kotimaiseen puu- ja jättepohjaiseen raaka-aineeseen. Kohdistamalla julkista tukea uuden teknologian kaupallistamiseen, kotimainen tuotanto voidaan saada hinnaltaan kilpailukykyiseksi tuontiin nähden. Mikäli kotimaiset uuden teknologian laitokset eivät toteudu, ja jakeluvelvoite halutaan silti toteuttaa, kestävien biopolttoaineiden tuonti kasvaa tai päästöjä joudutaan vähentämään muilla keinoilla.
- Sähköautojen kalliin nykyhinnan takia niiden laajamittainen käyttöönotto kannattaa vasta, kun kyseisten autojen kustannustaso on teknologiakehityksen myötä merkittävästi alentunut.

1.1 Yleistä

Tutkimuksessa arvioitiin tieliikenteen biopolttoaineiden ja muiden vaihtoehtoisten energiamuotojen ilmasto- ja kustannusvaikutuksia. Määrittelyjä tarkennettiin työn kestäessä vastaamaan alkuvuodesta 2014 esitettyjä EU:n ilmasto- ja energiatavoitteita vuodelle 2030, jotka edellyttävät kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämistä 40 prosentilla vuoden 1990 tasosta, ja EU:n tasoista 27 prosentin uusiutuvan energian osuutta⁵. Liikenteen osalta ei ole erillistä, virallista tavoitetta uusiutuvan energian tai kasvihuonekaasupäästöjen osalta.

Työssä selvitettiin toimeksiannon mukaisesti, millä toimenpiteillä ja millä kustannuksilla Suomen tieliikenteessä voidaan saavuttaa 30 tai 40 %:n vähenemä tieliikenteen hiilidioksidipäästöissä (CO₂) vuoteen 2030 mennessä vertailuvuoden ollessa 2005. VTT:n ja VATT:n TEM:ille ja YM:ille keväällä 2014 laatiman ilmasto- ja energiapolitiikkaesityksen taustaraportin⁴ mukaan liikennesektori on haasteellisin ja rajakustannuksiltaan selvästi päästökauppasektoria kalliimpi.

Tieliikenteen CO₂ päästöt määräytyvät suoritteiden, energian kulutuksen ja käytetyn polttoaineen hiili-intensiteetin perusteella. Liikenteen CO₂ päästöjen laskennassa biopolttoaineet, vety ja sähkö oletetaan hiilineutraaleiksi. Jos ajosuoritteet katsotaan annetuiksi tai lukituiksi, liikenteen CO₂ päästöihin voidaan vaikuttaa joko energiatehokkuutta parantamalla tai lisäämällä biopolttoaineiden ja sähköautojen käyttöä. Tässä teknologiapainotteisessa käyttövoimavaihtoehtoihin keskittyvässä selvityksessä mm. kulku- ja kuljetustapamuotoihin vaikuttaminen ja yleinen liikennejärjestelmän tehostaminen on jätetty tarkastelujen ulkopuolelle.

⁵ Vuoteen 2030 ulottuvat ilmasto- ja energiatavoitteet kilpailukykyiselle, varmalle ja vähähiiliselle EU:n taloudelle; lehdistötiedote, Bryssel 22.1.2014. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-54_fi.htm

Työssä VTT vastasi autokalustuskenaarioiden muodostamisesta, päästö- ja energiamäärien laskennasta sekä ajoneuvokalustoa koskevasta kehityksen arvioinnista niin teknologian kuin kustannustenkin osalta. Lisäksi VTT vastasi biopolttoaineiden tuotantopotentiaalia ja hintakehitystä koskevista arvoista yhdessä Pöyry Oy:n kanssa. Ramboll Oy teki konsulttityönä selvityksen jakeluinfrakstruktuurin yksikkökustannuksista (Liite 4). Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VATT) puolestaan arvioi eri kalusto- ja energiaskenaarioiden käyttöönoton vaikutuksia kansantalouden kannalta.

1.2 Ajoneuvo- ja energiamäärien määrittely

Ajoneuvokaluston laskennassa tehtiin joukko oletuksia. Ajosuoritteina käytettiin Liikenneviraston kesällä 2014 julkaisussa ”Valtakunnallinen tieliikenne-ennuste 2030”⁶ esittämiä lukuja. Liikenneviraston ennusteen mukaan suoritteet kasvavat vuoteen 2030 mentäessä, ja autokaluston määrää lisättiin vastaavasti. Kalustotarkastelut tehtiin VTT:n uudella ”ALIISA” –autokantamallilla, joka on VTT:n LIISA-laskentamallin⁷ alamalli. Mallin lähtökohtana on Suomen nykyinen autokanta, autojen myyntimäärät, poistumat, suoritteet, polttoaineiden kulutus ja CO₂-päästöt. Kaluston keskimääräiseksi uudistumisnopeudeksi oletettiin n. 6 %, mikä tarkoittaa että kaluston keski-ikä pysyy likimain muuttumattomana eli n. 11 vuodessa.

Tarkasteluiden referenssiksi luotiin perusskenaario, jossa ei erityisesti suosita mitään vaihtoehtoja tekniikkaa, pois lukien yhteensopivat biopolttoaineet eli drop-in dieselkomponentit ja matalaseokseellinen etanoli (E10). Perusskenaariossa ajoneuvot ovat siis pääasiassa normaaleja bensiini- ja dieselajoneuvoja. Suomessa on voimassa biopolttoaineiden jakeluvaihtelu⁸, jonka mukaan vuonna 2020 laskennallisen biopolttoaineosuuden tulee olla 20 %. Perusskenaarion laskennassa oletettiin, että biopolttoaineiden todellinen määrä nousee 15 %:iin vuoteen 2020 mennessä (vastaa vuoden 2012 ILARI baseline-oletusta⁹), ja pysyy sitten vakiona 15 %:ssä vuoteen 2030. Koska biopolttoaineet lasketaan nollapäästöisinä liikenteen CO₂-taseeseen, oletamus on siten että biopolttoaineiden liikenteen CO₂ päästöjä vähentävä vaikutus on 15 % vuosina 2020 – 2030.

Autokaluston energiatehokkuuden on oletettu parantuvan autokaluston uudistumisen myötä, henkilöautoilla keskimäärin 1,5 – 2 % ja muissa autoluokissa 0,5 % jaksolla 2015 – 2030. Lopputulos on, että **perusskenaariossa liikenteen CO₂ päästöt vähenevät noin 21 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä**. Biopolttoaineiden käyttö ja energiatehokkuus vaikuttavat päästöjä vähentävästi, kasvavat suoritteet päästöjä lisäävästi.

Jotta tieliikenne saavuttaisi 30 tai jopa 40 %:n CO₂-päästövähennyksen vuoteen 2030 mennessä tarvitaan siis lisätoimenpiteitä. Kulikutapamuotoihin vaikuttaminen ja autokaluston nopeutettu uusiminen (esim. verojärjestelyin) jätettiin tämän tarkastelun ulkopuolelle, koska selvityksellä haluttiin ensisijaisesti selvittää miten eri käyttövoimaratkaisulla¹⁰ voidaan vaikuttaa päästöihin, ja mitkä ovat eri vaihtoehtojen vaikutukset kansantalouden kannalta.

Tarkasteluissa ajoneuvojen pääluokkia on viisi; henkilöautot, pakettiautot, linja-autot, kuorma-autot ilman perävaunua ja perävaunulliset kuorma-autot. Henkilöautojen osalta tarkasteltiin seuraavia käyttövoimavaihtoehtoja: bensiini, diesel, korkeaseosetanoli (flexifuel/E85), kaasu (metaani), pistokehybridi (PHEV), akkusähköauto (BEV) ja vety (polttokennosähköauto FCEV). Myös muiden ajoneuvoluokkien osalta tarkasteltiin vaihtoehtoisia käyttövoimatyyppejä, mutta rajoitetummin koska tarjontaa on vähemmän. Esim. perävaunullisten kuor-

⁶ Jukka Ristikartano, Pekka Iikkanen, Juha Tervonen, Tuomo Lappi; Valtakunnallinen tieliikenne-ennuste 2030; Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 13/2014. Liikennevirasto, Helsinki 2014.

⁷ http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2014-13_valtakunnallinen_tieliikenne-ennuste_web.pdf

⁸ LIISA 2012- Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä; <http://lipasto.vtt.fi/liisa/>

⁹ Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä (1420/2010), Helsinki 2010.

¹⁰ Ilmastonmuutoksen hillinnän toimenpidekokonaisuudet liikennesektorilla vuoteen 2050. Baseline-kehitys, Urbaani syke vai Runsaudensarvi? http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=1986562&name=DLFE-17241.pdf&title=Julkaisu_15-2012.

¹⁰ Käyttövoima = energiamuoto/polttoaine, jonka avulla ajoneuvo kykenee liikkumaan

ma-autojen osalta ainoat käytännön vaihtoehdot ovat nestemäiset biopolttoaineet ja nesteytetty maakaasu (LNG).

Liikenteen, erityisesti henkilöautojen, käyttövoimavaihtoehtojen suosion ja markkinaosuuksien ennakointi on hyvin vaikeaa. Teknisessä mielessä minkä hyvänsä uuden käyttövoiman menestysmahdollisuudet riippuvat useasta osatekijästä. Tärkeimmät näistä ovat:

- 1) saatavuus (=tuotanto)
- 2) jakelujärjestelmä
- 3) yhteensopivuus autokalustoon
- 4) hinta ja kuluttajien kiinnostus kyseiseen teknologiaan

Mikä hyvänsä kolmesta ensimmäisestä voi asettaa tekniset rajoitukset käytölle, mutta viime kädessä ratkaisun hintakilpailukyky ja kuluttajien hyväksyntä luovat pohjan markkinasuosiolle. Hinta on kuitenkin monen tekijän summa, ja myös erilaisten tukien käyttö vaikuttaa lopputulokseen. Lisäksi tietysti myös ajoneuvojen mallitarjonta vaikuttaa suosioon. Kuluttajan näkemien suorien kustannusten lisäksi on myös syytä tarkastella eri ratkaisujen välillisiä vaikutuksia sekä kokonaisvaikutuksia kansantalouteen mm. työllisyyden, vaihtotaseen ja investointien kannalta. Niinpä tässä selvityksessä kansantaloudelliset vaikutukset ovatkin keskeisessä asemassa.

Vaihtoehtoisten teknologioiden tarkastelut tehtiin aluksi niin, että yksi vaihtoehtoinen teknologia kerrallaan automäärät ”pakotettiin” vuoteen 2030 mennessä niin suuriksi, että jokaisella saavutettiin 40 %:n päästövähennys (siis n. 20 %:n lisävähennys perusskenaarioon verrattuna) **mahdollisista rajoitteista piittaamatta.** Näin siksi, että eri vaihtoehdot olisivat keskenään vertailukelpoisia. Ns. drop-in biopolttoaineiden osalta lisävähennyksen saavuttaminen ei edellytä uudentyyppisiä ajoneuvoja, mutta se edellyttää kuitenkin, että joko kotimaasta tai ulkomailta saadaan hankittua tavanomaisen autokaluston kanssa yhteensopivia biopolttoaineita. Suomessa etenkin dieselpolttainetta korvaavat drop-in biopolttoaineet ovat laajassa käytössä, Euroopassa ne eivät vielä ole laajassa käytössä verrattuna ensimmäisen sukupolven etanolin ja FAME:n käyttöön. EU:n esittämässä 2030 politiikassa ensimmäisen sukupolven ruokapohjaiset biopolttoaineet eivät voi saada enää julkista tukea vuoden 2020 jälkeen.

Lukuun ottamatta Drop-in –skenaariota mitään tarkastelluista teknologiaskenaariosta ei kuitenkaan ole mahdollista toteuttaa sellaisenaan, koska mm. tarvittavat automäärät ovat niin suuria, ettei niitä normaalimyynnillä kyetä saavuttamaan. Voimakkaat muutokset kulutuskysyntään yleensä edellyttävät myös taloudellista ohjausta, josta syntyisi lisäkustannuksia. Siksi vaihtoehtojen käyttöönotto pieninä määrinä ”pakottamatta” on todennäköisesti kustannustehokkaampaa kuin voimakas keskittyminen johonkin teknologiaan.

Näiden 40% päästövähennemiin johtavien eri teknologiaskenaarioiden **auto- ja polttoainemäärät, kustannukset, ja tarvittavat investoinnit vietiin VATT:in VATTAGE-malliin, jonka avulla laskettiin kansantaloudelliset vaikutukset** kussakin skenaariossa. Näin saatiin kuva siitä, millaisiin kustannuksiin hiilidioksidipäästöjen vähentäminen kullakin vaihtoehdolla johtaisi. Periaatteessa optimaalinen ratkaisu olisi ottaa käyttöön eri käyttövoimavaihtoehtoja niin paljon, että kaikilla vaihtoehdoilla CO₂-päästöjen vähentämisen rajakustannukset olisivat samat.

1.3 Skenaarioiden yleiskuvaukset

Työssä luotiin seuraavat, taulukossa 1 kuvatut, teknologiaskenaariot. Perusskenaariona käytettiin pääasiassa bensiini- ja dieselautoihin perustuvaa, ja nykyiseen jakeluelvoitteeseen ja verotukseen perustuvaa KONV –skenaariota, jossa päästöt vähenisivät 21 % vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 2005 tasoon. Tässäkin skenaariossa päästövähennys perustuu ensisijaisesti biopolttoaineiden käyttöön voimassa olevan jakeluelvoitteen mukaisesti

(15 %:n todellinen osuus). Muissa teknologiaskenaarioissa päästöjä vähennettiin eri keinoilla lisää, jotta saavutettiin 40 % vähenemä, ja niiden tuloksia verrattiin tähän perusskenaarioon.

Taulukko 1. Työssä tarkastellut teknologiaskenaariot

LYHENNE	KUVAUS
KONV	vain perinteisiä bensiini- ja dieselautoja, päästöt -21%
DROP-IN	KONV + drop-in -polttoaineilla päästövähennemä 40%
FFV	maksimoitu E85 ja ED95 etanolipolttoaineiden käyttö, päästöt -40%
CBG	maksimoitu kaasuautojen määrä, päästöt -40%
PHEV	maksimoitu lataushybridiautojen määrä, päästöt -40%
BEV	maksimoitu akkusähköautojen määrä, päästöt -40%
FCEV	maksimoitu vetypolttokennoautojen määrä, päästöt -40%
KEHITYS	yhdistelmäskenaario, päästöt -40%

Kutakin skenaariota kuvaavat tunnusluvut on esitetty kokonaisuudessaan laskentaosiossa, luvuissa 8 ja 9, mutta keskeiset, havainnollistavat tunnusluvut myös taulukossa 2.

Taulukko 2. Keskeiset tunnusluvut eri skenaarioissa.

skenaario	x-henkilö- autoja* (kpl)	x-raskaita autoja* (kpl)	vaihtoehtoinen käyttövoima	vaihtoehtoisen käyttövoiman määrä (ktoe/a)
KONV/DROP-IN	3 252 576	427 418	drop-in biopolttoaineet	1 130
FFV	1 547 861	116 391	etanoli	957
CBG	1 276 344	110 252	biokaasu	480
PHEV	1 473 574	56 660	sähkö	328
BEV	1 128 205	39 518	sähkö	418
FCEV	1 169 122	30 930	vety	603
KEHITYS, KONV	3 102 651	423 225	drop-in biopolttoaineet	1 002
KEHITYS, CBG	50 000	7 200	biokaasu	50.1
KEHITYS, BEV	100 000	3 150	sähkö	36

* "x" tarkoittaa skenaarion keskeistä käyttövoimavaihtoehtoa

1.4 Skenaarioiden kansantaloudelliset vaikutukset

Uudentyyppisten polttoaineiden ja ajoneuvokonseptien käyttöönoton vaikutuksia kansantaloudelle tutkitaan tässä tutkimuksessa kokonaistaloudellisten vaikutusten perusteella, eli sen perusteella mikä on koko yhteiskunnan kannalta kustannustehokkain tapa vähentää päästöjä. Kansantaloutta koskevissa tarkasteluissa luotiin eräille edellä esitellyille teknologiaskenaarioille myös alaskenaarioita riippuen mm. polttoaineiden tuonnista vs. kotimaisuudesta, investoinneista ja kustannusten olettamista. Taulukossa 3 on eritelty nämä, ja mainittu myös tärkein rajoittava tekijä sille, miten pitkälle ko. teknologiaskenaario ja kehityspolku ovat mahdollisia, eli miksi taloudellisia vaikutuksia kuvaavissa kuvioissa ehjä viiva muuttuu katkoviivaksi. Siinä on myös hahmoteltu, miten suureen päästövähennykseen tässä vaiheessa on ylletty.

Perusskenaarion lisäksi tehtiin yhteensä yhdeksän erilaista ”teknologiaskenaarioita” ja niistä johdettua vaihtoehtoa, ja niiden kaikkien tuloksia verrattiin perusskenaarioon, jossa CO₂-päästöjä vähennetään biopolttoaineiden sekoitusvelvoitteen ja energiatehokkuuden tehostumisella jo runsaat 20 prosenttia vuoden 2005 tasosta. Täten kukin ”teknologiaskenaario” kertoo, minkälaisia vaikutuksia kansantaloudelle tulisi, mikäli CO₂ -päästöjä vähennettäisiin perusskenaarion vähennysten lisäksi erityyppisillä teknologisilla vaihtoehdoilla yhteensä 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä (19 prosenttiyksikköä perusskenaarion päälle). Skenaarioiden tärkeimmät mallinusoletukset on esitelty luvussa 9 ja niihin syötetyt arviot eri toimijoille kohdistuvista suorista kustannuksista löytyvät luvusta 8.

Skenaarioiden tulokset ovat vertailukelpoisia niiden tuottamien samansuuruisten pitkän aikavälin päästövähennemien ansiosta.

Taulukko 3. Kansantalouselaskelmissa tarkastellut teknologiaskenaariot

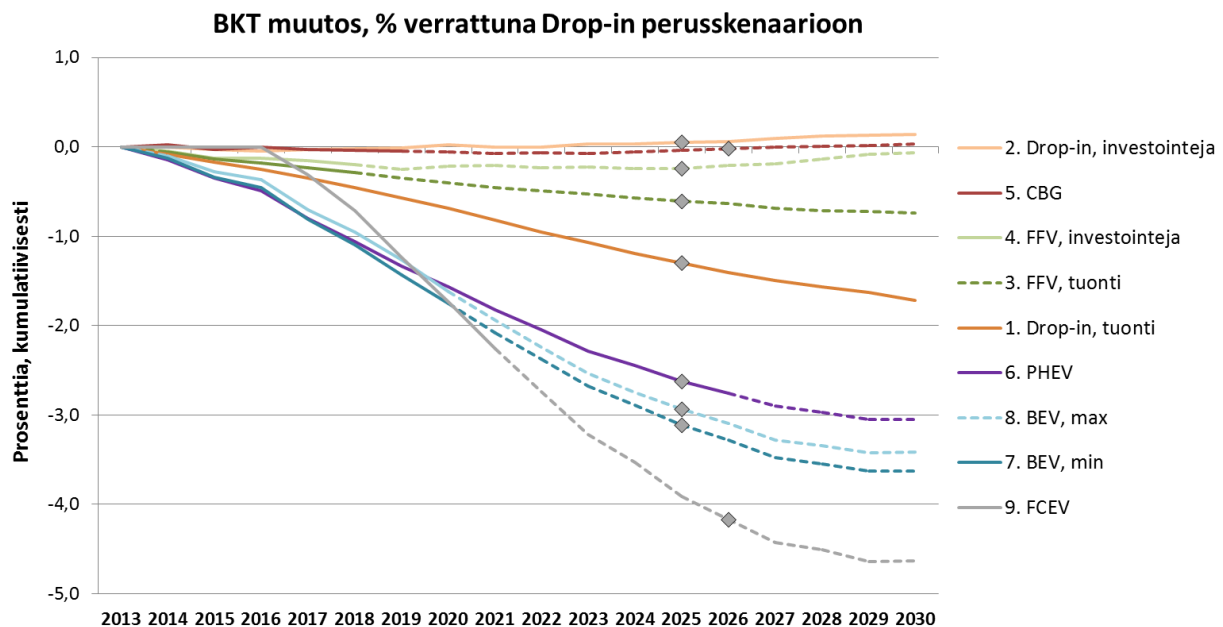
#	LYHENNE	KUVAUS	PÄÄRAJOITE TOTEUTUMISELLE	MAHD. CO ₂ VÄHENEMÄ, KUN RAJOITE HUOMIOIDAAN
1	DROP-IN, tuonti	DROP-IN-skenaario, polttoaineet tuontia	Ei rajoitetta	40 %
2	DROP-IN, investointeja	DROP-IN-skenaario, investointeja kotimaiseen drop-in tuotantoon	Ei rajoitetta	40 %
3	FFV, tuonti	FFV-skenaario, polttoaineet tuontia	FFV -automäärä	noin 9 %
4	FFV, investointeja	FFV-skenaario, investointeja kotimaiseen etanolituotantoon	FFV -automäärä	noin 9 %
5	CBG	CBG-skenaario	Kaasuautojen määrä	noin 10 %
6	PHEV	PHEV-skenaario	PHEV-autojen määrä	noin 12 %
7	BEV, min	BEV-skenaario, minimikustannukset latausinfraassa	Akkusähköautojen (BEV) määrä	noin 11 %
8	BEV, max	BEV-skenaario, maksimikustannukset latausinfraassa	Akkusähköautojen (BEV) määrä	noin 11 %
9	FCEV	FCEV-skenaario	Polttokennosähköautojen (FCEV) määrä	noin 10 %

Laskelmat on tehty VATT:n VATTAGE yleisen tasapainon -mallilla. Yleisen tasapainon mallia käytettiin tutkimusmetodinä, jotta saatiin laskettua kaikissa teknologiaskenaarioissa sekä eri toimijoille kohdistuvat suorat kustannukset että näiden epäsuorat kerrannaisvaikutukset taloudessa yhteen ja muodostettua näkemys koko yhteiskunnan kannalta parhaista tavoista vähentää liikenteen päästöjä. Skenaarioissa suoria kustannuksia/vaikutuksia kohdistuu kuluttajille ja yrityksille varsinkin uuden tyyppisten autojen hankinnoista ja uusista polttoaineista, sekä yrityksille näiden lisäksi myös tarvittavista lisäinvestoinneista polttoaineiden jakeluinfrastruktuuriin. Lisäksi yritysten on oletettu investoivan uudentyyppisten polttoaineiden tuotantoon.

Julkinen sektori tukee näitä kotimaisia laitosinvestointeja julkisilla investointituilla, mutta **kaikki skenaariot on laskettu julkisen talouden kannalta budjettineutraalisti**. Tämä tarkoittaa, että mikäli skenaarioissa verotulot laskevat tai julkiset menot kasvavat merkittävästi, verottaja nostaa muiden hyödykkeiden verotusta kuluttajille, jotta kokonaisverotulot eivät laske ja julkinen velka ei nouse. Koska monien uusien biopolttoaineiden kokonaisverotus on

tällä hetkellä suhteellisesti alhaisemmalla tasolla kuin fossiilisissa polttoaineissa, nousee tällainen tarve verotuksen muuttamiseen useassa skenaariossa. Koko yhteiskunnan kustannuksia arvioidaan arvonlisämuutosten avulla, kun taas kulutuskysynnän ja työllisyyden muutoksien avulla kuvataan kuluttajien kohtaamia vaikutuksia. Yritysten tuotantoon vaikuttavat samoin erityisesti kulutuskysynnän muutokset sekä muutokset investoinneissa.

Kuvio 1 näyttää kunkin teknologiaskenaarion vaikutukset bruttokansantuotteeseen kumulatiivisesti verrattuna perusskenaarioon. Yhtenäiset viivat osoittavat, mihin asti kukin skenaario on käytännössä todennäköinen teknologioiden nykyiseen yleistymiseen ja odotettuun teknologiseen kehitykseen verrattuna. Viivan muuttuessa katkoviivaksi, kukin skenaario alkaa olla epätodennäköinen sellaisenaan, taulukossa 2 mainitusta syystä. Vetyautoskenaariosta (9. skenaario) tulee huomata, että vetyautoja ei ole lainkaan käytössä kyseisessä skenaariossa ennen vuotta 2017 koeautosarjoja lukuun ottamatta. Salmiakkikuviot näyttävät, minä vuonna kussakin skenaariossa on vähennetty päästöjä vähintään 30 prosenttia vuoteen 2005 verrattuna.



Kuvio 1: Vaikutukset bruttokansantuotteeseen eri skenaarioissa¹¹ (♦ =30% vähennys saavutettu)

Skenaarioiden vaikutuksessa arvonlisäykseen (BKT) on suuria eroja. Skenaarioissa, jotka sisältävät merkittäviä uusia investointeja kotimaahan ja kotimaiseen tuotantoon ilman suuria muutoksia autojen keskihintaan (2, 4 ja 5 skenaario), arvonlisäys laskee maksimissaan noin 0.2 prosenttia perusskenaarioon verrattuna kumulatiivisesti. Samaan aikaan, niissä skenaariossa, joissa autojen keskihinta nousee merkittävästi, mutta kotimaisen tuotannon määrä vähemmän, arvonlisäys laskee yhteensä useita prosentteja perusskenaarioon verrattuna pitkällä aikavälillä. Vertailuksi, perusskenaariossa BKT:n reaalisen tason odotetaan nousevan kumulatiivisesti vuoteen 2030 mennessä noin 40 prosenttia vuodesta 2014. Taloudellisten vaikutusten perusteella investoiminen kotimaiseen drop-in polttoaineiden ja biokaasun tuotantoon olisi koko kansantalouden kannalta kustannustehokkain tapa vähentää liikenteen päästöjä. Myös kotimaassa tuotettu etanoli on varsin kustannustehokas vaihtoehto.¹²

¹¹ Katkoviivojen kohdalla kussakin skenaariossa on käytössä sellainen automäärä tai polttoainemäärä, joka ei ole kyseisten teknologioiden nykyisistä lähtökohdista kovin todennäköinen. Kukin skenaario on käytännössä todennäköinen vain siihen asti missä katkoviivoitus alkaa.

¹² Kappale 9 sisältää tarkemmat selitykset kansantaloudellisista vaikutuksista sekä vertailua aikaisempiin tuloksiin.

1.5 KEHITYS-skenaario

1.5.1 Lähtökohtia ja perusteita valinnoille

Nyt tehty tarkastelu tässä laajuudessa on ensimmäinen, jossa on kokonaisvaltaisesti arvioitu eri teknologiavaihtoehtojen vaikutuksia niin CO₂-päästöjen kuin kansantalouden kannalta. Laskelmissa on otettu huomioon yhtä lailla Suomen nykyinen autokanta ja sen uusiutumiskyky kuin Suomen teollinen rakennekin, jossa metsä- ja energiateollisuus ovat vahvoja aloja ja ajoneuvoteollisuus vähäistä ja keskittynyt etupäässä raskaaseen kalustoon ja työkoneisiin.

Lisäksi tässä esitettyä KEHITYS-skenaariota muodostettaessa on otettu huomioon seuraavat lähtöoletukset/näkökulmat:

A) Liikennesuorite toteutuu Liikenneviraston nykyisen ennusteen⁽⁶⁾ mukaisena, kulkumuotojakautumassa ei tapahdu muutoksia, eli ei siirtymää henkilöautoista joukkoliikenteeseen tai maantiekuljetuksista raiteille (tai päinvastoin).

B) Energiatehokkuus paranee kaluston kehityksen ja normaalin uusiutumisen kautta.

C) Liikenteen energiavalikoimaa on muutettava, mutta pitkän matkan rahtiliikenne käyttää polttomoottoria vielä 2030 pääasiallisena voimalaitteena; dieseliä voi korvata jossain määrin LNG:llä, mutta se vaatii vielä paljon tuotekehitystä. Sähkö ei korvaa dieseliä (pl. kaupunkibussi), vaan bensiiniä.

D) Millään yksittäisellä teknologialla, drop-in biopolttoaineita lukuun ottamatta, ei päästä 40 %:n tai edes 30 %:n kokonaispäästövähennemään, vaan jokin reunaehto (kustannukset, jakelu, jakelu) tulee rajoittavaksi. Kannattavinta on ottaa kustakin tarjolla olevasta optiosta sen kustannustehokkain määrä, mutta koska kustannukset ovat aikasidonnaisia, voi olla tarpeen odottaa teknologian kypsymistä ennen ko. vaihtoehdon laajamittaisempaa käyttöönottoa. Esimerkkinä tästä on akkusähkö- ja vetypolttoauto, joiden kustannuksien oletetaan alenevan ja hintakilpailukyvyyn sekä suorituskyvyyn paranevan merkittävästi vuoden 2025 jälkeen.

E) Vaihtoehtoteknologiat ovat kuitenkin siinä määrin eriarvoisia, että kaasuautoissa tarjonta on vähintäänkin kohtuullista, ja niiden valmistamiseen on autonvalmistajilla kannustin, koska kaasuautoissa tyyppihyväksymisessä mitattu CO₂-päästö on 20 % pienempi kuin vastaavalla bensiinikäyttöisellä autolla. Sen sijaan FFV-autojen tarjonta ja tuotanto on uusien Euro 6-pakokaasumääräysten¹³ myötä voimakkaasti supistunut. Suomen markkinoilla vain yksi malli on tällä hetkellä uusimmat vaatimukset täyttävä. FFV-teknologiassa ei myöskään ole yhtä merkittävää kannustinta autonvalmistajille, koska merkittävää autosta mitattavaa CO₂-vähennemää ei ole. Siksi FFV-autojen tarjonnan lisääntymisestä ei ole mitään varmuutta.

Toisaalta, vaikka FFV-auton lisäkustannus ei ole merkittävä, eikä E85-polttoaineen jakelu aiheuta suuria lisäkustannuksia, ei FFV-autoja välttämättä Suomessa laajasti tarvita, sillä E10-bensiini sisältää jo riittävän ”nielun” kotimaiselle, kestävästi valmistetulle etanolille. Polttoainestandardien sallimissa puitteissa etanolikin on ”drop-in” komponentti. Lisäksi vuoteen 2030 mennessä polttoainestandardit kehittyvät niin, että bensiinissä sallitaan 20 – 25 %:n etanolipitoisuus (E20, E25), jolloin bensiinikaluston ”etanolinielu” kasvaa nykyisestä ainakin uusimpien autojen osalta.

F) Sähköautot ovat vielä kalliita perinteisiin polttomoottoriautoihin verrattuna, eikä Suomi ole sähköautoissa edes valmistaja saati teknologiaveturi (pl. bussit ja työkoneet). Siten tässä vaiheessa sähköhenkilöautoihin kohdistetut tuet eivät merkittävästi hyödytä Suomen kansantaloutta. Sähkön käyttö vähentäisi kuitenkin öljyn tuontia, ja se on otettu laskelmissa huomioon. Öljyn kysynnän väheneminen on korvattu kotimaisten öljytuotteiden viennin lisäyksellä. Sähköstä johtuva korvausvaikutus kohdistuisi ensisijaisesti bensiiniin, ei tavaraliikenteen

¹³ Euro6 –tyyppihyväksymisessä on mukana myös CO- ja HC-päästöjen mittausta -7 °C lämpötilassa, ja toiminta kylmässä on alkoholiautoille erittäin haasteellista.

käyttämään dieseliin. Suomen kokonaispäästöjen vähentämisen kannalta kaupunkibussien sähköistämisen vaikutus on vain 0,5 %, mutta Suomeen on käynnistynyt orastavaa sähköbussiteollisuutta, jolle odotetaan kansainvälistä menestystä ja vientimarkkinoita.

G) Biojalostuksessa olemme maailman kärkiluokkaa ja teknologiaveturi. Siksi tälle sektorille kohdistetusta panostuksesta on odotettavissa hyötyä kansantaloudelle investointien, lisääntyvän työllisyyden ja teknologiaviennin muodossa. Kotimaisesta raaka-aineesta valmistettujen biojalosteiden käyttö vähentää öljyn tuontia, ja korvausvaikutus kohdistuu pääasiassa dieseliin. Nestemäisille biopolttoaineille on oletettavasti kysyntää jatkossakin, vaikka tieliikenteen kysyntä heikkenisi, sillä myös laivat ja lentoliikenne kaipaavat jatkossa uusiutuvia polttoaineita. Lisäksi biojalostamot voi tietyin edellytyksin muuntaa muita tuotteita tuottaviksi kemian tuotetehtäiksi.

H) Jos esitetään jotain tavoitteita uusien teknologioiden mukaisille automäärille, ne tulisi määrittää järkevästi, joko kokonaiskustannusten, kansantalouden rasitteen tai järkevällä hinnalla saatavissa olevien polttoainevaihtoehtojen volyymin mukaan.

1.5.2 KEHITYS-skenaarion kuvaus sekä ajoneuvo- ja energiamäärät

Käsillä olevien tarkastelun pohjalta voidaan kuvata edullisimpia etenemispolkuja vuoteen 2030 kansantaloudellisten näkökohtien kannalta. Seuraavassa on kuvattu teknistaloudellisten näkökohtien kannalta optimaalinen yhdistelmä uusien teknologioiden kehitysurasta vuoteen 2030.

Pyrittäessä 40 % kasvihuonekaasujen vähennykseen vuoteen 2030 mennessä, todettiin aiemmin ns. perusskenaariolla saavutettavan noin 20 % päästövähennys vuoden 2005 päästöihin verrattuna johtuen uusien ajoneuvojen pienentyneestä polttoainekulutuksesta, pienistä ajosuoritteiden muutoksista sekä biopolttoaineiden käyttövelvoitteen toteuttamisesta nykyisellä vuoteen 2020 ulottuvaksi päätetyllä tasolla. Vuoteen 2030 mennessä tarvittaisiin siis lisäksi noin 20 %-yksikön lisävähennys, mikä tarkoittaisi biopolttoainemääränä ekvivalenttisesti noin 600 000 toe/a. Pääosa korvauksesta hoidetaan drop-in tyyppisten biopolttoaineiden avulla. Lisäksi rinnalle otetaan muita vaihtoehtoja, asettamatta mitään niistä ensiarvoiseksi. Verotuksellisesti eri uusiutuvia vaihtoehtoja tulisi kohdella tasapuolisesti, nyt kaasu ja sähköä verotetaan liikennekäytössä lievemmin kuin nestemäisiä polttoaineita.

a) **Kaasuautot ja biokaasun käyttö.** Kaasun liikennekysyntää rajoittaa kaasuautokannan hidas kasvu. On arvioitu, että vuoteen 2030 mennessä voitaisiin saada liikenteeseen noin 50 000 kaasuhenkilöautoa, noin 6000 kaasua käyttävää pakettiautoa ja noin 1200 raskasta kaasuajoneuvoa, joiden polttoaineen kulutus on yhteensä noin 50 000 toe/a. Suurempaan kaasuautomäärään pääseminen ei nykyisellä tarjonnalla ole kovin todennäköistä.

Saatavissa olevat raaka-aineet eivät rajoita biokaasun tuotantoa. Yhdyskunta- ja maatalousjätteiden mädätyksellä voitaisiin todennäköisesti tuottaa biokaasua nykyisen maa-kaasuverkon alueella edellä mainittu 50 000 toe/a. Sen jälkeen joudutaan investoimaan puupohjaiseen SNG:n tuotantoon (esimerkkinä Joutsenon laitos¹⁴), joka kilpailee puuraaka-aineesta nestemäisten drop-in -tuotteiden kanssa. Lisävaihtoehtona ovat fossiiliset CNG ja LNG, mutta näillä saatava CO₂ vähennys on enimmillään vain noin 20 %, jos kaasu korvaa bensiiniä.

Kaasun käyttö kohdistuisi pääasiassa henkilö- ja kaupunkijakeluautoihin, ei niinkään raskaaseen kalustoon. Mikäli kaasuautoja tulisi käyttöön vuoteen 2030 mennessä enintään edellä mainitut määrät, jäisivät niistä aiheutuvat lisäkustannukset suhteellisen pieniksi.

¹⁴ Gasum, Helsingin Energia ja Metsä Fibre suunnittelevat Metsä Fibren Joutsenon sellutehtaan yhteyteen puuraaka-ainetta käyttävää biojalostamoa, joka voisi tuottaa synteettistä biokaasua n. 1,6 TWh/a (137 toe/a)..

Tällä hetkellä liikennekaasua jaellaan 24 asemalla, joista 18:aa operoi Gasum, ja Gasum on rakentamassa 35 uutta asemaa nykyisten lisäksi.¹⁵ LNG:n käyttöönotto laivoissa ja jakeluinfrastruktuuri saattavat osaltaan laajentaa kaasun saatavuutta ja lisätä kaasunauton ”haluttavuutta” Suomessa.

- b) **Etanolia** käytetään Suomessa pääasiassa bensiinin komponenttina nykytilanteessa noin 170 000 m³, ja valtaosa siitä on tuontia. Energiayhtiö St1 käyttää kotimaassa pääosin jätteilistä valmistettua etanolia korkeaseosteisen E85-polttoaineen valmistukseen, jota vuonna 2014 myytiin yli 9 milj. litraa¹⁶ (9299 m³).

E10-bensiinin etanoliseostarve vuonna 2030 on noin 150 000 m³/a, kun polttoaineen kulutus uusissa autoissa on pienempi kuin nykyisissä. Kotimaista lisäkapasiteettia voitaisiin rakentaa niin puru- kuin olkipohjaisena yhteensä 150 000 – 200 000 m³/a mikä vastaisi noin 75 000 – 100 000 toe/a. Koko normaalin E10-bensiinin etanolitarve voitaisiin siten kattaa kotimaisella tuotannolla, ja KEHITYS-skenaariossa onkin etanolin käytön rajaksi oletettu nykyinen 10 til-%. On kuitenkin oletettavaa, että bensiiniautojen tekniikkaa kehitetään ja polttoainestandardia päivitetään tulevaisuudessa niin, että etanolin osuus voi nousta tasolle 20-25 til-%. Sillä ei kuitenkaan vielä 2030 tilanteessa ole suurta merkitystä.

- c) **Sähköautot** ovat nyt ja vielä lähivuosinakin kalliita (nyt veroton hinta yli kaksinkertainen polttomootoriautoon verrattuna). Ainoastaan korkean käyttöasteen omaavat sähkökäyttöiset kaupunkibussit ja jakeluautot voivat yleistyä kustannustehokkaasti vuoteen 2020 asti, minkä jälkeen oletetaan myös henkilöautojen hintakilpailukyvyyn ja tarjonnan sekä suorituskyvyyn (täyssähköautot) paranevan kohtuulliselle tasolle.

Mikäli hintaero vähenee merkittävästi tulevaisuudessa, myös sähköä käyttävien automallien kustannus kansantalouden näkökulmasta laskee. Laskelmien mukaan sähköautojen laajempi yleistyminen vasta myöhemmin, noin kymmenen vuoden kuluttua, aiheuttaisi merkittävästi pienempiä lisäkustannuksia kansantaloudelle kuin niiden yleistyminen lähitulevaisuudessa.

Kansantalouden näkökulmasta sähköhenkilöautoja kannattaisi siis suosia lähitulevaisuudessa hyvin maltillisesti. Vasta kustannusten alennuttua, arviolta vuoden 2025 jälkeen, niiden markkinaosuuden kasvaminen olisi kannattavampaa. Kumulatiivinen ladattavien autojen kanta voisi siten olla noin 100 000 -200 000 autoa vuonna 2030, riippuen niiden myyntiosuudesta vuonna 2030, ja jakautumasta täyssähköautojen (BEV) ja ladattavien hybridien (PHEV) välillä. Näiden lisäksi käytössä arvioidaan olevan 1000 sähkökäyttöistä kaupunkilinja-autoa ja muutama tuhat erikokoista sähköjakeluautoa.

- d) **Drop-in –polttoaineita** tarvitaan, jotta saavutetaan tehtävässä asetettu 40 % päästövähennys. Siksi täysin yhteensopivien (drop-in) synteettisten diesel- tai bensiinituotteiden¹⁷ käyttö kasvaisi merkittävästi. Liikenteen nestemäisten biojalosteiden lisätarve olisi noin 600 000 toe/a riippuen kilpailukyvästä ja insentiiveistä muihin vaihtoehtoihin ja tuontipolttoaineisiin nähden.

Uusia biojalostamoja oletetaan rakennettavan tässä KEHITYS-skenaariossa pääosin metsätähteiden ja metsäteollisuuden eri sivuvirtojen kaasutus- ja pyrolyysi/hydrausratkaisuna, joko itsenäisinä metsäteollisuuden integraatteihin, tai osin öljynjalostamojen yhteyteen. Jos biopolttoaineiden lisätuotanto kasvaisi tasolle 600 000 toe/a, laitoksia tarvittaisiin noin 4-7 kappaletta kapasiteetista riippuen. Investointitarve on suuruusluokkaa 1800 milj. €.

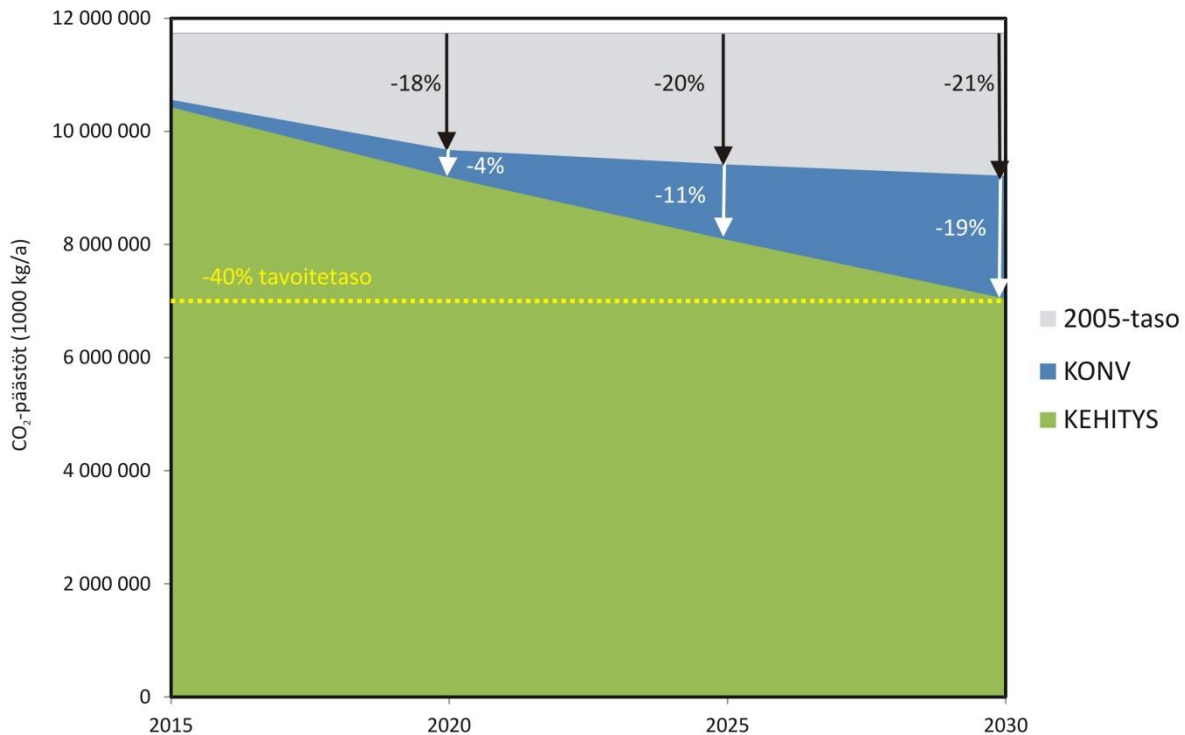
¹⁵ (<http://www.kaasuyhdistys.fi/tiedotteet/kaasuvision-energia-ja-ilmastotiekarttaan-2050>)

¹⁶ Öljy- ja biopolttoaineala (http://www.oil.fi/sites/default/files/3.4_myynti.pdf)

¹⁷ Bensiiniin voidaan bioetanolin (nyt max 10 til-%) lisäksi drop-in periaatteella sekoittaa muitakin biokomponentteja, joita tälläkin hetkellä syntyy HVO-prosessissa, sekä käyttää myös bioraaka-ainetta (esim. mäntyöljypiki) korvaamaan raakaöljyä jalostamon syötteessä valmistettaessa bensiinin komponentteja, kuten Neste jo tekeekin. Myös biopohjaisten eetterien valmistus ja käyttö on mahdollista, jolloin bio-osuus voi nousta jopa yli 20 % tasolle ilman liiallista happipitoisuutta.

Kasvanut puun kysyntä on luokkaa 2-2,5 miljoonaa kiinto-m³ vuodessa riippuen mustalipeän ja mäntyöljyjakeiden osuudesta uudesta biojalostetuotannosta. Jos raaka-aineena käytetään mustalipeää, mäntyöljyä tai mäntypikeä laskee kiinteän puun tarve vastaavasti. On kuitenkin otettava huomioon, että uuden teknologian kehitys, sitä tukeva tutkimustoiminta sekä kaupallistaminen vaativat Suomessa ja koko EU:ssa huomattavia kehityspanoksia, muuten esitetty skenaario ei ole toteuttavissa vuoteen 2030 mennessä.

Kuvio 2 havainnollistaa päästöjen vähenemisiä KONV- ja KEHITYS-skenaarioissa.



Kuvio 2: CO₂ päästöt KONV JA KEHITYS-skenaarioissa.

Taulukossa 4 on esitetty KEHITYS-skenaarion päästövähennykset vuonna 2030 jaettuina biokaasun, sähkön ja nestemäisten biopolttoaineiden käytöstä peräisin oleviin osuuksiin. Luvuista käy hyvin ilmi suuruusluokat, jotka eri teknologioilla saavutetaan. Koko tarvittavasta lisävähennyksestä (19 %) keskimäärin 5 % osuus saadaan aikaan biokaasulla, noin 9 % osuus sähkөөn siirtymisellä ja loppuosuus (noin 86 %) nestemäisillä biopolttoaineilla. Niiden osuus on siis aivan hallitseva.

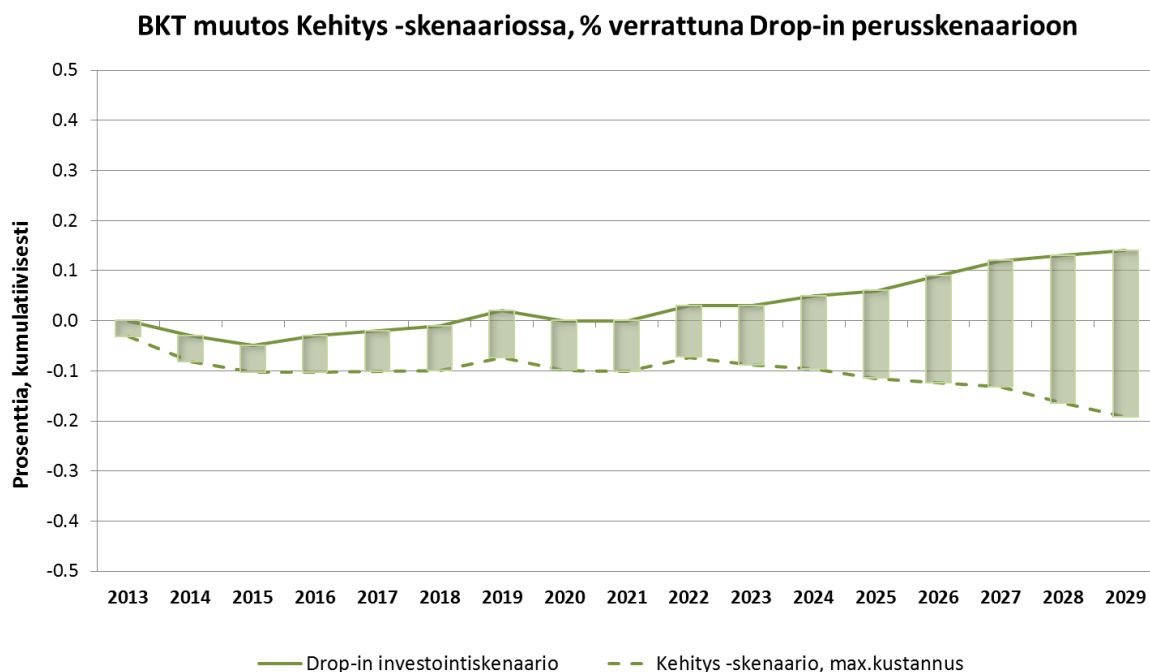
Taulukko 4. KEHITYS-skenaarion päästövähennykset (tonnia/a) vuonna 2030 eri ajoneuvoluokissa jaettuina erikseen biokaasun, sähkön ja nestemäisten biopolttoaineiden käytöstä peräisin oleviin osuuksiin.

Ajoneuvolaji	Biokaasu	%	Sähkö	%	Nestem.bio	%	yhteensä	%
Henkilöautot	48 241	0.4 %	171 090	1.5 %	717 033	6.1 %	936 364	8.0 %
Pakettiautot	13 502	0.1 %	989	0.0 %	221 909	1.9 %	236 400	2.0 %
Linja-autot	13 205	0.1 %	32 869	0.3 %	104 530	0.9 %	150 604	1.3 %
Kuorma-autot	33 947	0.3 %	-4 464	0.0 %	823 413	7.0 %	852 897	7.3 %
yhteensä	108 895	1 %	200 484	2 %	1 866 885	16 %	2 176 265	19 %

1.5.3 Kansantaloustarkasteluja

Kansantaloustarkastelujen pohjalta drop-in -polttoaineiden laaja-alainen käyttö vaikuttaisi bruttokansantuotteeseen ja kulutuskysyntään hyvin vähäisesti, mikäli kyseisten polttoaineiden kotimaiseen tuotantoon investoidaan merkittävästi. Jos kaikki drop-in -polttoaineet sen sijaan tuotaisiin ulkomailta, jäisi BKT pitkällä aikavälillä yli 1,5 prosenttia alhaisemmalle tasolle kuin perusskenaariossa. Suuret investoinnit kotimaiseen drop-in polttoaineiden tuotantoon taas jopa nostaisivat bruttokansantuotetta pitkällä aikavälillä verrattuna perusskenaarioon, vaikkakin minimaalisesti.

Kuvio 3 näyttää edellä kuvatun KEHITYS-skenaarion vaikutukset bruttokansantuotteeseen kokonaisuudessaan erilaisilla oletuksilla sähköautojen tulevaisuuden hinnoista. Kuten mainittiin, KEHITYS-skenaariossa oletetaan, että sähköautoja tulisi käyttöön merkittävämmässä määrin vasta noin 10 vuoden kuluttua, ja suurin osa päästövähennyksestä toteutetaan kotimaisten drop-in polttoaineiden avulla. KEHITYS-skenaariossa yhteiskunnalliset kustannukset ovat sen takia hyvin lähellä drop-in investointiskenaarion tuloksia. KEHITYS-skenaarion lopulliset kustannukset riippuvat erityisesti sähköautojen hintakehityksestä. 'Kehitys -skenaario, max.kustannus' laskennassa sähköautojen hintakehityksen on oletettu seuraavan osiossa 7 esitettyjä arvioita. Mikäli ne ovat tulevaisuudessa halvempia kuin nämä oletukset, KEHITYS-skenaarion kustannukset jäävät kuviossa 3 esitettyjen viivojen väliselle alueelle. Ottaen huomioon, että näiden kahden skenaarion BKT vaikutusten ero pitkällä aikavälillä kumulatiivisesti on +0.1...-0.2 prosenttia verrattuna drop-in perusskenaarioon, voidaan sanoa, että KEHITYS-skenaarion vaikutukset eroavat drop-in investointiskenaariosta vain vähäisesti. Lisäksi, arvonlisän muutokset pysyisivät kohtuullisen pieninä verrattuna muihin kuviossa 1 esitettyihin yksittäisten teknologiaskenaarioiden kansantaloudellisiin kokonaiskustannuksiin.



Kuvio 3: Vaikutukset bruttokansantuotteeseen KEHITYS-skenaarioissa (huom. mittakaava kuvioon 1 verrattuna).

1.6 Keskeiset tulokset ja päätelmät

Työn keskeiset tulokset ja päätelmät ovat:

- Perusvaihtoehto, jossa toteutetaan vain nykyiset toimenpiteet, päättyy vuonna 2030 tilanteeseen, jossa CO₂-vähenemä on runsaat 20%. Tarvittavan lisävähennemän aikaansaamiseksi tarvitaan liikenteeseen lisää vähähiilistä tai hiilineutraalia energiaa. Tässä käyttövoimavaihtoehtoihin keskittyvässä selvityksessä ei huomioitu esim. kulutapamuotoihin vaikuttamista tai autokaluston nopeutettua uusimista. Kansantaloudellisten ja teknisten pohjatarkastelujen pohjalta kyettiin löytämään ratkaisut, joilla kyetään saavuttamaan 30 % ja jopa 40 % vähenemä CO₂-päästöissä vuoteen 2030 mennessä.
- Kansantalouden kannalta kustannustehokkain tapa vähentää päästöjä on investoiminen kotimaisten, edistyskellisten drop-in biopolttoaineiden tuotannon ja käytön lisäämiseen. Niiden käytöllä ei ole heijastusvaikutuksia autokalustoon tai jakelujärjestelmään.
- Myös biokaasun käyttöä voitaisiin lisätä, mutta edellytyksenä on merkittävä uuden ajoneuvokannan kasvaminen. Kaluston uusiutumiseen ei kuitenkaan voida asettaa velvoitetta, ja ainakin tällä hetkellä käytössä olevat ohjaukeinit ovat teknologianeutraaleja, eikä mitään teknologiaa suosita erikseen.
- Pääosa lisäkysynnän tyydyttämiseen tarvittavista uusinvestoinneista voitaisiin toteuttaa Suomessa tukeutuen kotimaiseen puu- ja jätöpohjaiseen raaka-aineeseen. Kohdistamalla julkista tukea uuden biojalostamoteknologian kaupallistamiseen, voidaan tuotanto saada hinnaltaan kilpailukykyiseksi tuontiin nähden.
- Herkkystarkastelussa arvioitiin niin fossiilisten polttoaineiden, biopolttoaineiden kuin sähköautojen hintamuutoksia. Kun biopolttoaineiden hintaa nostettiin 30 % ja fossiilisten polttoaineiden hintaa laskettiin 30 %, biopolttoaineiden ja sähköön perustuvien käyttövoimavaihtoehtojen keskinäinen järjestys ei muuttunut. Jos polttomoottoriauton ja sähköauton hintaero poistuu ajan myötä, sähköautoskenaarioiden arvonlisävaikutukset lähestyvät bioskenaarioita.
- Sähköautojen kalliin hinnan takia niiden laajamittainen käyttöönotto kannattaa vasta, kun kustannustaso on teknologiakehityksen myötä merkittävästi alentunut.
- Mikäli kaasu- tai sähköautojen myyntiä halutaan tulevaisuudessa lisätä, tulee siihen löytää Suomen tilanteeseen sopivat ohjaukeinit. Näitä voivat olla mm. niiden suosiminen julkisten toimijoiden hankinnoissa, joka toimisi esimerkkinä, ja tukisi pitemmällä aikavälillä myös toimivien jälkimarkkinoiden muodostumista. Jälkimarkkinoilla on erittäin merkittävä vaikutus kuluttajien ostopäätöksiin jälleenmyyntiarvojen kautta.

1.7 Toimenpide-ehdotukset

Lopullinen Suomelle kohdistettava päästövähennemätavoite selvinnee vasta vuonna 2016, jolloin myös tulevien Pariisin ilmastoneuvotteluiden 2015 tulos on selvillä. Sen jälkeen päätettäneen EU:n ilmasto- ja energiapaketin yksityiskohdista, mukaan lukien kansallinen taakanjako, eli kansalliset vähentämistavoitteet ei-päästökauppasektorin ja liikenteen päästöille.

Mikäli liikennesektorin päästöille asetetaan luokkaa 40 % olevia vähennystavoitteita, tarvitaan noin 20 %:n lisäpäästövähennemiä vuoden 2005 päästöihin verrattuna, sillä ns. perusskenaario (ml. 15 %:n biopolttoaineisuus) johtaa 21 %:n päästövähennykseen. Tässä työssä on analysoitu koko kansantalouden kannalta kustannustehokkaimpia ratkaisuja tällaisen lisävähennemän saavuttamiseksi. Käyttövoimavalinnoilla tulee luoda edellytyksiä uusien vaihtoehtojen yleistymiselle mutta samalla yhtä lailla pitää huolta olemassa olevien autojen tarvitsemista polttoaineista.

Päästöihin voidaan myös vaikuttaa mm. energiatehokkuutta parantamalla sekä vaikuttamalla kulkumuotojakautumaan ja liikenteen kysyntään. Näillä keinoilla vähennetään luonnollisesti myös uusiin käyttövoimavaihtoehtoihin kohdistuvaa painetta, ja niistä aiheutuvia kustannuksia.

Energiavaihtoehtojen osalta voidaan esittää seuraavat toimenpide-ehdotukset.

- Valittaessa liikenteen päästöjen vähentämisen ohjauskeinoja, tulee ottaa huomioon eri teknologioiden kypsyyssasteet sekä niiden taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristövaikutukset.
- Edistyksellisten biopolttoaineiden markkinoille tulon edistämiseksi tulee nykyistä biopolttoaineiden jakeluvuoroitetta jatkaa vuoden 2020 jälkeen, ja nostaa vuoden 2030 tavoite tarvittavalle tasolle. Nykyinen suuntaus painottaa dieseliä korvaavia komponentteja. Erikseen jää ratkaistavaksi, miten saadaan markkinoille riittävä biopolttoainemäärä myös bensiinautoille. Bensiinin etanoliraja saattaa nousta nykyisestä 10%:sta tasolle 20-25%. Bensiiniin voidaan lisäksi drop-in periaatteella sekoittaa myös muita bioraaka-aineesta valmistettuja komponentteja, kuten jo kaupallisesti tehdäänkin
- Jotta biopolttoaineiden lisääntynyt käyttö ei johtaisi lisääntyneeseen tuontipolttoaineiden käyttöön, kotimaisen tuotannon tulee olla kilpailukykyistä. EU:ssa ja Suomessa voidaan tukea uusia innovatiivisia tuotantolaitoksia, ja siten alentaa niiden riskiä investoijille. Täten tulee kotimaassa tuotettujen edistyksellisten biopolttoaineiden uusinvestointeja (jopa 1800 milj. €), ja kehitystyötä tukea. Jos lisätarve on 600 000 toe/a, tarvitaan kotimaista ja/tai EU-rahoitusta innovatiivisten laitosten investointiavustuksiin noin 600 milj. €.
- Biokaasun käytön lisäämiselle suurimman esteen muodostaa autokaluston vähyys ja polttoaineen jakeluverkon rajallisuus, ei biokaasun tuotantopotentiaali. Jos kaasun käyttöä halutaan edistää, tulee tämä ongelma ratkaista ottaen huomioon, että mikään tuontiajoneuvojen hankintaan kohdistuva suora julkinen tuki ei ole kansantalouden näkökulmasta kannattavaa.
- Sähköautojen laajamittaisempi lisääminen ja ohjauskeinojen valinta on ajankohtaista vasta vuoden 2020 jälkeen. Niiden tuloon kannattaa kuitenkin varautua jo nyt mm. latausmahdollisuuksien rakentamiseen liittyvien säädösten ajanmukaistamisella.
- Samasta kotimaisesta raaka-aineesta voidaan periaatteessa tuottaa nestemäisiä polttoaineita, kaasua ja sähköä. Verotuksen tulisi kohdella eri käyttövoimia tasapuolisesti.
- Eri energiavaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästötarkastelut tulisi tehdä elinkaariperiaatteella (ns. well-to-wheel) ja Euroopan tasolla vaikuttaa siihen, että biopolttoaineilla aikaansaavat päästövähennemät rinnastetaan uusiutuvalla sähköllä saavutettaviin. Nyt sähköautot ovat kiinnostavampia autonvalmistajille, sillä sähköauto lasketaan aina nollopäästöiseksi, kun taas biopolttoainetta käyttävä auto arvotetaan samalla tavalla kuin fossiilisia polttoainetta käyttävä auto.
- Älykkään ja vähähiilisen liikenteen mahdollistamiseksi tulee varata tutkimus- ja kehittämistukia noin 50 milj. € vuoteen 2020 mennessä. Ne tulisi kohdistaa etenkin uusien ja kestävien käyttövoimavaihtoehtojen edistämiseen, edistyksellisten biopolttoaineiden ja kotimaisten sähköajoneuvojen valmistukseen, energiatehokkuuden lisäämiseen sekä älyliikenteen luomien uusien palvelukonseptien kehittämiseen ja laajalaiseen demonstrointiin. Tämän lisäksi yritysten demonstraatiolaitokset edellyttävät investointien julkista riskirahoitusta.

2. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Tutkimuksessa arvioitiin biopolttoaineiden ja muiden vaihtoehtoisten energiamuotojen ilmast- ja kustannusvaikutuksia. Tässä työssä tutkimus jatkoi ”Suomi 2020” -selvityksen¹⁸ viitoittamaa tietä vaihtoehtoisten toimintapolkujen selvittämiseksi, mutta ulottaen tarkastelujakso vuoteen 2030. Uudessa tutkimusvaiheessa terävöitettiin ja tarkennettiin tarkasteluja. Edellisessä vaiheessa biopolttoaineiden ja sähköautojen vaikutuksia kansantalouteen tarkasteltiin suhteellisen karkealla tasolla. Nyt on arvioitu tarkemmin mm. vaihtoehtoisten energian jakelusta aiheutuvia infrastruktuurikustannuksia.

Selvitys toteutettiin Teknologian tutkimuskeskus VTT:n ja Valtion taloudellinen tutkimuskeskus VATT:n yhteistyönä. Työn aikana tutkijat kävivät tiivistä keskustelua niin julkisen sektorin (lähinnä TEM ja LVM ja LVM:n alaiset virastot) edustajien kuin aihealueen yritystenkin kanssa.

Alun perin oli tarkoitus, että selvitys tukeutuisi mm. liikenne- ja viestintäministeriön ”Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä” ja ”Nordic Energy Technology Perspectives 2013” -raporteissa¹⁹ esitettyihin kehityspolkuihin vaihtoehtoista energiaa käyttävien ajoneuvojen penetraatiosta. Viitekehys muuttui kuitenkin työn aikana Komission julkaistua alkuvuodesta 2014 ehdotuksen vuoden 2030 ilmasto- ja energiatavoitteista.

Työn ohjausryhmä ohjeisti tutkijoita arviomaan millä toimenpiteillä ja millä kustannuksilla tieliikenteessä voitaisiin saavuttaa 30 tai 40 %:n CO₂ -päästövähennemä vuoteen 2030 mennessä vertailuvuoden ollessa 2005. Näin ollen työtä ohjasi lopulta vuoden 2030 päästövähennystavoitteet ja niiden saavuttamisen kustannustehokkuus, ei niinkään arviot eri autotyyppien yleistymisestä. Liikenne- ja viestintäministeriön ”Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä” selvityksessä puolestaan asetettiin tavoitteellisia jakaumia eri tekniikoille ja polttoaineille ottamatta kantaa kustannusvaikutuksiin.

Tärkeä ulottuvuus tutkimuksessa oli selvittää liikenteen päästövähennyskeinojen vaikutukset kansantalouteen. VTT:n ja VATT:n TEM:lle keväällä 2014 laatiman ilmasto- ja energiapolitiikkaesityksen taustaraportin⁴ mukaan liikennesektori on haasteellisin ja rajakustannuksiltaan selvästi päästökauppasektoria kalliimpi. Tässä tarkastelussa on suuri merkitys sillä, perustuvatko päästövähennykset muualta tuotaviin ajoneuvoihin ja polttoaineisiin, vai toteutetaanko päästövähennykset sellaisilla tekniikoilla ja tavoilla, jotka lisäävät toimintaa Suomen rajojen sisäpuolella. Esimerkki jälkimmäisestä ovat mm. kotimaiseen raaka-aineeseen ja kotimaiseen jalostustoimintaan perustuvat edistykselliset biopolttoaineet. VTT ja Pöyry arvioivat puupohjaisten biopolttoaineiden tuotantomahdollisuuksia vuoteen 2030 ottaen huomioon myös metsäteollisuuden tuotannon kehitysmahdollisuudet ja puun saatavuuden kilpailutilanteen Metlan puun saatavuusanalyysien pohjalta.

¹⁸ Nylund N.-O. ja Laurikko, J; Tieliikenteen uusiutuva energia ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen vuoteen 2020 mennessä, VTT, Espoo, 2011.

¹⁹ <http://www.iea.org/etp/nordic/>

3. Tutkimuksen sisältö ja menetelmät

3.1 Yleistä

Selvityksen painopiste on vaihtoehtoisten toimintamallien ympäristö- ja kustannusvaikutusten arvioinnissa vuoteen 2030 (Fokus 2030). Tämä osa toteutettiin VTT:n ja VATT:n yhteistyönä. Lisäksi kartoitettiin muutokset toimintaympäristössä, mm. tarkennukset biopolttoaineiden kestävyyskriteerien ja vuoden 2030 energia- ja ilmastotavoitteiden osalta.

Kokonaishankkeeseen sisällytettiin myös eräänlaisia ”tukimoduuleja” eli selvityksen päätehtäville ja käynnissä oleville yritysten pilot-hankkeille tarpeellista taustatietoa tuottavia alatehtäviä, joita ovat:

- yhteenveto ajoneuvokaluston ja eri polttoaine/energiavaihtoehtojen kv. kehitysnäkymistä (eri lähteistä mm. EU, IEA, kansainväliset konsultit)
- arviot uusista moottorikonsepteista ja polttoaineiden laatuvaatimusten kehittymisestä (mm. onko odotettavissa tarvetta uudentyypisille polttoaineille, tai kiristyvätkö polttoaineiden laatuvaatimukset kenties vaikeuttaen biojalosteiden käyttöä)
- polttoainestandardit ja -normit; niiden kehitysnäkymät
- polttoaineiden ja energian jakelu; infrastruktuurit
- edistysellisten biopolttoaineiden tuotanto- ja kehitystilanne Suomessa ja maailmalla

Näistä kaksi viimeisintä toteutettiin alihankintana (Ramboll Oy ja Pöyry Oy), muista vastasi VTT. Käsillä olevassa raportissa nämä alatehtävät on esitetty liitteissä:

- Ajoneuvojen kehitysnäkymät ja vaihtoehtoisten ajoneuvojen tarjonta (Liite 1)
- Uudet polttoaineet ja moottorikonseptit (Liite 2)
- Biopolttoaineita koskevat standardit ja muut säädökset (Liite 3)
- Polttoaineiden ja energian jakelu (Liite 4)

Hankkeen yleinen rakenne on esitetty kuviossa 4.

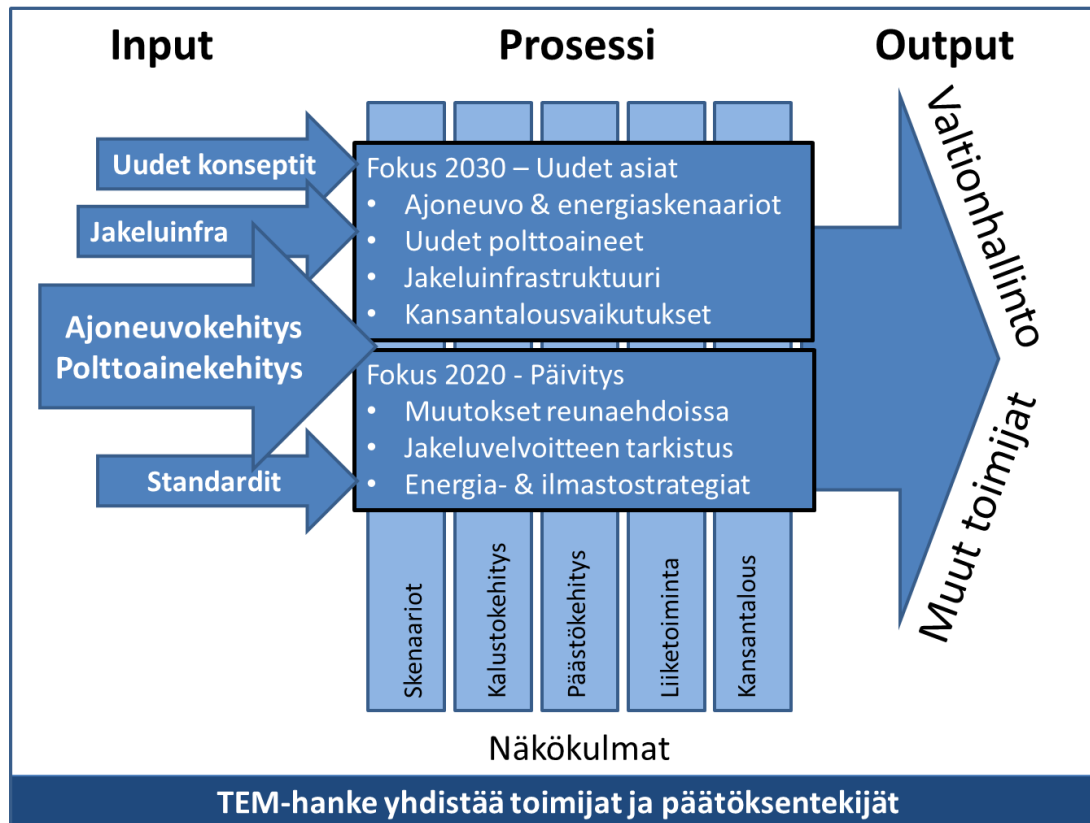
Rinnan nyt puheena olevan selvityshankkeen kanssa on käynnissä kokeellinen tutkimushanke ”Perinteistä dieselpolttoainetta korvaavat biopolttoainevaihtoehdot: Yhteistyö ja verkostoituminen uusien vaihtoehtojen pilotoinnissa”. Tässä hankkeessa eri yritykset kokeilevat käytännössä uusia tekniikoita, mm. lisäaineistettua etanolia raskaissa ajoneuvoissa, mäntyöljyyn perustuvaa uusiutuvaa dieselpolttoainetta ja raskaiden kaasautojen ns. diesel dual-fuel tekniikkaa.

3.2 Tarkastelujen periaate ajoneuvokaluston osalta

Ajoneuvokaluston laskennassa tehtiin joukko lähtöoletuksia. Ajosuoritteina käytettiin Liikenneviraston kesällä 2014 julkaisussa ”Valtakunnallinen tieliikenne-ennuste 2030”⁽³⁾ esittämiä lukuja. Liikenneviraston ennusteen mukaan suoritteet kasvavat vuoteen 2030 mentäessä, ja autokaluston määrää lisättiin vastaavasti, koska viime kädessä liikennesuoritteen kasvu merkitsee myös autokannan kasvua, koska ajoneuvokohtaiset suoritteet eivät juuri joustaa.

Kalustotarkastelut tehtiin VTT:n uudella ”ALIISA” autokantamallilla, joka on VTT:n LIISA-laskentamallin⁽⁷⁾ alamalli. Mallin lähtökohtana on Suomen nykyinen autokanta, autojen myyntimäärät, poistumat, suoritteet, polttoaineiden kulutus ja CO₂-päästöt. Kaluston uudistumis-

nopeudeksi oletettiin n. 6 %, mikä tarkoittaa että kaluston keski-ikä pysyy likimain muuttumattomana.



Kuvio 4: Selvityshankkeen rakenne.

Tarkasteluiden referenssiksi luotiin perusskenaario, jossa ei erityisesti suosita mitään vaihtoehtoisia tekniikkaa, pois lukien biopolttoaineita. Perusskenaariossa ajoneuvot ovat siis pääasiassa bensiini- ja dieselajoneuvoja. Suomessa on voimassa biopolttoaineiden jakeluvälvoitelaki⁽⁵⁾, jonka mukaan vuonna 2020 laskennallisen biopolttoaineosuuden tulee olla 20 % [4]. Perusskenaarion laskennassa oletettiin, että biopolttoaineiden todellinen määrä polttoaineiden kokonaiskäytön energiasisällöstä nousee 15 %:iin vuoteen 2020 mennessä (vastaa vuoden 2012 ILARI baseline-oletusta⁽⁸⁾), ja pysyy sitten vakiona 15 %:ssä vuoteen 2030. Koska biopolttoaineet lasketaan nollapäästöisinä liikenteen CO₂-taseeseen, oletamus on siten että biopolttoaineiden liikenteen CO₂ päästöjä vähentävä vaikutus on 15 % vuosina 2020 – 2030.

Autokaluston energiatehokkuuden on oletettu parantuvan autokaluston uudistumisen myötä, henkilöautoilla keskimäärin 1,5 - 2 % ja muissa autoluokissa 0,5 % jaksolla 2015 – 2030. Lopputulos on, että perusskenaariossa liikenteen CO₂ päästöt vähenevät noin 21 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Biopolttoaineiden käyttö ja energiatehokkuus vaikuttavat päästöjä vähentävästi, kasvavat suoritteet taas vuorostaan päästöjä lisäävästi.

Jotta tieliikenne saavuttaisi 30 tai jopa 40 %:n CO₂ päästövähennyksen vuoteen 2030 mennessä tarvitaan siis lisätoimenpiteitä. **Kuljetapamuotoihin vaikuttaminen ja autokaluston nopeutettu uusiminen jätettiin tämän tarkastelun ulkopuolelle**, koska selvityksellä haluttiin ensisijaisesti selvittää miten eri käyttövoimavaihto-²⁰ voidaan vaikuttaa päästöihin, ja mitkä ovat eri vaihtoehtojen vaikutukset kansantalouden kannalta.

Tarkasteluissa ajoneuvojen pääluokkia on viisi; henkilöautot, pakettiautot, linja-autot, kuorma-autot ilman perävaunua ja perävaunulliset kuorma-autot. Henkilöautojen osalta tarkasteltiin seuraavia käyttövoimavaihtoehtoja: bensiini, diesel, korkeaseosetanoli (flexifuel/E85),

²⁰ Käyttövoima = energiamuoto tai polttoaine, jonka avulla ajoneuvo kykenee liikkumaan

kaasu (metaani), pistokehybridi (PHEV), akkusähköauto (BEV) ja vety (polttokennosähköauto FCEV).

Myös muiden ajoneuvoluokkien osalta tarkasteltiin vaihtoehtoisia käyttövoimatyyppisiä, mutta rajoitetummin, koska tarjontaa on vähemmän. Esim. raskaiden perävaunullisten kuorma-autojen osalta ainoat käytännön vaihtoehdot ovat nestemäiset biopolttoaineet ja nesteytetty maakaasu (LNG), koska mikään muu teknologia ei tarjoa riittävää moottoritehoa suhteessa massaansa (moottori + polttoainesäiliö tai energiavarasto). Ainoastaan kaupunkilinja-autoissa on sähkön käyttäminen mahdollista, mutta niiden rajoitetun määrän (noin 3000 kpl) takia vaikutukset liikenteen kokonaispäästöihin ovat varsin vähäiset. Tarkemmin tarjolla olevista käyttövoima- ja voimalaitevaihtoehdoista kerrotaan liitteessä 1.

Liikenteen, erityisesti henkilöautojen, käyttövoimavaihtoehtojen suosion ja markkinaosuuksien ennakointi on hyvin vaikeaa. Teknisessä mielessä minkä hyvänsä uuden käyttövoiman menestysmahdollisuudet riippuvat useasta osatekijästä. Tärkeimmät näistä ovat:

- 1) saatavuus (=tuotanto)
- 2) jakelujärjestelmä
- 3) yhteensopivuus autokalustoon
- 4) Hinta & kuluttajien kiinnostus kyseiseen teknologiaan

Mikä hyvänsä ensimmäisestä kolmesta voi asettaa teknilliset rajoitukset käytölle, mutta ratkaisun hintakilpailukyky ja kuluttajien hyväksyntä viime kädessä luovat edellytykset markkinasuosiolle. Hinta on kuitenkin monen tekijän summa, ja myös erilaisten tukien käyttö vaikuttaa lopputulokseen. Lisäksi tietysti myös ajoneuvojen mallitarjonta vaikuttaa ko. vaihtoehdon suosioon.

Tarkastelut tehtiin kuitenkin aluksi niin, että yksi vaihtoehtoinen teknologia kerrallaan automäärät ”pakotettiin” vuoteen 2030 mennessä niin suuriksi, että jokaisella saavutettiin 40 %:n päästövähennys (siis noin 20 %:n lisävähennys perusskenaarioon verrattuna). Näin siksi, että eri vaihtoehdot olisivat keskenään vertailukelpoisia. Yhteensopivien eli ns. drop-in –biopolttoaineiden osalta lisävähennyksen saavuttaminen ei edellytä uudentyyppisiä ajoneuvoja. Edellytyksenä on kuitenkin, että joko kotimaasta tai ulkomailta saadaan hankittua riittävä määrä tavanomaisen autokaluston kanssa yhteensopivia biopolttoaineita. Jos 40 %:n päästövähennys halutaan saavuttaa pelkästään biopolttoaineiden avulla, tarkoittaisi se noin 1 100 000 toe:n todellista biopolttainemäärää vuonna 2030.

Käytännössä mitään tarkastelluista vaihtoehdoista ei kuitenkaan ole mahdollista toteuttaa sellaisenaan, koska mm. tarvittavat automäärät uusille käyttövoimavaihtoehdoille ovat niin suuria, ettei niitä normaalimyynnillä kyetä saavuttamaan. Voimakkaat muutokset kulutuskäyttäytymiseen yleensä edellyttävät myös taloudellista ohjausta, josta syntyisi lisäkustannuksia. Siksi vaihtoehtojen käyttöönotto pieninä määrinä ”pakottamatta” on todennäköisesti kustannustehokkaampaa kuin voimakas keskittyminen johonkin yksittäiseen teknologiaan.

Näiden eri -40% skenaarioiden auto- ja polttoainemäärät, kustannukset jne. vietiin skenaario kerrallaan VATT:n VATTAGE -malliin, joka sitten laski kansantalouden kehittymistä. Näin saatiin kuva siitä, millaisiin kustannuksiin kullakin vaihtoehdolla hiilidioksidipäästöjen vähentäminen johti. Periaatteessa optimaalinen ratkaisu olisi ottaa käyttöön kutakin vaihtoehtoa niin paljon, että kaikilla vaihtoehdoilla CO₂-vähentämisen rajakustannukset olisivat samat. Käytännössä tämä kuitenkin voi olla hyvinkin vaikeata.

3.3 VATTAGE laskenta

3.3.1 Skenaarioiden muodostaminen

Työssä muodostettiin erilaisia tulevaisuuskuvia ja niitä tukevia skenaarioita siten, että kullakin vaihtoehdolla saavutettaisiin 40 prosentin hiilidioksidipäästöjen vähennys vuoteen 2030

mennessä, kun vertailuvuosi on 2005. Työssä luotiin siis seuraavat, taulukon 5 mukaiset teknologiaskenaariot:

Taulukko 5. Työssä tarkastellut teknologiaskenaariot

LYHENNE	KUVAUS
KONV	vain perinteisiä bensiini- ja dieselautoja, päästöt -21%
DROP-IN	KONV + drop-in polttoaineilla päästövähennelmä 40%
FFV	maksimoitu E85 ja ED95 etanolipolttoaineiden käyttö, päästöt -40%
GAS	maksimoitu kaasuautojen määrä, päästöt -40%
PHEV	maksimoitu lataushybridiautojen määrä, päästöt -40%
BEV	maksimoitu akkusähköautojen määrä, päästöt -40%
FCEV	maksimoitu vetypolttoautojen määrä, päästöt -40%
KEHITYS	yhdistelmäskenaario, päästöt -40%

Kansantaloutta koskevissa tarkasteluissa luotiin näistä erälle myös alaskenaarioita (taulukko 6). Kutakin skenaariota kuvaavat tunnusluvut on esitetty laskentaosioissa, luvuissa 8 ja 9.

Kutakin vaihtoehtoteknologiaa otettiin siis asteittain käyttöön sekä henkilöautoissa että rakassa kalustossa, sikäli kun se on teknologisesti mahdollista. Laskettiin automäärien kehittyminen ja autokannan koostumus, eri polttoaineiden käyttöosuudet ja aggregoidut kokonaispäästöt. Tämä laskenta tapahtui VTT:n ALIISA -mallilla, jossa po. käyttövoimavaihtoehtoa tuotiin autokantaan uusien autojen myynnin kautta kasvavia määriä, kunnes vuonna 2030 saavutettiin sellainen autokanta, että po. vaihtoehdon kautta liikenteen CO₂-päästöt vähenivät asetetun tavoitteen mukaisesti 40 %.

Useimmissa tapauksissa tämä merkitsi niin voimakasta ”markkinaosuuden” tai jopa uusien autojen myynnin kasvattamista, ettei se voi olla mahdollista markkinaehtoisesti, vaan tarvittaisiin erittäin voimakkaita ohjaavia toimia. Lisäksi FFV/BEV/PHEV/FCEV -autojen tuotantomäärät ovat vielä pitkään niin pienet, ettei Suomen markkinoille edes välttämättä ”riitä” sellaisia määriä autoja, tai että mallitarjonnan vähäisyyden takia ei kovin suurien myyntiosuuksien saavuttaminen voi käytännössä olla mahdollista.

ALIISA -mallilla laskettiin myös uusien autojen myyntimäärien perusteella, ja erikseen määritellyillä yksikkökustannuksilla, eri teknologiavaihtoehdoista ajoneuvokustannukset ja lisäkustannukset verrattuna perusteknologian ajoneuvoihin, jotka käyttävät vain nykyisiä tai nykyisen kaltaisia nestemäisiä liikennepolttoaineita. Eri teknologioiden lisäkustannusten oletettiin alenevan ajan myötä. Erilaisten ajoneuvojen kustannukset on esitetty kohdassa 8.3.

ALIISA -mallilla laskettujen polttoaineiden (tai energioiden) määrien ja automäärien perustella laskettiin kullekin polttoaineelle sille ominaisilla kustannuksilla polttoaineen/energian jake- lusta aiheutuvat kustannukset. Kuten ajoneuvoissakin, myös jakelussa eri teknologioiden kustannusten oletettiin alenevan ajan myötä, ainakin mitä tulee jakelupaikalla syntyviin kustannuksiin, mutta vähemmässä määrin koskien polttoaineen (tai energian) siirtoa tuotannosta jakelupaikalle. Jakelun kustannukset on polttoaineittain esitetty kohdassa 8.4.

3.3.2 Kansantalouselaskelmat

Uudentyyppisten polttoaineiden ja ajoneuvokonseptien käyttöönoton vaikutuksia kansantaloudelle tutkittiin tässä tutkimuksessa kokonaistaloudellisten vaikutusten perusteella. Kaikissa skenaarioissa tuloksia verrataan perusskenaarioon, jossa CO₂ -päästöjä vähennetään biopolttoaineiden nykyisen sekoitusvelvoitteen ja energiatehokkuuden tehostumisella jo noin 20 prosenttia vuoden 2005 tasosta. Perusskenaariossa on oletettu, että biopolttoaineet tai ainakin niiden raaka-aineet tuodaan Suomeen suurimmaksi osaksi ulkomailta. Täten kukin ”teknologiaskenaario” kertoo, minkälaisia vaikutuksia kansantaloudelle tulisi, mikäli CO₂ -

päästöjä vähennettäisiin perusskenaarion vähennysten lisäksi erityyppisillä teknologisilla vaihtoehdoilla 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä.

Kansantaloutta koskevista tarkasteluista luotiin erälle teknologiaskenaarioille myös alaskenaarioita riippuen mm. polttoaineiden tuonnista vs. kotimaisuudesta, investoinneista ja jakelijärjestelmän kustannusten olettamista. Taulukossa 8 on eritelty nämä kaikki, ja mainittu myös tärkein rajoittava tekijä sille, miten pitkälle ko. teknologiaskenaario ja kehityspolku ovat mahdollisia, eli miksi taloutta kuvaavissa kuvioissa ehjä viiva muuttuu katkoviivaksi.

Suurin osa näistä skenaarioissa ei siis ole käytännössä sellaisenaan kovin todennäköisiä teknologisesta näkökulmasta. Käytännössä on todennäköisempää, että kutakin teknologiaa tulisi käyttöön jonkin verran. Kyseiset skenaariot kuitenkin näyttävät, mihin asti kutakin teknologiaa olisi talouden kannalta kannattavaa jatkaa ja skenaarioiden tulokset ovat helposti vertailtavissa samansuuruisten pitkän aikavälin päästövähennemien ansiosta.

Taulukko 6. Kansantalouselaskelmissa tarkastellut teknologiaskenaariot

#	LYHENNE	KUVAUS	PÄÄRAJOITE TOTEUTUMISELLE	MAHD. CO ₂ VÄHENEMÄ
1	DROP-IN, tuonti	DROP-IN-skenaario, polttoaineet tuontia	Ei rajoitetta	40%
2	DROP-IN, investointeja	DROP-IN-skenaario, investointeja ja kotimaiseen drop-in tuotantoon	Ei rajoitetta	40%
3	FFV, tuonti	FFV-skenaario, polttoaineet tuontia	FFV-automäärä	noin 9%
4	FFV, investointeja	FFV-skenaario, investointeja kotimaiseen etanolituotantoon	FFV-automäärä	noin 9%
5	CBG	CBG-skenaario	Kaasuautojen määrä	noin 10%
6	PHEV	PHEV-skenaario	PHEV-autojen määrä	noin 12%
7	BEV, min	BEV-skenaario, minimikustannukset latausinfraassa	Akkusähköautojen (BEV) määrä	noin 11 %
8	BEV, max	BEV-skenaario, maksimikustannukset latausinfraassa	Akkusähköautojen (BEV) määrä	noin 11 %
9	FCEV	FCEV-skenaario	Polttokennosähköautojen (FCEV) määrä	noin 10 %

Laskelmat on tehty VATTAGE yleisen tasapainon mallilla. Liite 5 sisältää tarkempia tietoja kyseisestä yleisen tasapainon mallista, sen toimintamekanismeista ja oletuksista. Kunkin skenaarion tärkeimmät mallinnusoletukset on listattu taulukkoon 26, ja kussakin niistä vähennetään CO₂ -päästöjä pitkällä aikavälillä (2030 vuoteen mennessä) 40 % vuoden 2005 tasosta. Kaikkiin skenaarioihin on koetettu identifioida niihin liittyvät suurimmat muutokset koko arvonalisäketjussa, aloittaen polttoaineiden tuotannosta ja päättyen kuluttajien kysyntämääriin ja heidän kohtaamiinsa hintoihin. Eri teknologioiden lisäksi kansantaloudellisten vaikutusten kannalta merkittävimmät oletukset on jaoteltu omiksi skenaarioikseen. Esimerkiksi uusien biopolttoaineiden tuonti ulkomailta luo hyvin erilaisen vaikutuksen kansantalouteen kuin kyseisten polttoaineiden tuottaminen kotimaassa.

Tutkimusmetodinä käytetään yleisen tasapainon mallinnusta, jotta saadaan laskettua kaikissa skenaarioissa sekä eri toimijoille kohdistuvat suorat kustannukset että näiden suorien kustannusten kerrannaisvaikutukset kansantaloudessa yhteen ja muodostettua näkemys koko

kansantalouden kannalta parhaista tavoista vähentää liikenteen päästöjä. Teknologiaskenaarioiden pelkät suorat kustannukset eivät kerro lopullista kuvaa eri toimijoille kohdistuvista kokonaiskustannuksista, koska ne eivät sisällä laskelmia epäsuorista vaikutuksista ja niiden kerrannaisvaikutuksista. Skenaarioissa suoria kustannuksia kohdistuu kuluttajille ja yrityksille varsinkin uuden tyyppisten autojen hankinnoista ja uusista polttoaineista, sekä yrityksille näiden lisäksi myös tarvittavista lisäinvestoinneista polttoaineiden jakeluinfrastruktuuriin. Lisäksi yritysten on oletettu investoivan uudentyyppisten polttoaineiden tuotantoon.

Julkinen sektori tukee näitä uusia laitosinvestointeja julkisilla investointituilla, mutta **kaikki skenaariot on laskettu julkisen talouden kannalta budjettineutraalisti**. Tämä tarkoittaa, että mikäli skenaarioissa julkiset menot kasvavat merkitsevästi tai verotulot laskevat, verotta- ja nostaa (muiden) hyödykkeiden verotusta, jotta kokonaisverotulot eivät laske ja julkinen velka ei nouse. Koska monien uusien biopolttoaineiden kokonaisverotus on tällä hetkellä suhteellisesti alhaisemmalla tasolla kuin fossiilisissa polttoaineissa, nousee tällainen tarve verotuksen muuttamiseen useassa skenaariossa. Lisäksi nousevien julkisten investointituki- en takia verotusta on osassa skenaarioista tarvetta nostaa, jotta julkinen velka ei kasvaisi. Nämä mekanismit voivat siis vaikuttaa skenaarioiden tuloksiin pääoletusten lisäksi. Ilmasto- ja fiskaalipolitiikan Suomessa ja muualla maailmassa oletetaan pysyvän muuten muuttumattomana, jotta saamme laskettua vain edellä mainituista liikenteeseen liittyvistä muutoksista aiheutuvat vaikutukset taloudessa.

Tarkasteluissa nestemäisiä biopolttoaineita oletetaan tuotavan Suomeen ulkomailta tai tuotettavan Suomessa, joko tuontiraaka-aineista tai kotimaisista raaka-aineista. Biokaasun ja vedyn oletetaan aina olevan kotimaista, ja kotimaisista raaka-aineesta valmistettua. Täten eräille pääskenaariolle tulee alaskenaarioita. Kotimaassa jalostetun fossiilisen bensiinin ja dieselin tuotannon odotetaan suuntautuvan enenemässä määrin vientiin alan toimijoiden arvion mukaisesti, mikäli kyseisten hyödykkeiden kysyntä laskee Suomessa. Nykyisen ja arvioidun tulevaisuuden kotimaisen autotuotannon pohjalta oletetaan, että suurin osa henkilöautoista tuodaan Suomeen ulkomailta. Sen sijaan erityisesti sähköbussseja odotetaan valmistettavan myös kotimaassa, mikäli niille on kysyntää.

Viitekehys, nykytilanne ja ennusteet uudesta tuotannosta

4. Muutokset toimintaympäristössä

4.1 Yleistä

Keväällä 2012 valmistuneessa ”Suomi 2020” selvityksessä viitattiin mm. EU:n vuoden 2020 energia- ja ilmastotavoitteisiin (ns. 20-20-20-10 –tavoitteet), Komission vuoden 2011 liikenteen valkoiseen kirjaan, LVM:n ILPO-ohjelmaan ja ILARI-hankkeeseen sekä päivitettyyn biopolttoaineiden jakeluvuoritelakiin. Tuolloin todettiin että siihen mennessä tehdyillä päätöksillä (käynnissä olevat laitokset ja laitokset, joista on investointipäätös) kotimaassa tuotetaan vuonna 2020 biopolttoainemäärä, joka vastaa n. 13 prosenttia tieliikenteen polttoainemäärästä laskennallisen energiaosuuden ollessa n. 19 %. Tässä oletettiin kaiken kotimaassa tuotetun biopolttoaineen laskennallisesti jäävän Suomen markkinoille. Tuottajat kuitenkin myyvät käytännössä tuotteensa kansainvälisille markkinoille parhaan maksukyvyyn mukaan. Sähköautoja oli rekisterissä vuoden 2011 lopulla yhteensä 70 kappaletta.

Sittemmin EU on julkaissut ns. toimenpidepaketin vuoden 2030 ilmasto- ja energiapoliittisista tavoitteista⁽⁵⁾, jonka yksityiskohdista ei kuitenkaan ole vielä päätetty. Tämä mukaan liikenteelle ei enää esitetä erityistä uusiutuvan energian tavoitetta, vaan ohjaavana tekijänä on ainoastaan sitova kansallinen kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoite EU:n päästökaupan ulkopuoliselle sektorille, ml. liikenne. Tämä tarkoittaa mm. sitä, että edistyksellisten biopolttoaineiden ns. kaksoislaskettavuuden merkitys todennäköisesti katoaa vuoden 2020 jälkeen. Se, ettei liikenteelle ole asetettu uusiutuvan energian tavoitetta yhdistettynä biopolttoaineista käytävään kestävyyskeskusteluun, on aiheuttanut epävarmuutta biopolttoainetoimijoissa ja siirtänyt suunniteltuja investointeja (esim. NER300). Lisäksi uusi direktiivi²¹ vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta painottaa sähköä ja kaasumaisia polttoaineita, ei niinkään nestemäisiä biopolttoaineita.

Sähköautojen osalta on tapahtunut selvää edistymistä, myös eurooppalaiset valmistajat ovat tuoneet markkinoille sähköautoja, sekä täyssähköautoja että ladattavia hybridejä. Suomeen on myös syntynyt sähköautojen latausoperaattori. Helmikuussa 2015 virallisesti toimintansa aloittaneen sähköautojen latauspalveluita tarjoavan Virtapisteen verkosto käsittää tällä hetkellä 60 latauspistettä 13 paikkakunnalla eri puolilla Suomea

4.2 EU:n vuoden 2030 ilmasto- ja energiapoliittiset tavoitteet

Euroopan komissio julkaisi 22.1.2014 vuoden 2030 ilmasto- ja energiapoliittisia tavoitteita koskevan toimenpidepaketin⁽²⁾, jossa esitetään sitovat kasvihuonekaasupäästötavoitteet, jotka olisivat linjassa vuotta 2050 koskevan etenemissuunnitelman kanssa kohti vähähiilistä taloutta. Poliittisia linjauksia paketista tehtiin Eurooppa-neuvostossa lokakuussa. Keskustelua leimasi aiempaa vahvemmin halu linkittää toisiinsa ilmastotavoitteet, teollisuuden kilpailukyky ja energian saatavuuden turvaaminen sekä energian hinnan kohtuullisuus. Nämä eivät ole vastakkaisia tavoitteita, vaan kunnianhimoisella ilmastopolitiikalla voidaan myös luoda markkinoita cleantechille ja uusia työpaikkoja. Samalla myös energiaintensiivisen teollisuuden kilpailukyvyistä on huolehdittava.

Euroopan neuvostossa 23-24.10.2014 hyväksytyn tavoiteohjelman mukaan sitova kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoite on 40 prosenttia vuoden 1990 tasosta EU:n sisäisiin toimiin, jakautuu päästökaupan ja ei-päästökauppasektorin kesken siten, että päästökauppasektori vähentää 43 prosenttia ja ei-päästökauppasektori vähentää 30 prosenttia. Ei-päästökauppasektorilla vertailuvuosi on 2005. Jäsenmaiden välinen taakanjako on määrä päätetään myöhemmin, mutta se toteutetaan ottamalla huomioon jäsenmaiden tulotaso sekä vauriissa jäsenmaissa myös päästövähennystoimien kustannustehokkuus.

²¹ Direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta. 2014/94/EU.<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=EN>

VTT ja VATT laativat keväällä 2014 TEM:lle ja YM:lle taustaraportin EU 2030 ilmasto- ja energiapaketin vaikutuksista Suomelle⁽⁴⁾. Ei-päästökauppasektorin (EKPS) taakanjakoa tarkasteltiin olettaen eri EPKS -vähennystavoitteita Suomelle vuonna 2030. Liikenteen merkitys uusien päästövähennysten saamiseksi on suuri verrattuna EPKS:n muihin sektoreihin, kuten asuminen, maatalous, jätehuolto sekä päästökauppasektorin ulkopuolinen energiantuotanto ja teollisuus. Liikenteen biopolttoaineet todettiin erääksi kustannustehokkaimmaksi poluksi Suomelle, ja niiden tarve oli eri skenaarioissa suurimmillaan 40 % liikenteen energiasta vuonna 2030 suurimmilla oletetuilla Suomen taakanjakoarvoilla. Lisäksi tavoitepakettiin sisältyy EU:n laajuinen sitova uusiutuvan energian tavoite, jonka mukaan uusiutuvan energian osuus kaikesta energiankäytöstä nostetaan vähintään 27 prosenttiin EU-tasolla. Tavoite ei kuitenkaan ole maakohtaisesti sitova, eli vuoden 2020 jälkeen ei maakohtaisia EU:n asettamia tavoitteita näillä näkymin enää ole. Myöskään uusia liikennesektorin erillisiä biopolttoainetavoitteita ja polttoaineiden kasvihuonekaasupäästövähennystavoitteita ei pidetty tarpeellisina.

Neuvosto tarkastelee ilmastotavoitteita uudelleen Pariisissa joulukuussa 2015 pidettävän kansainvälisen ilmastokokouksen (COP 21) jälkeen, jolloin on tiedossa, millaisia päästövähennystavoitteita EU:n ulkopuoliset maat asettavat.

Päästövähennemien ja tavoitteiden saavuttamisen varmistamiseksi luodaan uusi EU-tason hallinnointijärjestelmä. Lisäksi ehdotetaan uusia hallinnointipuitteita, jotka perustuvat kilpailtua, varmaa ja kestäväää energiaa koskeviin kansallisiin suunnitelmiin. Jäsenvaltiot laativat nämä suunnitelmat komission tulevien ohjeiden perusteella käyttämällä yhteistä lähestymistapaa, jolla varmistetaan investointivarmuus ja suurempi avoimuus sekä parannetaan yhdenmukaisuutta, EU:n koordinaatiota ja valvontaa. Komission ja jäsenvaltioiden välisellä monivaiheisella prosessilla varmistetaan, että suunnitelmat ovat riittävän kunnianhimoisia sekä yhteneviä ja vaatimustenmukaisia pitkällä aikavälillä.

Tammikuussa 2014 tehdyn julkistuksen yhteydessä Komissio julkaisi myös esitykseen liittyvän kysymyksiä & vastauksia dokumentin²². Kysymykseen ”Miksi liikenteelle ei ole asetettu tavoitetta uusiutuvalle energialle”, Komissio vastaa:

”EU:n liikennesektorin kehityksen tulisi perustua vaihtoehtoihin, kestävästi tuotettuihin polttoaineisiin integroituna osana kokonaisvaltaisempaa lähestymistapaa liikenteeseen.

Tästä syystä Komissio ei ole ehdottanut uusia tavoitteita liikennesektorille vuoden 2020 jälkeen (voimassa olevat tavoitteet 10 % uusiutuvaa energiaa liikenteessä 2020, uusiutuvan energian osuus on noussut vuoden 1,2 %:sta vuonna 2005 4,7 %:iin vuonna 2010).

Voimassa olevasta tavoitteesta saatujen kokemusten ja epäsuorien maankäytön vaikutusten arvioinnin perusteella on selvää, että ensimmäisen sukupolven biopolttoaineilla on rajallinen merkitys liikenteen dekarbonisoinnissa. Näin ollen vastauksina liikennesektorin haasteisiin vuonna 2030 ja siitä eteenpäin tarvitaan yhdistelmää erilaisista vaihtoehtoisista polttoaineista ja liikenteen valkoiseen kirjaan perustuvista suunnatuista politiikkatoimista.”

Liikenne on osa EU:n ei-päästökauppasektoria (EPKS). Jäsenmaiden välisestä taakanjaosta ei vielä ole sovittu, mutta olettaen EU:n 2020-politiikan mukainen taakanjakoperuste, Suomen osalta on arvioitu, että EPKS -päästövähennystavoite on 32-40 % vuoden 2005 päästöihin verrattuna. Näillä taustoilla on arvioitu, että kustannustehokkaan EPKS -päästövähennystavoitteen saavuttaminen edellyttää liikenteen päästöjen vähentämistä 30 – 40 %:lla, ja tätä oletusta on myös käytetty lähtökohtana nyt käsillä olevassa selvityksessä. Jos oletetaan, ettei liikennesuoritteisiin tai kulkutapajakautumiin pystytä vaikuttamaan, päästövähennysten saavuttamiseksi on periaatteessa käytettävissä seuraavat keinot:

- Energiatohokkuuden parantaminen
- Kestävien biopolttoaineiden käytön lisääminen

²² http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-14-40_en.htm

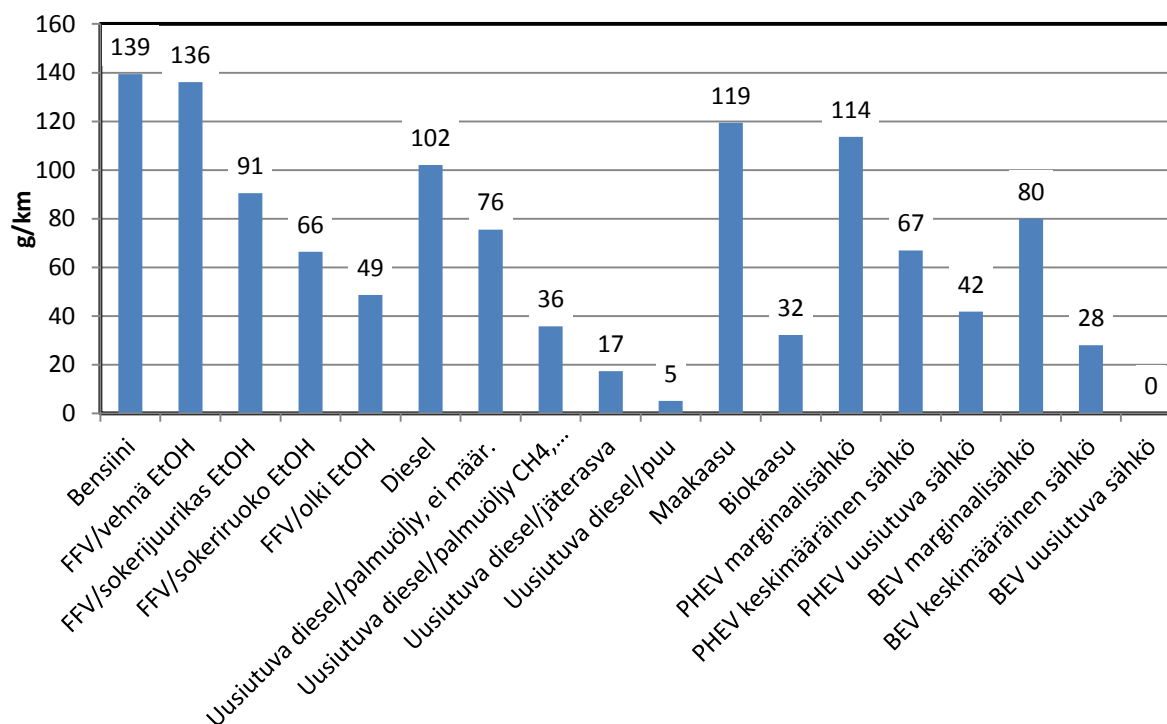
- Liikenteen sähköistäminen
- Polttokennoautojen käyttöönotto

Korvattaessa bensiiniä maakaasulla henkilöautoissa voidaan saavuttaa noin 20 %:n vähennys kasvihuonekaasuihin. NykYTEKNIKALLA dieselin korvaamisella maakaasulla ei saavuteta kasvihuonekaasuvähennyksiä kipinäsytytteisten maakaasumoottorien huonomman hyötysuhteen takia. Uusimmat Euro VI –pakokaasumääräykset asettavat erittäin kovan haasteen dieselpohjaisten kaasumoottorien kehittämiseksi, eikä millään valmistajalla ole vielä markkinalkelpoista tuotetta.

Biopolttoaineiden, sähkön ja vedyn käyttö lasketaan nollapäästöiseksi liikenteen päästötaseessa, koska CO₂-päästöt syntyvät tuotantolaitoksista, jotka pääosin kuuluvat päästökauppasektoriin. Todenmukaisessa tarkastelussa myös polttoaineen tai energian tuotannon päästöt tulisi huomioida ns. elinkaarilaskennalla tai well-to-wheel tarkastelulla. Kuvio 5 esittää tällä tavoin tehtyä vertailua nykyisten fossiilisten polttoaineiden ja useiden biovaihtoehtojen välillä.

Henkilöauton well-to-wheel CO₂ päästöt

C-kategorian auto, valm. ilm. suoritusarvot, biopolttoaineet direktiivi 2009/28/EY



Kuvio 5. Well-to wheel (WTW) vertailu nykyisten fossiilisten polttoaineiden ja useiden biovaihtoehtojen välillä. Tietojen lähde: ajoneuvon valmistaja, 2009/28/EY²³ ja JRC²⁴.

Helmikuussa 2015 Komissio julkaisi tiedonannon valmistelussa olevasta Energiaunionista (COM(2015) 80 final). Käytännössä kyse on EU:n uudesta energiapoliittisesta strategiasta, jossa komissio linjaa tulevaa työtään ja tarkastelee millä energiapolitiikan osa-alueella kaivataan lisää yhteisötason toimia. Komission tavoitteena on, että energiapolitiikkaa linjattaisiin tiiviimmin yhdessä EU-tasolla 28 kansallisen energiapolitiikan sijaan (TEM 2015)²⁵.

²³ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:32009L0028>

²⁴ <http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/downloads>

²⁵ https://www.tem.fi/energia/tiedotteet_energia?89519_m=117524

Tiedonannossa otsikkotasolla mainitaan sekä energiatehokas ja vähähiilinen liikenne että uusiutuvan energian hyödyntäminen. Liikenneotsikon alla mainitaan mm. seuraavat päästöjä vähentävät toimenpiteet:

- Henkilö- ja pakettiautojen CO₂-päästörajojen tiukentaminen
- Raskaiden ajoneuvojen energiatehokkuuden parantaminen ja CO₂-päästörajat
- Liikenteen ohjauksen parantaminen
- Ajoneuvokaluston tehokas käyttö
- Energiatehokkaiden liikennemuotojen hyödyntäminen (rautatie- ja vesiliikenne)
- Vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönotto
- Autokaluston sähköistäminen

Liikenteen sähköistämisen osalta todetaan että Euroopasta pitäisi tehdä sähköisen liikenteen ja sähkön varastoinnin edelläkävijä.

Liikenneotsikon alla ei erikseen mainita biopolttoaineita. Ne mainitaan kuitenkin uusiutuvan energian otsikon alla. Tiedonannossa sanotaan:

”EU:n tulee panostaa edistykseen kestäviin vaihtoehtopolttoaineisiin, mukaan lukien biopolttoaineiden tuotantoprosessit ja bioekonomia yleisellä tasolla. Näin voidaan säilyttää teknologinen ja teollinen johtajuus ja samalla saavuttaa ilmastotavoitteet. EU:n on otettava huomioon bioenergian vaikutukset ympäristöön, maan käyttöön ja ruuan tuotantoon. EU:n investointiohjelma ja muut rahoitusinstrumentit voivat edesauttaa tarvittavan rahoituksen varmistamista.”

4.3 Biopolttoaineiden kestävyysvaatimukset

Komissio antoi esityksen²⁶ biojalosteiden kestävästä valmistuksesta ja sen reunaehdoista koskeva ns. ILUC direktiivistä (2012/0288(COD)) 18.10.2012. Sen on määrä päivittää sekä polttoaineiden laatudirektiiviä (FQD, 98/70/EC), että uusiutuvan energian käytön direktiiviä (RES, 2009/28/EC). Sitä tuki erillinen vaikutusarvio²⁷.

Parlamentti otti asian 1. käsittelyyn, ja julkaisi kantansa²⁸ syyskuussa 2013. Asian käsittely jatkui sen jälkeen Neuvostossa, joka pääsi yhteisymmärrykseen sen sisällöstä 13.6.2014.

Neuvoston tiedonannon²⁹ keskeiset sisällön kohdat olivat, että ensimmäisen sukupolven (eli ruokaketjuun kuuluvista raaka-aineista valmistettaville) biopolttoaineille ja -nesteille asetettiin enimmäisrajaksi 7 %, ja että jäsenvaltioille tuli vaatimus asettaa kansallinen kehittyneiden biopolttoaineiden alarajavoite vuodelle 2020, joka ei kuitenkaan ole sitova. Näille kansallisille tavoitteille esitettiin referenssiarvoksi 0,5 % -yksikköä liikenteen uusiutuvan energian 10 % kokonaistavoitteesta. Tähän tavoitteeseen laskettaisiin mukaan ne biopolttoaineet, jotka on tuotettu direktiiviehdotuksen liitteen IX A-osassa luetelluista raaka-aineista tai ns. Grandfathering-lausekkeen mukaisista raaka-aineista mahdollistaen nykyisten tuotantolaitosten toiminnan jatkumisen. Biopolttoaineiden tuplalaskenta jatkuu vuoden 2020 tavoitteiden osalta, ja sitä sovelletaan liitteen IX raaka-aineille, mutta suunniteltua nelinkertaista laskentaa ei totutettu. Vaikka tämä 0,5 % tavoite ei ole sitova, jäsenmaan tulee antaa Komissiolle erillinen perustelumuuksio, mikäli se aikoo asettaa sitä pienemmän tavoitearvon., ja syyt tavoitteesta jälkeen jäämisestä tulee myös esittää Komissiolle. Liikenteessä käytetyn uusiutuvan sähkön kertoimia on muutettu (raideliikenne 1 → 2,5; tieliikenne 2,5 → 5).

²⁶ <http://register.consilium.europa.eu/doc/srv?l=EN&f=ST%2015189%202012%20INIT>

²⁷ http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/fuel/docs/swd_2012_343_en.pdf

²⁸ <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P7-TA-2013-0357+0+DOC+XML+V0//EN>

²⁹ http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_Data/docs/pressdata/en/trans/143191.pdf

<http://register.consilium.europa.eu/doc/srv?l=EN&f=ST%2010300%202014%20INIT>

Komission on määrä julkaista synteesiraportti tavoitteiden toteutumisesta vuoden 2017 loppuun mennessä, ja tarvittaessa tehdä esitys ILUC -päästöjen sisällyttämisestä kestävyyskriteereihin.

Parlamentin 2. lukeminen alkoi joulukuussa 2014, ja sitä koskevien esitysten³⁰ valmistelusta on vastannut suomalainen MEP Nils Thorvalds. Parlamentin esittämissä muutoksissa ensimmäisen sukupolven tuotteiden ylärajaksi esitettiin 6 % ja edistyksellisten biopolttoaineiden tavoitteeksi 1.25 %. Samaten liitteessä IV esitettiin nelinkertaista laskentaa: “Aa a) *Algae (autotrophic) if cultivated on land in ponds or photobioreactors*, (b) *Renewable liquid and gaseous fuels of non-biological origin*, (c) *Carbon capture and utilisation for transport purposes ja (d) Bacteria*.”

Euroopan parlamentti hyväksyi lopullisen muodon⁽²⁾ täysistunnossaan 28.4.2015. Positiivista Suomen kannalta on, että tekstiin otettiin mukaan kirjauksia vuoden 2020 jälkeisen biopolttoainepolitiikan tärkeydestä investointiympäristön parantamiseksi ja kehoitettiin komissiota tekemään esityksiä tällaisesta politiikasta. Jäsenmaiden ministerien on tarkoitus hyväksyä teksti vielä muodollisesti mahdollisesti jo kesäkuun energianeuvostossa⁽³⁾.

Biomassan kaskadikäytölle³¹ esitetään tavoitteita jätehierarkian mukaisesti ilman tarkempia raja-arvoja. Tässä työssä on oletettu, että kaskadikäytöstä ei tule Suomessa puunjalostusteollisuuden sivuvirtoja pois rajaavia vaatimuksia vuoden 2030 skenaariotarkasteluihin. Olisikin hyvä varmistaa, ettei ILUC -direktiiviehdotuksen jatkokäsittely johda jätehierarkia- ja kaskadiperiaatteen liian jäykkään tulkintaan.

4.4 Direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta

EU:n tiedonanto puhtaasta liikenteestä annettiin tammikuussa 2013. Siihen liittyvä direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta (2014/94/EU)⁽¹⁷⁾ hyväksyttiin lokakuussa 2014. Se asettaa jäsenmaille velvoitteen 2016 mennessä laatia kansallinen toimintakehys liikenteen alan vaihtoehtoisten polttoaineiden markkinoiden kehittämiseksi ja asiaan liittyvän infrastruktuurin käyttöönottamiseksi. Direktiivi kattaa kaikki liikennemuodot ja kaikki vaihtoehtoiset polttoaineet ja tavoitteissa tulee huolehtia kunkin liikennemuodon erityispiirteiden huomioon ottamisesta.

Toimintasuunnitelmassa tulee esittää **jakelun järjestämistä koskevat tavoitteet**, joiden tulee sisältää erityisesti:

- Vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin kehityksen arviointi ottaen mahdollisuuksien mukaan huomioon sen rajojen yli ulottuva jatkuvuus
- Kansalliset tavoitteet sähkön latauspisteille ja CNG:n jakeluasemien määrälle 2020 mennessä näitä vaihtoehtoja käyttävien autojen ennustetun määrän mukaisesti
- Euroopan laajuisen liikenneverkon (TEN-T) ydinverkon varrella riittävä määrä sähkön latauspisteitä ja CNG -jakeluasemia 2025 mennessä unioninlaajuisen liikennöinnin mahdollistamiseksi
- Merisatamien ydinverkossa on oltava vuoteen 2025 mennessä ja sisävesisatamien ydinverkossa vuoteen 2030 mennessä asianmukainen määrä nesteytetyn maakaasun tankkauspisteitä nesteytettyä maakaasua käyttäviä sisävesi- tai merialuksia varten, jotta ne voivat liikkua kaikkialla TEN-T -ydinverkolla. Jäsenvaltioiden on tehtävä

³⁰

<http://www.europarl.europa.eu/committees/en/envi/amendments.html?ufolderComCode=ENVI&ufolderLegId=8&ufolderId=00583&linkedDocument=true&urefProcYear=&urefProcNum=&urefProcCode=>

³¹ Kaskadiperiaatteen mukaan puuta käytetään seuraavassa tärkeysjärjestyksessä: puupohjaiset tuotteet, niiden käyttöiän pidentäminen, uudelleenkäyttö, kierrätys, bioenergia ja hävittäminen. COM (2013) 659 final, Bryssel 20.9.2013; KOMISSIION TIEDONANTO KOMISSIION TIEDONANTO EUROOPAN PARLAMENTILLE, NEUVOSTOLLE, EUROOPAN TALOUS- JA SOSIAALIKOMITEALLE JA ALUEIDEN KOMITEALLE. Uusi EU:n metsästrategia: metsien ja metsäalan puolesta. {SWD(2013) 342 final}, {SWD(2013) 343 final}

tarvittaessa yhteistyötä naapurijäsenvaltioiden kanssa verkon riittävän kattavuuden varmistamiseksi.

- Raskaita moottoriajoneuvoja varten on oltava viimeistään vuonna 2025 julkisia nesteytetyn maakaasun (LNG) tankkauspisteitä asianmukainen määrä TEN-T -ydinverkon varrella (kysynnän mukaan, elleivät kustannukset ole suhteettomat hyötyihin nähden, ympäristöhyödyt mukaan luettuina)
- Toimenpiteiden toteuttaminen tulee tapahtua markkinaehtoisesti

Osana sähkön jakeluverkon ja paineistetun maakaasun (CNG) verkon määrittelyä tulee nimetä ne kaupunkitaajamat, lähiöt ja muut tiheästi asutut alueet ja verkot, jotka markkinoiden tarpeiden mukaan varustetaan sähkön latauspisteillä. Lisäksi tulee ottaa huomioon liityntä-pysäköinnin erityistarpeet. Toimintakehyksessä on myös otettava huomioon toimenpiteet, joilla kannustetaan ja helpotetaan muiden kuin julkisten latauspisteiden käyttöönottoa.

Keväällä 2014 kutsuttiin Suomessa koolle Liikenteen ympäristöasiain neuvottelukunnan alla toimiva *ad hoc* -työryhmä valmistelemaan po. jakeluinfrastruktuurissa tarkoitettua kansallista toimenpidesuunnitelmaa vaihtoehtoisin käyttövoimiin liittyen. Se jatkoi aiemmin toimineen "Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä" -työryhmän työtä, jonka tuli toimeksiannon mukaisesti määrittellä nykyisten liikennevälineiden ja niiden ennustetun uusiutumismuutoksen pohjalta, millaiset käyttövoimat ovat eriliikennemuotojen osalta mahdollisia tulevaisuuden Suomessa, kuinka laajassa mittakaavassa ja millaisin aikatauluin, sekä suositella toimenpiteitä. Käyttövoimat -työryhmä luovutti loppuraporttinsa³² toukokuussa 2013, ja uusi *ad hoc* -työryhmä julkisti väliraportin³³ kesäkuussa 2014³⁴. Loppuraportin tästä työstä tulisi olla valmis vuoden 2015 loppuun mennessä.

Jakeluinfrastruktuuri asettaa latauspisteiden määrille eri jäsenmaissa ohjeellisen tavoitteen, jonka mukaan julkisia latauspisteitä on oltava yksi kappale/10 autoa. *Ad hoc*-työryhmä on arvioinut ladattavien sähköautojen määräksi Suomessa 20 000 - 40 000 kappaletta vuonna 2020. Suunnitelmien pohjaksi on asetettu noin 40 000 ladattavan sähköauton määrä. Autojen määrän ollessa 40 000 julkisen jakeluverkon tulisi olla noin 4000 latauspistettä, jotta direktiivin tavoite täyttyisi. Kansallisena tavoitteena olisi, että latauspisteistä 400 tarjoaisi pikalatausta. Pikalatauksen tarjoaminen turvaisi pidempimatkaista liikennettä sekä suurimpia taajamia.

Kaasuala puolestaan arvioi, että Suomessa olisi noin 50 – 70 paineistetun metaanin tankkauspaikkaa vuonna 2020.

Jakeluinfrastruktuurin kehitysnäkymien arvioinnissa on myös otettava huomioon, että direktiivin määritelmien mukaan kaikki biopolttoaineet katsotaan vaihtoehtoisiksi polttoaineiksi, ja perusteluosassa korostetaan biopolttoaineiden roolia ratkaisuna kaikille liikennemuodoille.

Tämän lisäksi on huomattavaa, että synteettiset ja parafiiniset polttoaineet on nostettu omaksi vaihtoehtoisten polttoaineiden kategoriaksi, esimerkkeinä vetykäsitellyt kasviöljyt (HVO) ja Fischer-Tropsch -diesel. On toki niin, että edellä mainitut polttoaineet sopivat "drop-in" luonteensa mukaisesti teknisesti samaan infrastruktuuriin kuin fossiilinen diesel. Mutta kaupallisessa mielessä on luultavaa, että todella korkean seospitoisuuden tai sataprosenttisen HVO:n tuominen markkinoille vaatii rinnakkaista tai kokonaan uutta tankki-infrastruktuuria, koska huoltoasemilla tullaan myymään rinnakkain myös alemman sekoitussuhteen laatuja. Tämäkin seikka tulisi huomioida kun vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönottosuunnitelmia laaditaan. Yleensäkin ottaen on teknologianeutraalisuuden periaate tärkeä pitää mielessä myös vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuuria pohdittaessa.

³² [http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=2497123&name=DLFE-19513.pdf&title=Julkaisuja 15-2013](http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=2497123&name=DLFE-19513.pdf&title=Julkaisuja+15-2013)

³³ <http://www.lvm.fi/tyoryhmat-ja-selvitysmieshankkeet/-/mahti/asianasiakirjat/66440>

³⁴ <http://www.lvm.fi/tiedote/4414676/vaihtoehtoisten-kayttovoimien-jakeluverkkoa-selvitetaan>

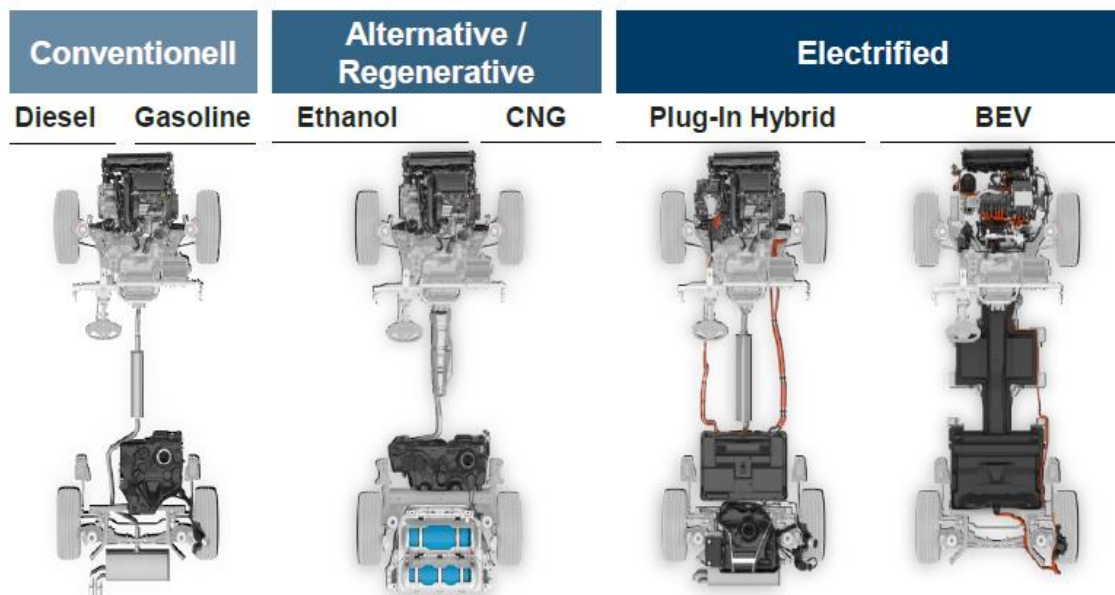
4.5 Ajoneuvojen tarjonta ja ajoneuvoja koskevat säännökset

Liitteessä 1 on laajemmin tarkasteltu vaihtoehtoisten ajoneuvojen tarjontaa. Henkilöautojen ja pakettiautojen osalta kaasuautojen tarjonta jatkuu vakaana, suurin ongelma on, ettei raskaaseen kalustoon ole tarjolla energiatehokkaita uusimmat päästövaatimukset täyttäviä moottoreita. Korkeaseosetanolia käyttävien Flex-fuel (FFV) -autojen osalta tarjonta on supistunut, ja tällä hetkellä Suomessa on tarjolla vain yksi uusimmat Euro 6-päästövaatimukset täyttävä henkilöautomalli.

Sähköautojen tarjonta on lisääntynyt selvästi vuodesta 2012. Varsinkin henkilöautojen osalta myös muita vaihtoehtoisia energialähteitä kuin sähköä käyttäviä autoja on tarjolla. Tietynlaisia ennätystä pitää hallussaan Volkswagen, jonka suositusta Golf-mallista löytyy peräti kuusi erilaista kaupallisesti tarjolla olevaa käyttövoimavaihtoehtoa tai kombinaatiota (kuvio 6). Nämä ovat:

- Bensiini
- Diesel
- Korkeaseosetanoli (flex-fuel)
- Maakaasu (bi-fuel)
- Lataushybridi (PHEV)
- Täyssähköauto (BEV)

Lisäksi Volkswagen panostaa polttokennoautoihin, mikä näkyy mm. siinä että Volkswagen teki helmikuussa 2015 merkittävän kaupan kanadalaisen Ballardin polttokennotekniikasta³⁵. Toyota puolestaan toi Mirai polttokennoautonsa pienimuotoiseen sarjatuotantoon vuonna 2015³⁶.



Kuvio 6. Volkswagen Golf -mallin eri käyttövoimavaihtoehdot. (Schmerbeck 2014)³⁷

Sähköistys soveltuu lähinnä taajama-ajoneuvoihin, busseihin ja mahdollisesti jakeluautoihin. Komissio näyttäisi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönottoa koskevan

³⁵ (Bloomberg 2015); Ballard Inks US\$80M+ Deal With Volkswagen; http://www.bloomberg.com/article/2015-02-11/arPA6ihMg_g4.html

³⁶ Hirose, K. (2014). Toyota's Effort Towards Sustainable Mobility. A3PS Conference "Eco Mobility 2014". Vienna, 20 – 21 October, 2014.

http://www.a3ps.at/site/sites/default/files/conferences/2014/papers/04_toyota_hirose.pdf

³⁷ Schmerbeck, S. (2014). Clean vehicle development at VW. A3PS Conference "Eco Mobility 2014". Vienna, 20 – 21 October, 2014. http://www.a3ps.at/site/sites/default/files/conferences/2014/papers/02_vw_schmerbeck_0.pdf

direktiivin perusteella uskovan vahvasti LNG:n käyttöön raskaiden kuorma-autojen polttoaineena. Joitain vuosia sitten ns. dual-fuel -kaasumootoreita pidettiin hyvin lupaavana vaihtoehtona. Pakokaasumääräyksien kiristyminen on kuitenkin johtanut siihen, ettei autonvalmistajilla tällä hetkellä ole tarjolla yhtään uusimmat pakokaasumääräykset (Euro VI) täyttävää dual-fuel -moottoria, vaan ainoastaan dieseliä selvästi huonomman hyötysuhteen tarjoavia kipinäsytytteisiä kaasumootoreita. Tilanne saattaa toki muuttua vuoteen 2020 ja varsinkin 2030 mennessä.

Raskaiden etanoliautojen tarjonta ei myöskään ole lisääntynyt, Scania tarjoaa edelleen vain yhtä 9-litraista etanolimoottoria. Volvo puolestaan ilmoitti tammikuussa 2015, ettei se tule jatkamaan DME -moottoreiden kehitystä Euroopan markkinoita varten³⁸. Siksi vartenotettavien vaihtoehto raskaaseen kalustoon tällä hetkellä on kestävästi tuotettu ns. drop-in biopolttoaine.

Raskaiden ajoneuvojen Euro VI -päästömääräykset tulivat täysmääräisesti voimaan alkuvuodesta 2014. VTT on mitannut sekä Euro VI-bussien että kuorma-autojen suorituskykyä. Mittausten perusteella voidaan todeta, että Euro VI-autot antavat merkittävästi matalamman päästötason kuin edeltävät Euro V/EEV -autot. Nyt voidaan myös todeta, ettei polttoaineella (diesel, parafiininen diesel, metaani, etanoli) ole enää merkitystä lähipäästöjen kannalta, koska Euro VI -autojen kehittyneet pakokaasupäästöjen vähennystekniikat alentavat säännellyt päästöt lähelle nollatasoa.

Mahdollisessa seuraavassa määräysvaiheessa (Euro VII) säänneltyjen päästöjen raja-arvoihin tuskin kajotaan, vaan huomio kiinnitetään hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseen³⁹. Niinpä Komissio on valmistellut VECTO laskentatyökalua raskaiden ajoneuvojen hiilidioksidipäästöjen määrittämiseen⁴⁰.

Polttoaineiden osalta Euro VI -määräyksiin sisältyy yksi merkittävä uusi vaatimus: Jos moottori on tarkoitettu toimivaksi myös muulla polttoaineella kuin mineraaliöljystä peräisin olevalla polttoaineella, moottori tulee myös tyyppihyväksyttävä tällä polttoaineella. Asetuksessa 595/2009/EY todetaan: *”Vaihtoehtoista polttoainetta käyttävällä ajoneuvolla tarkoitetaan ajoneuvoa, jonka on suunniteltu voivan toimia ainakin yhdellä sentyyppisellä polttoaineella, joka on joko kaasumainen ilmakehän lämpötilassa ja paineessa tai joka on merkittävässä määrin peräisin muusta kuin mineraaliöljystä.”*

Lisäksi todetaan, että Komissio hyväksyy täytäntöönpanotoimenpiteet eri yksityiskohtien osalta, ml.: *”Vertailupolttoaineet kuten bensiini, diesel, kaasumaiset polttoaineet ja biopolttoaineet, kuten bioetanoli, uusiutuva diesel ja biokaasu.”*

Vaatimus tarkoittaa käytännössä sitä, että jos moottorilla halutaan ajaa esim. 100 %:n biopolttoaineilla, perinteisellä biodieselillä (FAME) tai vetykäsitellyllä kasviöljyllä (HVO), moottori on myös sertifioitava näille polttoaineille. Koska sertifiointi on kallista, tämä saattaa hankaloittaa sellaisen polttoaineen käyttöä jonka koostumus ei ole polttoaineiden laadudirektiivin 2009/30/EY tai eurooppalaisen dieselpolttoainestandardin EN 590 mukainen. Autonvalmistajilla on kuitenkin tarjolla ensimmäiset 100 %:n HVO-polttoaineelle hyväksytyt moottorit, ja hieman yllättäen myös joitakin 100 %:n FAME-polttoaineelle (perinteinen biodiesel) hyväksytyjä moottoreita.

Vaihtoehtoisten ajoneuvojen tarjontaa ja kehitysnäkymiä käsitellään tarkemmin liitteessä 1.

4.6 Raakaöljyn hintakehitys

Raakaöljyn hinta laski tasaisesti kesästä 2014 aina tammikuuhun 2015 asti. Vuoden 2011 alusta kesään 2014 saakka Brent raaka-öljyn hinta oli 100 – 120 USD/barreli. Tammikuussa 2015 hinta oli alimmillaan noin 45 USD/barreli. Matala öljyn hinta vaikuttaa luonnollisestikin

³⁸ Lindgren, M. (2015). Kirjeenvaihto Magnus Lindgren, Trafikverket, 27.1.2015. Alkuperäinen lähde Fredrik Ohlsson, AB Volvo.

³⁹ Åsman, P (2014)

⁴⁰ Savvidis (2014), http://ec.europa.eu/clima/events/docs/0096/vecto_en.pdf

vaihtoehtojen kilpailukykyyn. USA:sta raportoidaan kotimaisen öljytuotannon hidastumisesta⁴¹. Myös biopolttoaineiden kilpailukyky kärsii ainakin hetkellisesti halvasta öljystä. Tilanne toki on hieman toisenlainen, koska biopolttoaineiden käytölle on vielä toistaiseksi voimassa velvoitteita, ja siinä hinnan ylärajana voidaan pitää laissa⁴² määritettyä seuraamusmaksua 0,04 €/MJ.

Ajatellen EU:n vuoden 2030 ilmasto- ja energiatavoitteita, biopolttoaineet eivät niinkään kilpaile raakaöljypohjaisten tuotteiden kanssa, vaan ensisijaisesti muita liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä alentavia vaihtoehtoja, toisin sanoen sähköä ja vetyä vastaan.

⁴¹ <http://www.reuters.com/article/2015/01/13/us-markets-oil-idUSKBN0KM0BT20150113>

⁴² Laki 446/2007

5. Nykytilanteen kuvaus ja kaluston kehitysnäkymiä

5.1 Nykytilanne (autokanta, suoritteet, polttoaineet)

Seuraavissa taulukoissa on esitetty yhteenveto erilaisten polttoaineiden ja ajoneuvojen myynnistä.

- Polttoaineen kulutuksen jakauma eri ajoneuvoluokille (Taulukko 7)
- Polttoaineiden myynti (Taulukko 8)
- Biopolttoaineiden osuus (Taulukko 9)
- Maa- ja biokaasun määrät (Taulukko10, Kuvio 7)
- Ajoneuvojen myynti 2006 - 2014, ml. vaihtoehtotekniikat (Taulukko 11)
- Autokanta vuoden käyttövoimittain 2014 lopussa (Taulukko12)

Taulukko 7: Suomen tieliikenteen käyttämien polttoaineiden määrät ja CO₂-päästöt (2012).
Lähde: *lipasto.vtt.fi*

	CO ₂ (tonnia)	Polttoneste (tonnia)	Energia [PJ/a]	Ajosuorite [Mkm/a]
Kadut	4 175 436	1 435 126	61	18 288
Maantiet	7 067 595	2 422 490	104	37 602
Yhteensä	11 243 032	3 857 615	165	55 890
Henkilöautot, bensiini, ei kat	310 322	108 672	4.7	2 152
Henkilöautot, bensiini, kat	3 591 446	1 257 691	54	27 754
Henkilöautot, diesel	2 840 667	963 378	41.2	16 061
Pakettiautot, bensiini, ei kat	19 202	6 724	0.29	86
Pakettiautot, bensiini, kat	6 972	2 442	0.10	35
Pakettiautot, diesel	1 115 074	378 164	16.2	4 363
Linja-autot	477 802	162 041	6.9	608
Kuorma-autot ilman perävaunua	1 028 707	348 874	14.9	1 331
Kuorma-autot, perävaunilliset	1 738 780	589 687	25.2	1 846
Moottoripyörät	93 892	32 880	1.41	1 187
Mopedit	20 167	7 062	0.30	466

CO₂ päästö on fossiilinen osa pakokaasupäästöistä. Bio-osuus on laskettu nollopäästöisenä.

Taulukko 8: Liikenteen käyttämien öljytuotteiden myynti Suomessa 2014

Tuote	m ³ (1000 litraa)	tonnia	muutos 2013 nähden
Moottoribensiini (yht.)	2011123	1508343	-2,0 %
95E10	1215870	911903	+2,4 %
98E5	795253	596440	-8,1 %
Korkeaseosetanoli (E85)	9299	7244	+7,7 %
Dieselöljy	2870909	2425918	-0,3 %

Lähde: Öljy- ja biopolttoaineala (http://www.oil.fi/sites/default/files/3.4_myynti.pdf)

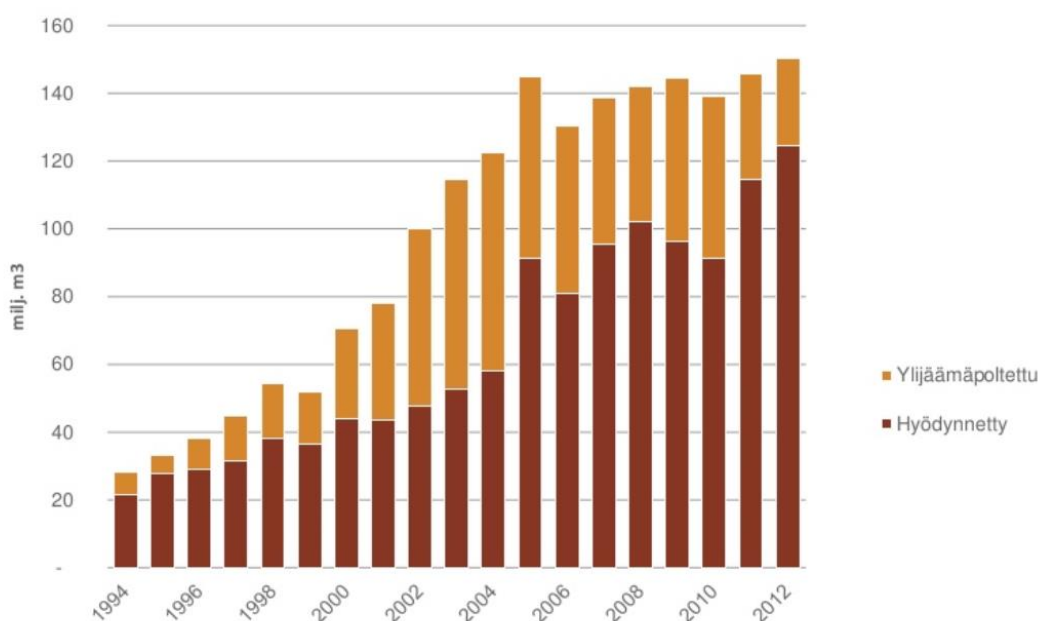
Taulukko 9: Biopolttoaineiden osuus vuonna 2014 ja jakeluvuoritelain vähimmäisvaatimus.

Polttoaine	Kokonaismäärä ktoe	Uusiutuvaa (R) ktoe	Tuplalaskettavaa (T) ktoe
Bensiini	1 512	69	27
Diesel	2 182	387	386
Yhteensä	3 694	456	412
Todellinen bio-osuus		12.3 %	
Laskennallinen bio-osuus		23.5 %	
Lain mukainen vähimmäismäärä		6.0 %	

Kuten taulukosta 9 nähdään, lain mukainen jakeluvuorite ylitetään huomattavasti. Tähän lienee eräänä syynä kumulatiivinen laskenta, jolloin jakeluun jo toimitetut erät voivat vähentää tulevaa tarvetta.

Taulukko 10: Maakaasun käyttö Suomessa 2013. Lähde: Suomen kaasuyhdistys ry.

Käyttökohde	lukumäärä	kaasun kulutus milj. m ³ /vuosi	keskimääräinen m ³ /vuosi
Kotitaloudet, kaasuliedet	25 400	1	30
Ajoneuvot	1 680	4	2 380
Pientalot	4 257	12	2 750
Rivi- ja kerrostalot	809	22	27 000
Liike- ja julkiset rakennukset	1 183	40	33 600
Kasvihuoneet	30	3	90 500
Pienteollisuus	620	100	162 000
Suurteollisuus	35	1 595	45 800 000
Kaukolämpökeskukset	80	300	3 800 000
Voimalaitokset	25	1 230	49 000 000
Yhteensä	34 100	3 307	



Kuvio 7: Biokaasun tuotanto ja käyttö Suomessa 1994 - 2012. Lähde: Suomen kaasuyhdistys ry.

Taulukko 11: Henkilöautojen ensirekisteröinnit käyttövoimittain 2006-2014 (tietojen lähde: TraFi)

Vuosi	Yhteensä	Bensiini	Diesel	Maakaasu	Bensiini/ CNG	Bensiini/ etanoli	Bensiini/ sähkö	Sähkö	Diesel/ sähkö	Muu tai tuntematon
2006	145 700	116 128	29 512							60
2007	125 608	89 790	35 782	14						22
2008	139 647	70 300	69 298	26						23
2009	90 574	48 531	41 968	22						53
2010	111 968	64 810	46 749	10	43	334				22
2011	126 123	72 126	53 142	6	29	790				
2012	111 251	66 753	43 035	18	45	1 281	63	51		5
2013	103 450	64 093	38 631	21	83	402	101	50	66	3
2014	106 236	64 171	41 396	37	86	344	12	183	7	
yhteensä	1 060 557	656 702	399 513	154	286	3 151	176	284	73	188
osuus	100 %	61.92 %	37.67 %	0.04 %		0.30 %	0.02 %	0.03 %	0.01 %	0.02 %

Taulukko 12: Liikennekäytössä olevat ajoneuvot vuoden 2014 lopussa (lähde: TraFi)

Liikennekäytössä olevat ajoneuvot käyttövoimittain 31.12.2014 ja vertailu edelliseen vuoteen vaihteeseen.

	Yhteensä		Muutos (%)	Bensiini		Muutos (%)	Diesel		Muutos (%)	Maakaasu		Muutos (%)
	2014	2013		2014	2013		2014	2013		2014	2013	
Yhteensä	4 999 748	4 951 354	1,0	2 517 629	2 538 920	-0,8	1 478 126	1 441 842	2,5	343	303	13,2
Autot yhteensä	3 011 154	2 989 688	0,7	1 954 643	1 966 927	-0,6	1 050 847	1 017 704	3,3	339	299	13,4
Henkilöautot	2 595 867	2 575 951	0,8	1 940 374	1 951 873	-0,6	650 414	619 554	5,0	219	172	27,3
Pakettiautot	304 255	301 012	1,1	12 443	13 244	-6,0	291 521	287 517	1,4	50	45	11,1
Kuorma-autot	95 176	96 733	-1,6	1 337	1 280	4,5	93 619	95 255	-1,7	17	18	-5,6
Linja-autot	12 446	12 183	2,2	28	28	0,0	12 344	12 071	2,3	53	64	-17,2
Erikoisautot	3 410	3 809	-10,5	461	502	-8,2	2 949	3 307	-10,8	0	0	-
Moottoripyörät	237 460	235 204	1,0	237 419	235 164	1,0	19	18	5,6	0	0	-
Kolmi- tai nelipyörä L5/L5e	849	803	5,7	842	799	5,4	0	0	-	0	0	-
Mopot	196 967	208 003	-5,3	196 096	207 096	-5,3	0	0	-	0	0	-
Kevyt nelipyörä (L6e)	10 163	10 033	1,3	1 800	2 079	-13,4	8 274	7 869	5,1	0	0	-
Nelipyörä (L7e)	11 967	12 770	-6,3	11 900	12 719	-6,4	11	11	0,0	0	0	-
Moottorikelkat	96 768	100 483	-3,7	96 756	100 474	-3,7	6	6	0,0	0	0	-
Traktorit	389 694	383 433	1,6	17 384	12 889	34,9	370 270	368 542	0,5	0	0	-
Moottorityökoneet	50 946	49 872	2,2	789	773	2,1	48 699	47 692	2,1	4	4	0,0

5.2 Vaihtoehtoista energiaa käyttävät autot Suomessa ja muissa Pohjoismaissa

Tällä hetkellä vaihtoehtoista polttoaineita käyttävien henkilöautojen lukumäärä Suomessa on noin 5000, joista noin 2000 on FFV autoja, noin 2000 on kaasuautoja ja alle 1000 sähköautoa, ml. ladattavat hybridit, eli niiden yhteinen osuus henkilöautokannasta on noin 0,2 %.

Ruotsissa oli vuoden 2014 lopulla noin 50 000 kaasuautoa ja noin 3000 sähköautoa, joista runsaat 2000 on henkilöautoja ja vajaa 1000 pakettiautoja. Runsastuminen alkoi vuonna 2011 pääasiassa yrityksille suunnattujen hankintatukien myötä⁴³. Ladattavia hybridejä (PHEV) sen sijaan oli henkilöautoista jo noin 5000. Ruotsin koko henkilöautokannan ollessa vähän yli 4,5 milj. autoa, oli sähköautojen osuus 0,05 % ja lataushybridien 0,11 %⁴⁴.

Vastaavasti Norjassa on jo noin 46 000 täyssähköautoa⁴⁵ voimakkaiden tukitoimien ansiosta. Norjan henkilöautokanta on vähän yli 2,5 milj.⁴⁶, joten sähköautojen osuus on 2 %, kun automäärä pian saavuttaa 50 000 auton tavoitteen, joka asetettiin tukiohjelmalla käynnistettäessä vuonna 2008⁴⁷.

5.3 Nykyinen verotus

Auton tekniikka määrittää pitkälti sen ns. perushinnan, johon sitten myyntihetkellä lisätään verot. Suomessa tämä merkitsee autoveroa ja arvonnlisäveroa. Autoveron vero-% määräytyy autolle tyyppihyväksymisessä mitatun hiilidioksidipäästön mukaisesti, ja on alimmillaan (5 %) autoissa, joissa CO₂-päästö on enintään 51 g/km. Tähän ryhmään kuuluvat kaikki täyssähköautot sekä useimmat nykyiset lataushybridit. Myös vuosittainen verotus on porrastettu CO₂-päästön ja käyttövoiman mukaan. Verojen määräytymisen perusteet ovat sellaisia, että mitään käyttövoimaa ei aseteta muita paremmaksi, vaan verotuksen tason määrää suorituskyky.

Verotuksen määrää eri käyttövoimille hahmottavat kuviot 8 ja 9, joissa on esitetty verokustannukset 10 vuoden ajalta eri käyttövoimien autoille, joiden verottomat perushinnat ovat tämän hetken mukaisia, sekä siinä tapauksessa, että kaikkien veroton hinta on sama (30 000 €).

Vaikka verotus ei siis pyri suosimaan mitään käyttövoimaa, nähdään, että verokertymä on pienin sähköautolle, jossa päästöt ovat pienet ja sähkön verotus kevyempää kuin muiden polttoaineiden.

5.4 Kokonaisajokustannusten vertailua

Verot ovat kuitenkin vain yksi osa autoilun kustannuksista. Ajokustannukset ovat eri käyttövoimia toisiinsa vertailtaessa hyvä tapa arvioida kuluttajan käyttäytymistä valintatilanteessa. Laskettaessa kokonaiskustannukset (hankintameno, pääomakulut, verot, polttoaineet, huollot) ja jakamalla se ajokilometrillä saadaan estimaatti eri vaihtoehtojen keskinäisestä kilpailukykyistä. Oheisessa kuviossa 10 on esitetty kilometrikustannus eri Volkswagen Golf -versioille. Oletuksena on 17 000 km vuotuinen ajomäärä, 10 vuoden pitoaika ja 5 % korkokanta. Polttoaineiden hinnat ja kaikki verot on otettu tämän päivän tilanteen mukaan.

Kuviosta käy ilmi, että bensiini, diesel, korkeaseosetanoli ja biokaasu antavat likimain saman kilometrikustannuksen, noin 0,3 €/km. Tässä tulee ottaa huomioon, ettei biokaasusta kanne-

⁴³ <http://www.elbilsupphandling.se>

⁴⁴ <http://www.scb.se/tk1001/>

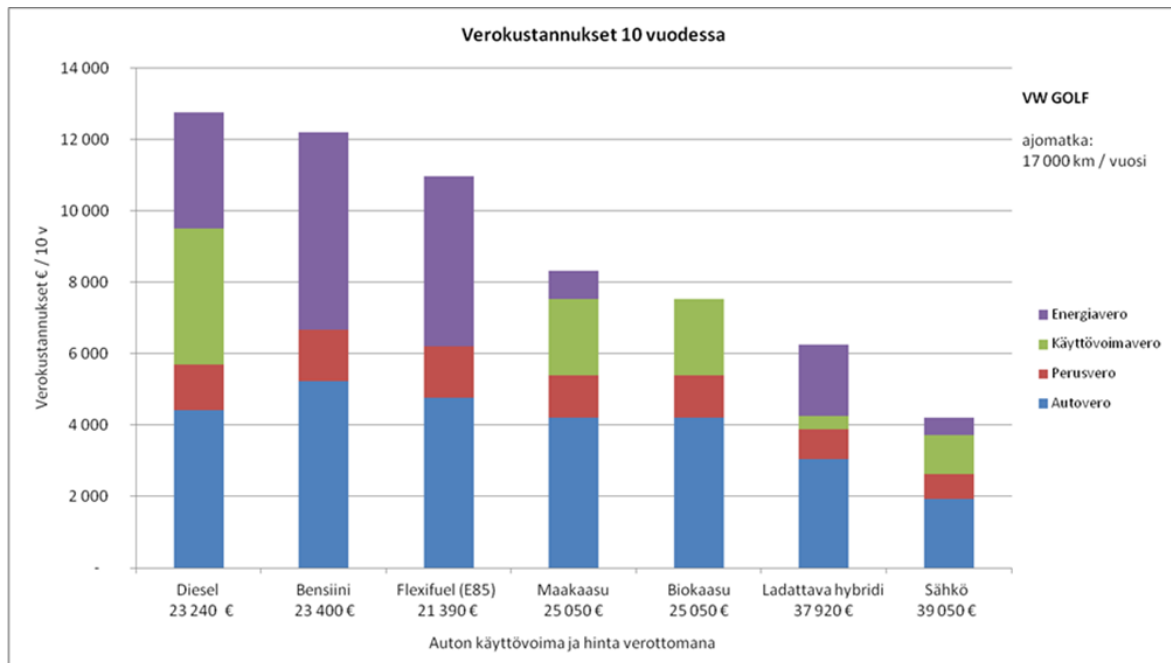
⁴⁵ <http://www.gronnbil.no/statistikk/>

⁴⁶ <https://www.ssb.no/bilreg>

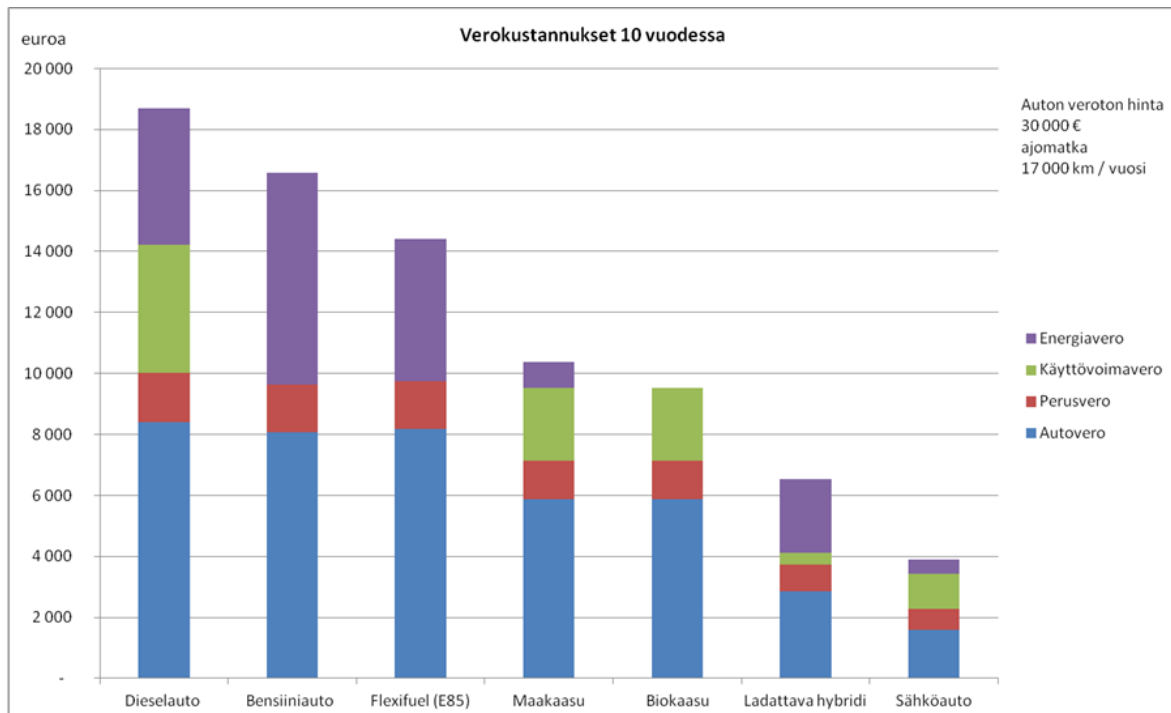
⁴⁷ Erik Figenbaum Marika Kolbenstvedt, Elektromobilitet i Norge – erfaringer og muligheter med elkjøretøy. TØI rapport 1276/2013. ISSN 0808-1190. ISBN 978-82-480-1452-2 Elektronisk versjon. Oppdatert versjon Oslo, oktober 2013.

ta tällä hetkellä lainkaan energiaveroa, ja että biokaasun verotus saattaa siltä osin muuttua lähitulevaisuudessa..

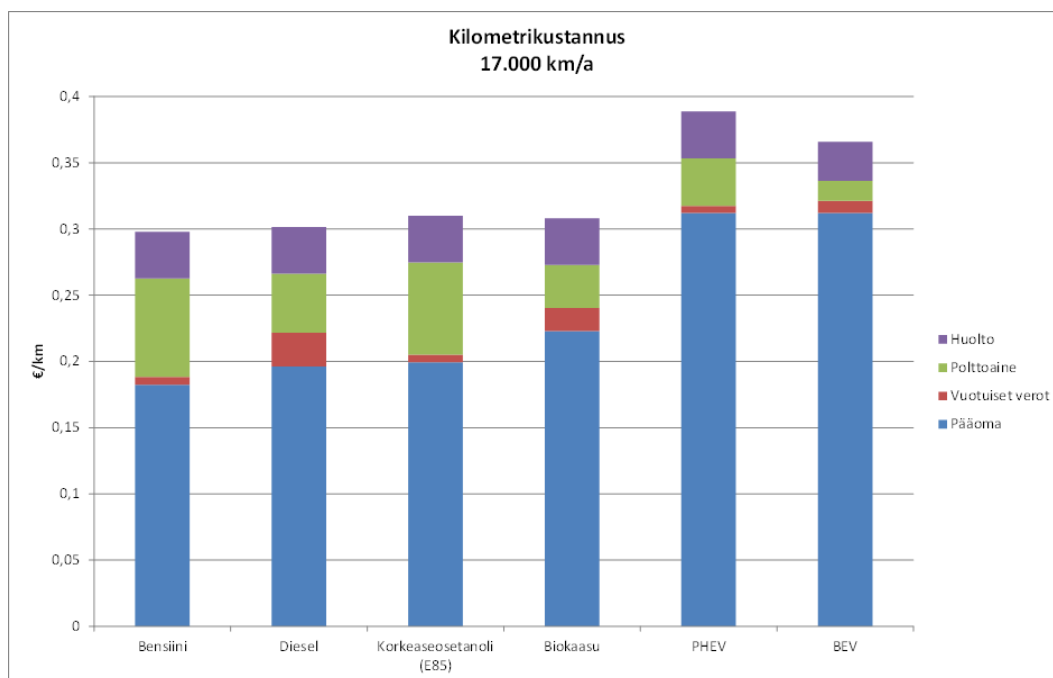
Kallein vaihtoehto on ladattava hybridi, kilometrikustannuksen ollessa 0,39 €/km. Tämä johtuu ainakin osittain siitä, että Volkswagen on halunnut tehdä ladattavasta hybridistä hyvin suorituskykyisen GT -sarjan auton, joten se ei ole aivan vertailukelpoinen muiden vaihtoehtojen kanssa.



Kuvio 8. Verokustannukset eri käyttövoiman autoille, verottomat perushinnat ovat tämän hetken mukaisia.



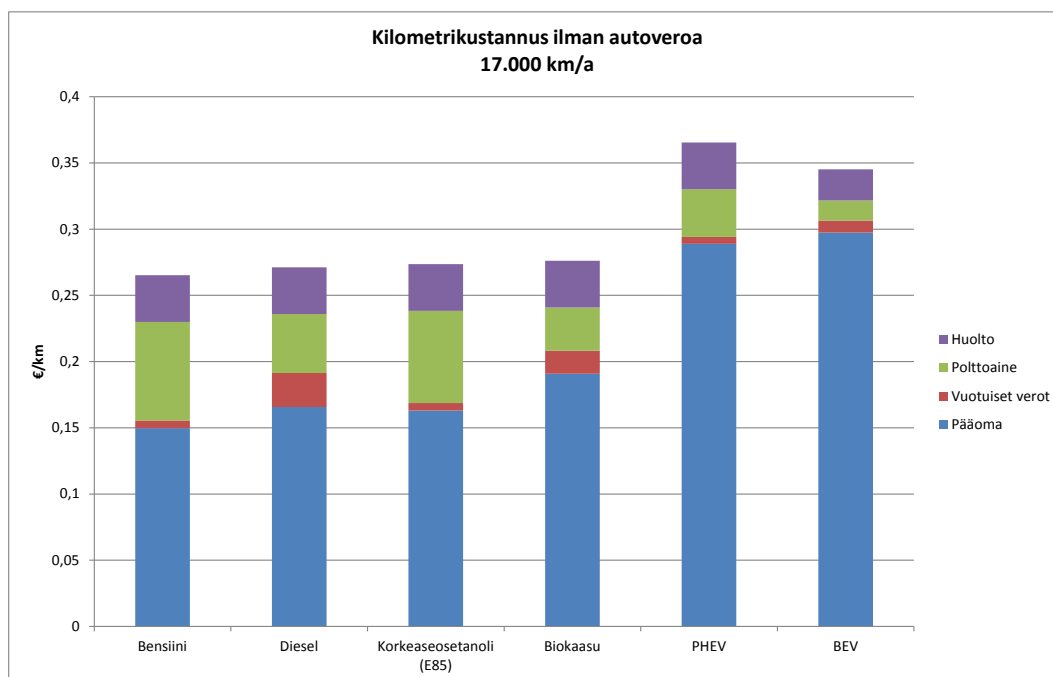
Kuvio 9. Verokustannukset eri käyttövoiman autoille, kun verottomat perushinnat samat.



Kuvio 10. Kilometrikustannus eri tekniikoilla. Esimerkkiautona Volkswagen Golf. Nykytilanteen polttoainehinnat ja verot.

Täyssähköauton kilometrikustannus on 0,36 €/km. Sähköautot ovat siis kuluttajan näkökulmasta perinteisiä autoja kalliimpia (20 – 30 % bensiiniautoon verrattuna), siitäkin huolimatta että verotus (energiaverot, vuotuiset verot ja autovero) suosii sähköautoja.

Kuviossa 11 on kilometrikustannus siinä tapauksessa, ettei auton oston yhteydessä kannettaisi lainkaan autoveroa. Tällöin tilanne muuttuu sähköautoille vieläkin epäedullisemmäksi, lisäkustannus bensiiniautoon verrattuna on 30 – 38 %.



Kuvio 11. Kilometrikustannus eri tekniikoilla. Esimerkkiautona Volkswagen Golf. Nykytilanteen polttoainehinnat, vuotuiset verot mutta ei autoveroa.

6. Arvioita biopolttoaineiden tuotantomahdollisuuksista

6.1 Yleistä

Suomessa liikenteen biopolttoaineita valmistavat nykyisin Neste sekä Porvoon että Naantalın jalostamoilla, UPM-Kymmene Lappeenrannassa sekä ST1 Biofuels useilla pienemmillä etanolitehtailla. Lisäksi biokaasun tuotantoa on useilla eri paikkakunnilla, jossa pääosa puhdistetusta ja konsentroidusta metaanista johdetaan maakaasuverkon kautta jakeluun, mutta kaasuverkon ulkopuolella on myös erillisiä biokaasun tuottajia ja jakelijoita.

Seuraavissa kappaleissa on tarkasteltu kotimaisten biopolttoaineiden tuotantomahdollisuuksia vuoteen 2030 mennessä. Pääpaino on suurimmat tuotantovolyymit mahdollistavissa puupohjaisissa drop-in tuotteissa. Yhdyskunta- ja maatalousjätepohjaiset raaka-aineet tarjoavat suuret biokaasun tuotantomahdollisuudet, useita mädätyslaitoksia on toiminnassa ja suunnitteilla. Laajamittaista käyttöä on rajoittanut nykyisen maakaasuputken alueella sijoittuvien investointikohteiden rajallisuus suurien kaasuautojen käyttömääriä ajatellen. Suurimittaisina metaanin tuotantomahdollisuuksina on tarkasteltu puusta termisellä kaasutuksella valmistettua synteettistä maakaasua (SNG) sekä uusiutuvan sähkön ja konsentroidun CO₂-kaasuvirran jalostamista metaaniksi ns. power-to-gas (P2G) menetelmällä.

Kun tarkastellaan suomalaisia mahdollisuuksia biopolttoaineiden valmistukseen Euroopan muihin maihin, voidaan todeta meillä olevan poikkeuksellisen edulliset mahdollisuudet kotimaiseen biopolttoainetuotantoon. Kestävät biomassavaramme metsäbiomassojen eri muodoissa, oljessa ja muissa maatalousjätteissä henkeä kohden ovat Euroopan suurimmat. Toisaalta vuoden 2030 ilmastotavoitteet huomioon ottavissa skenaarioissa tarvittavat biopolttoainemäärät ovat saatavissa ulkomailta tuontina, esim. sokeriruoko- tai olkipohjaisena etanolina ja palmuöljyn tuotannon sivutuotteista valmistettuna uusiutuvana dieselinä. Niiden hintatasot tullevat muuttumaan niin muutosvaiheessa olevan EU regulaation kuin muista EU maista ja mahdollisesti myös EU-ulkopuolisista maista tulevan kasvavan kysynnän vuoksi.

EU:n Komissio käynnisti edistyksellisten biopolttoaineiden tuotantolaitosten kaupallistamiseksi uuden NER300 riskirahoitusjärjestelyn tukemaan v. 2020 tavoitteita⁴⁸. Sen ensimmäiselle ja toiselle hakukierrokselle tuli yhteensä 14 investointihanketta, joille myönnettiin yhteensä 937 milj. euron tuki⁴⁹. Näistä ei kuitenkaan ole toteutumassa monikaan hanke, ja useimmissa epäselvä vuoden 2020 jälkeinen regulaatiopolitiikka on ollut eräs epävarmuuden aihe.

Suomessa TEM on myöntänyt investointiavustukset taulukossa 13 esitetyille biojalostamoille.

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

⁴⁸ http://ec.europa.eu/clima/policies/lowcarbon/ner300/index_en.htm

⁴⁹ http://ec.europa.eu/clima/news/docs/c_2012_9432_en.pdf

Taulukko 13. TEM myöntämät investointituet^{50,51,52,53} biojalostamoille ja puuenergialle, 12/2014.

			Investointi- tuki	Kokonais- investointi
Yritys Laitoksen sijaintipaikka	Tuote, raaka-aine	Volyyymi	Milj. €	Milj. €
Suomen Bioetanoli Oy Myllykoski	Etanolia oljesta	90 000 m ³ /a	30	150
Neste Oil, Naantali	Mäntypiki jalostamolle	40 000 t/a	3,3	27
St1 Biofuels, Kajaani	Etanolia puupurusta	10 000 m ³ /a	12	40
Fortum Power and Heat, Joensuu	Pyrolyysiöljyä puusta (tuotannossa)	50 000 t/a	8	27
Stora Enso, Sunila	Lignoboost mustalipeä (tuotannossa)	33 000 t/a	4	25
		172 000 MWh		

Suomessa kehitettiin 1980-luvulla saksalaisen ruskohiiliteknologian pohjalta ratkaisu synteetikaasun valmistamiseen turpeesta. Kehitystyön näkyvin tulos oli Ouluun rakennettu turveammoniakkitehdas joka oli kaupallisessa toiminnassa 90-luvun alkuun asti. 2000-luvulla ilmastonmuutoksen hillintätarpeet synnyttivät kysynnän uusiutuvista raaka-aineista, kuten metsätähteistä, tuotetulle synteetikaasulle. Synteettisten biopolttoaineiden tuottamiseen soveltuva tekniikka demonstroitiin Suomessa esikaupallisessa kokoluokassa NSE Biofuels -konsortion toimesta 2009-2011. Lisäksi suomalaiset toimijat ovat kehittäneet vastaavaa teknologiaa myös Yhdysvalloissa.⁵⁴ Synteettisten drop-in polttoaineiden kehitystä ohjaa tällä hetkellä myös soihutukaasujen ja Yhdysvalloissa etenkin liuskekaasun jalostaminen liikenne-polttoaineiksi. Näiden sovellusten suuruusluokka on perinteistä jalostamokokoluokkaa pienempi ja luo siten kilpailukykyä myös vastaavan kokoisten biomassapohjaisten laitosten kaupallistamiseen.

6.2 Biopolttoaineet, jotka edellyttävät muutoksia kalustoon ja jakeluun

6.2.1 Biokaasun tuotanto mädättämällä

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 ja tarve ravinteiden kierrätykseen. Yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesien puhdistuksessa se on perinteinen tapa biologisen kuormituksen vähentämiseksi. Biokaasua voidaan polttaa sellaisenaan lähellä syntypistettä tai lyhyellä putkikuljetuksella 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 (CNG tai LNG). Biokaasun tuo-

⁵⁰

https://www.tem.fi/ajankohtaista/tiedotteet/tiedotearkisto/vuosi_2014/st1_biofuels_oy_n_kajaanin_biojalostamoinvestointiin_energiatukea_12_milj._euroa.115732.news

⁵¹ https://www.tem.fi/ajankohtaista/tiedotteet/tiedotearkisto/vuosi_2014?117197_m=116974

⁵²

https://www.tem.fi/ajankohtaista/tiedotteet/tiedotearkisto/vuosi_2011/fortumille_energiatukea_pyrolyysioljyn_tuotantolaitokseen.104970.news

⁵³

https://www.tem.fi/ajankohtaista/tiedotteet/tiedotearkisto/vuosi_2011/energiatukea_uuden_teknologian_investointiin_stora_enson_sunilan_tehtaalle.104969.news

⁵⁴ I. Hannula, E. Kurkela, 2012, Liquid transportation fuels via large-scale fluidised-bed gasification of lignocellulosic biomass. VTT Technology 91.

tantoon sopivat raaka-ainemäärät ovat Suomessa merkittäviä, usein esitetty 15-23 TWh/a (1,3 – 2,0 ktoe) jätettä, karjan lantaa ja energiakasveja sekä puujätettä.

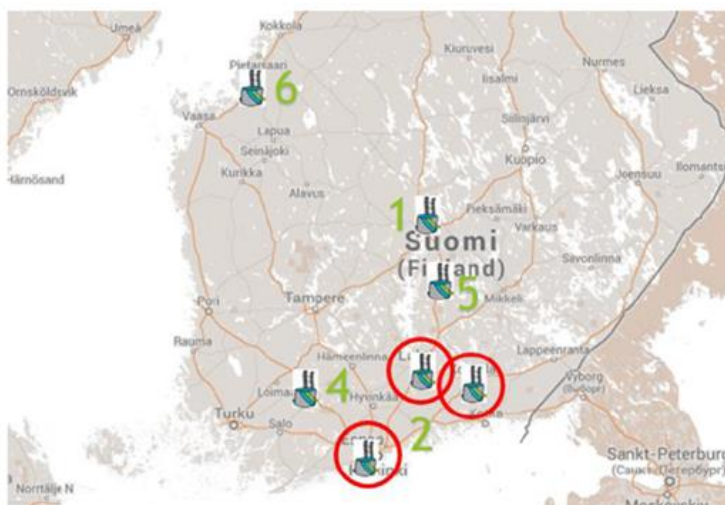
Suomessa toimi vuoden 2013 lopussa yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla 16 biokaasu-reaktorilaitosta. Teollisuuden jätevesiä käsiteltiin anaerobisesti kolmessa eri laitoksessa. Maatilakohtaisia biokaasulaitoksia oli toiminnassa 12 paikassa. Kiinteitä yhdyskuntajätteitä käsiteltiin 11 biokaasulaitoksessa. Vuonna 2013 reaktorilaitoksilla tuotettiin biokaasua kyse-lyissä saatujen tietojen mukaan 59,1 milj. m³. Ylijäämäpoltoon biokaasua kului 5,3 milj. m³.

Tuotettua biokaasua hyödynnettiin lämpö- ja sähköenergiana sekä mekaanisena energiana yhteensä 260,8 GWh. Vuonna 2013 biokaasua kerättiin talteen 40 kaatopaikkalaitokselta yhteensä 94,8 milj. m³. Pumpatusta biokaasusta 70,8 milj. m³ käytettiin sähkön ja lämmön tuotantoon. Energiaa kaatopaikoilta pumpatusta biokaasusta tuotettiin 294,9 GWh.

Vuonna 2013 biokaasua käytettiin liikennepolttoaineena 10,8 GWh, joka tarkoittaa noin 2 % osuutta biokaasun (mukaan lukien reaktori- ja kaatopaikkakaasu) käytöstä. Vuonna 2014 biokaasun osuus liikenteen käyttämästä kaasusta kasvoi tasolle 30 %⁵⁵. Tankkausasemia on tällä hetkellä 24 kpl.

Kuviossa 12 on esitetty niiden biokaasun ns. upgrade -laitosten sijainnit, jotka puhdistavat ja väkevöivät biokaasua liikennepolttoaineiksi.

Biogas upgrading in Finland



<http://www.biokaasuyhdistys.net/media/MikaLaine.pdf>

1: Metener

- ▶ 2 scrubbing units
- ▶ High pressure water scrubbing

2: Gasum

- ▶ 17 stations (gas grid)
- ▶ 3 scrubbing units
 - ▶ Espoo, Lahti, Kouvola
- ▶ Water scrubbing

4: Envor Biotech

- ▶ Membrane cleaning

5: Joutsan Ekokaasu

- ▶ High pressure water scrubbing

6: Jeppo Biogas (Open 9/2014)

- ▶ Water scrubbing

Kuvio 12. Biokaasun upgrade -laitosten operoijat ja sijainnit⁵⁶.

Kaasuyhdistys ja Gasum ovat esittäneet visioitaan miten biokaasujen liikennekäyttö voisi edetä Suomessa. Gasumilla on nyt tuotannossa tai suunnitteilla laitokset Kouvolassa, 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 Joutsenon sellutehtaalle,

⁵⁵ ENGVA-tiedote.

⁵⁶ (<http://www.biokaasuyhdistys.net/media/MikaLaine.pdf>)

jossa biokaasun tuotantomäärätavoitteena on 1600 GWh/a⁽¹⁴⁾. Suomen Kaasuyhdistys on julkaissut kaasuvision energia- ja ilmastotiekarttaan 2050⁵⁷.

Visiossa on vuodelle 2025 kuvattu olevan tuotannossa yli 100 biokaasureaktoria, 1-3 kpl SNG laitoksia, ja useat biokaasulaitokset on kytketty maakaasuverkkoon. Kaasun jakeluinfra olisi kasvanut ja käytössä olisi 70 paineistetun kaasun CNG/CBG sekä 10 nestemäisen kaasun LNG/LBG tankkausasemaa. Kuviossa 13 on esitetty Kaasuvision kuvaus vuodelle 2025.

Energia- ja ilmastotiekartta 2050

Visio kaasuinfrakstruktuurin 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 kaasuvärasvoja 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



Kuvio 13. Kaasuyhdistyksen Kaasuvision vuodelle 2025⁵⁸.

6.2.2 Bioetanoli jäte-, tähte- ja lignoselluloosapohjaisista raaka-aineista

Suomessa valmistetaan etanolia liikennekäyttöön jätteistä, tähteistä ja tulevaisuudessa myös sahanpurusta ja mahdollisesti myös maatalouden tähteistä kuten oljesta. Etanolia voidaan käyttää polttoaineena yli perinteisten sekoitusrajojen korkeaseosbiopolttoaineina. Näitä ovat etanolista valmistettavat korkeaseosetanolibensiini E85 ja etanolidiesel ED95.

E85-polttoaineen käyttö edellyttää omaa, muusta bensiinistä erillistä jakeluinfrastruktuuria sekä sen kanssa yhteensopivia autoja eli niin sanottuja FlexFuel -ajoneuvoja. FFV autot mahdollistavat vaihtuvat etanoli ja bensiini sekoitukset 0-85% välillä. Suomessa myytävä E85-polttoneste sisältää tyypillisesti 80–85 % bioetanolia. E85:n käytön lisääntymisen haasteena on ajoneuvojen vähyys markkinoilla.

ED95 polttoaineella, jossa on etanolia vettä ja syttyvyyttä parantava lisäaineistus, voidaan korvata dieseliä raskaissa ajoneuvoissa uusiutuvalla polttoaineella. ED95 polttoaineen käyttö

⁵⁷ (<http://www.kaasuyhdistys.fi/tiedotteet/kaasuvision-energia-ja-ilmastotiekarttaan-2050>)

⁵⁸ http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/esitykset/20131121_syyskokous/Kauppinen.pdf

vaatii kuitenkin oman erikoismoottorin, joka toimii dieselteknologian tavoin, mutta perinteistä dieselmoottoria korkeammalla puristusasteella. Polttoaineen käyttäminen vaatii oman tankkausinfrastruktuurin, joka voidaan päivittää joko olemassa oleville asemille tai perustaa kokonaan uusia jakeluasemia. ED95:n pääasiallinen käyttökohde tulee olemaan fleet-käyttö, eli kuljetustoiminta joka tapahtuu pääasiallisesti samalla alueella (esim. jakeluautot, jätteenkäräysautot, paikallisbussit). Tällöin tankkaustapahtuma voidaan suorittaa aina kunkin yhtiön omalla varikolla.

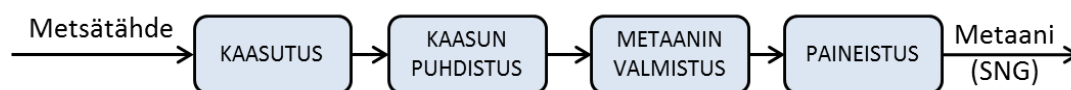
E85 ja ED95:n laajempi käyttöönotto vaatii uusia ajoneuvoja tai vanhojen bensiiniautojen muutosta korkeammille etanolipitoisuuksille. Sen lisäksi tankkausinfrastruktuuri vaatii päivittämistä. Teknologian käyttöönotto ei kuitenkaan vaadi taloudellisesti suuria investointeja.

6.2.3 Synteettinen biometaani (SNG) metsätähteistä

Kiinteistä biomassoista voidaan valmistaa metaania ja biopoltonesteitä.

Metaani on hajuton ja normaaliolosuhteissa ilmaa kevyempi kaasu jonka kemiallinen tunnus on CH₄. Se on kevyin hiilivety ja maakaasun pääkomponentti. Metaania voidaan valmistaa synteettisesti hiilen oksideista (CO tai CO₂) ja vedystä nikkelikatalyytin läsnä ollessa.

Tyypillinen nykyaikainen metanointilaitos koostuu yhdestä tai useammasta sarjaan asetetusta reaktorista joita operoidaan 300 – 700 °C asteen lämpötilassa ja 10 – 20 baarin paineessa. Synteesin avulla >99.5 % syöttökaasun hiilen oksideista ja vedystä pystytään konvertoimaan metaaniksi. Metanoinnissa vapautuva reaktiolämpö voidaan hyödyntää korkeapaineisen tulistetun höyryn tuotannossa.



Kuvio 14. Synteettisen biometaanin valmistukseen soveltuvan prosessin yksinkertaistettu kaaviokuva

Leijukerroskaasutukseen ja kaasun katalyyttiseen kuumapuhdistukseen perustuvalla prosessilla on mahdollista tuottaa 100 MW:sta metsätähdettä 67 MW synteettistä biometaania ja 10 MW kaukolämpöä, kokonaishyötysuhteen noustessa lähes 80 %:iin.⁵⁹

Tuotantokustannusarviot vaihtelevat riippuen mm. tuotannon kokoluokasta, investointikustannuksesta, sijoitetun pääoman tuottovaatimuksesta sekä raaka-aineen hinnasta. VTT:n arvio kaupallisen kypsyyden saavuttaneen, 200 MW metaania (~140 000 toe) tuottavan laitoksen tuotantokustannuksesta on 64 €/MWh joka on bensiiniin verrattaviksi litrahinnoiksi muunnettuna 0,57 €/L_{b-ekv}.

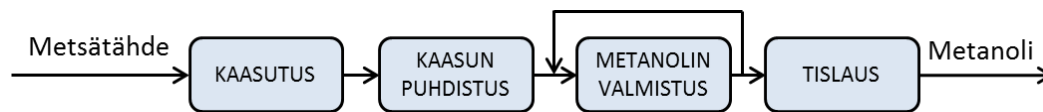
6.2.4 Synteettinen biometanoli metsätähteistä

Metanoli on normaaliolosuhteissa värittön neste ja yksinkertaisin alkoholi, jonka kemiallinen tunnus on CH₃OH. Se palaa puhtaasti värittömällä liekillä ja on tärkeä teollisuuskemikaali josta tuotetaan mm. formaldehydiä. Metanolia voidaan käyttää bensiinin seoskomponenttina 3 til-%:iin asti, sekä siitä voidaan valmistaa MTBE-lisäainetta bensiinin komponentiksi. Metanolista olisi mahdollista valmistaa myös E85 etanolia vastaavaa korkea-alkoholiseospolttoainetta, edellyttäen että biometanolia pystyttäisiin tuottamaan alemmin kustannuksin tai suurempia määriä kuin bioetanolia. Metanolia voidaan valmistaa hiilen oksideista (CO tai CO₂) ja vedystä alumiinioksidilla stabiloidun kupari- tai sinkkioksidikatalyytin läsnä ollessa.⁶⁰

⁵⁹ 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>.

⁶⁰ Appl M. In: More Alexander, editor. Ammonia, methanol, hydrogen, carbon monoxide - Modern production

Nykyaikaiset katalyytit mahdollistavat metanolin tuotannon yli 99,9 % selektiivisyydellä sivutuotteiden ollessa pääasiassa korkeampia alkoholeja.⁶¹



Kuvio 15. Synteettisen biometanolin tuotantoon soveltuvan prosessin yksinkertaistettu kaaviokuva

Biometanolin tuottamiseen soveltuvassa kokoluokassa metanolikonversio tapahtuu putkimaisessa katalyyttisessä kiehutusvesireaktorissa jota operoidaan 80 - 100 bar paineessa ja 280 °C asteen lämpötilassa. Metanoliksi muuntumaton osa kaasusta erotetaan reaktorin tuotevirrasta ja kierrätetään takaisin reaktorin sisäänmenoon kunnes synteetikaasu on saatu muuntumaan metanoliksi lähes kokonaan. Metanolireaktioissa vapautuva reaktiolämpö voidaan hyödyntää matalapaineisen kylläisen höyryn tuotannossa.

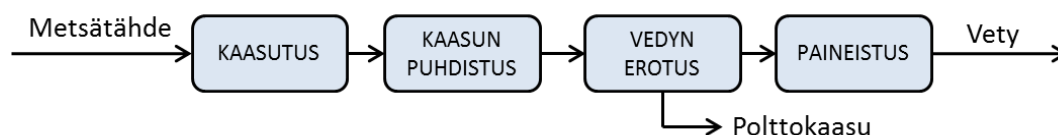
Kiinteän biomassan leijukerroskaasutukseen ja kaasun katalyyttiseen kuumapuhdistukseen perustuvalla prosessilla on mahdollista tuottaa 100 MW:sta metsätähdettä 60 MW synteettistä biometanolia ja 20 MW kaukolämpöä.

VTT:n arvio kaupallisen kypsyyden saavuttaneen, 200 MW biometanolia (~140 000 toe/a) tuottavan laitoksen tuotantokustannuksesta on 74 €/MWh joka on bensiiniin verrattaviksi litrahinnoiksi muunnettuna 0,66 €/L_{b-ekv}.

Metanolia käytettäessä bensiinimoottoriautosta tarvitaan FFV-versio (Flexible Fuel Vehicle), joka on sovitettu metanolille (ml. polttoainejärjestelmän materiaalit) tai etanolin ja metanolin seokselle. Lisäksi eurooppalaisten polttoainenormien tulisi sisältää myös etanoli-metanoli seokset. Periaatteessa korkeaseosteista (M85) polttoainetta voidaan jaella ja myös vähitelmäsmäydä korkeaseosetanolin (E85) tapaan. Säiliöiden ym. muuntamisesta metanolille aiheutuu kuitenkin lisäkustannuksia. Ruotsissa ja Tanskassa on metanolia koekäytössä myös laivoissa rikkipesurien asemasta nykykaluston rikki- ja hiukkaspäästöjen alentamiseksi. Ruotsissa on kehitystyö meneillään myös mustalipeän käyttämiseksi synteetikaasun raaka-aineena. Metanolin käyttömahdollisuuksia on kuvattu tarkemmin raportin liitteessä.

6.2.5 Biovety puun synteetikaasusta

Vedyn suurimmat käyttökohteet ovat öljynjalostus (vetykrakkaus) ja ammoniakkin tuotanto. Teollisessa mittakaavassa vety tuotetaan yleensä maakaasusta lähellä käyttökohdetta, mutta vetyä voidaan tuottaa teollisesti myös vedestä elektrolyysin avulla ja biomassasta kaasutuksen avulla. Biovetyä voidaan käyttää jalostamoissa fossiilisen vedyn korvaamiseen, biopolttonesteiden jalostamiseen, polttokennoautojen käyttövoimana tai syöttää matalina pitoisuuksina maakaasuputkeen.



Kuvio 16. Biovedyn tuotantoon soveltuvan prosessin yksinkertaistettu kaaviokuva

Biovetyä valmistetaan synteetikaasusta katalysoimalla vesikaasureaktiota 300 – 400 °C asteen lämpötilassa. Tämän jälkeen kaasuseos jäähdyytetään, kuivataan ja paineistetaan

technologies, Nitrogen. 31 Mount Pleasant, London, WC1X0AD England: CRU Publishing Ltd; 1997, ISBN 1 873387 261.

⁶¹ Hansen JB, Højlund Nielsen PE. Methanol synthesis. Handbook of heterogeneous catalysis. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2008. <http://dx.doi.org/10.1002/9783527610044.hetcat0148>.

15 baarin paineeseen. Paineistettu kaasu johdetaan adsorptioprosessiin jossa muut synteetikaasun komponentit (mukaan lukien rikki) suodatetaan erilleen vedystä ja ohjataan polttoon. Noin 85 % kaasuseoksen vedystä saadaan siirtymään tuotevetyvirtaan joka on erittäin puhdasta (99.9999+ til-%).

Leijukerroskaasutukseen ja kaasun katalyyttiseen kuumapuhdistukseen perustuvalla prosessilla on mahdollista tuottaa 100 MW:sta metsätähdettä 54 MW biovetyä, 9 MW sähköä ja 6 MW kaukolämpöä.

VTT:n arvio kaupallisen kypsyyden saavuttaneen, 200 MW biovetyä (~140 000 toe/a) tuottavan laitoksen tuotantokustannuksesta on 58 €/MWh joka on bensiiniin verrattaviksi litrahinnoiksi muunnettuna 0,52 €/L_{b-ekv}.

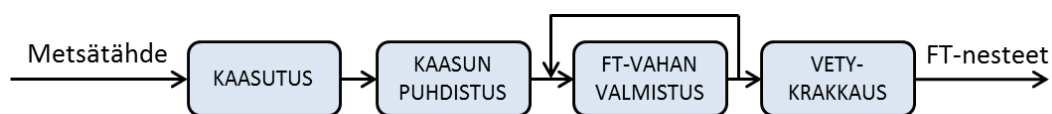
Vedyn käyttö edellyttää polttokennosähköautoja tai vedylle sovitetulla polttomoottorilla varustettuja autoja. Kustannuksia syntyy myös jakeluverkon ja tankkausasemien rakentamisesta.

6.3 Tuotteet, jotka eivät edellytä muutoksia kalustoon ja jakeluun

6.3.1 Synteettinen biodiesel metsätähteistä

Synteettistä dieseliä voidaan valmistaa häästä ja vedystä katalyytin läsnä ollessa ns. Fischer-Tropsch-prosessin (FT) avulla. Nykyaikaiset prosessit perustuvat joko koboltti- tai rautakatalyytteihin. Prosessiolosuhteet valitaan siten, että ne suosivat molekyyli­massaltaan raskaiden tuotteiden muodostumista. Tämä prosessissa syntyvä vahamainen tuote jatkojalostetaan (vetykrakkaus) myyntikelpoisiksi hiilivetynesteiksi, kuten korkean setaaniarvon dieseliksi tai lentopolttoaineeksi. FT-synteisiä voidaan käyttää myös bensiinin tuottamiseen, mutta sovelluksen monimutkaisuus tekee siitä vähemmän houkuttelevan kuin dieselin tuottamisen jossa suoraketjuisuus ja aromaattien alhainen määrä ovat jalostuksen kannalta toivottavia ominaisuuksia.

FT-reaktoria operoidaan 25 baarin paineessa ja 230 °C asteen lämpötilassa. C₅ ja sitä raskaammat hiilivedyt lauhdutetaan pois tuotevirrasta, kun taas kevyemmät hiilivedyt sekä jäljelle jäänyt synteetikaasu kierrätetään takaisin reaktorin sisäänmenoon kunnes synteetikaasu on saatu muunnettua FT-tuotteiksi lähes kokonaan. C₅ ja raskaammat hiilivedyt vetykrakataan ja sivutuotteena syntynyt vesi erotetaan. Vetykrakkauksen toimintaolosuhteista riippuen naftan, kerosiinin ja kaasuöljyn väliset saannot voivat vaihdella välillä 15-25-60 (kaasuöljymoodi) ja 25-50-25 (kerosiinimoodi).



Kuvio 17. Fischer-Tropsch nesteiden tuotantoon soveltuvan tuotantoprosessin yksinkertainen kaaviokuva

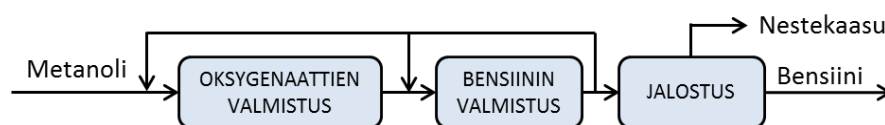
Leijukerroskaasutukseen ja kaasun katalyyttiseen kuumapuhdistukseen perustuvalla prosessilla on mahdollista tuottaa 100 MW:sta metsätähdettä 52 MW synteettistä dieseliä ja 27 MW kaukolämpöä.³⁹

FT-dieselin tuotantokustannuksen oletetaan olevan samaa luokkaa MTG-bensiinin kanssa, joka on esitetty seuraavassa kappaleessa.

6.3.2 Synteettinen biobensiini metsätähteistä

Synteettistä bensiiniä voidaan tuottaa kaksivaiheisella prosessilla valmistamalla ensin 1) oksygenaatteja synteetikaasusta ja 2) muuntamalla oksygenaattit bensiinin lämpötila-alueella

kiehuviksi hiilivedyksi.⁶² Tuotanto voidaan osittaa erillisiin laitoksiin käyttämällä metanolia välituotteena (oksygenaattina), tai integroida yhdeksi laitokseksi tuottamalla synteetikaasusta metanoli/dimetyylieetteri-seos joka jatkojalostetaan bensiinikonverterissa.⁶³ Kaupallisesti saatavilla oleva teknologia (MTG) perustuu kaksivaiheeseen tuotantoon jossa metanoli tuotetaan ensin ja sen jälkeen jatkojalostetaan bensiiniksi. Metanoli muunnetaan ensin tasapainoseokseksi, jossa on metanolia, dimetyylieetteriä ja vettä 23 baariin paineessa ja 300 – 400 °C asteen lämpötila-alueella. Reaktorista poistuva kuuma tuotekaasu jäädytetään, sekoitetaan kierrätysvirran kanssa ja syötetään seuraavaan reaktoriin jossa se muunnetaan bensiiniksi. Raaka bensiinituote lauhdutetaan ja fraktioidaan tislauksen avulla. Raakabensiinin korkea dureenipitoisuus alennetaan vetykäsittelyn avulla 2 p-% tasolle. Bensiinireaktorissa syntyvä, nestekaasua muistuttava, sivutuote voidaan myydä tai polttaa energiaksi. Bio-bensiiniä voidaan käyttää 1 – 100 % seossuhteilla ilman muutoksia nykyiseen bensiinikalustoon.



Kuvio 18. Synteettisen bensiinin tuotantoon metanolista soveltuvan tuotantoprosessin yksinkertaistettu kaaviokuva

Leijukerroskaasutukseen ja kaasun katalyyttiseen kuumapuhdistukseen perustuvalla prosessilla on mahdollista tuottaa 100 MW:sta metsätähdettä 52 MW synteettistä bensiiniä, 6 MW nestekaasua muistuttavaa sivutuotetta ja 12 MW kaukolämpöä.⁵⁹

VTT:n arvio kaupallisen kypsyyden saavuttaneen, 200 MW FT-dieseliä tai MTG-bensiiniä (~140 000 toe/a) tuottavan laitoksen tuotantokustannuksesta on 81 €/MWh joka on bensiiniin verrattaviksi litrahinnoiksi muunnettuna 0,73 €/L_{b-ekv}.

6.3.3 Sähköenergialla valmistettavat liikennepolttoaineet

Liikennepolttoaineita on mahdollista valmistaa myös hiilidioksidista ja sähköstä (power-to-fuels). Tämä prosessi alkaa veden hajottamisella vedyksi ja hapeksi elektrolyysin avulla. Tuotettu vety muunnetaan sen jälkeen hiilidioksidin kanssa, katalyytin läsnä ollessa, hiilivedyksi tai alkoholiksi. 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 ilmestymässä markkinoille erityisesti Saksassa. Ensimmäinen suuremman kokoluokan esimerkki näistä on Audin tuotantolaitos Saksan Werltessä⁶⁴. Tämä ”E-gas” -nimellä kulkeva prosessi hyödyntää hiilidioksidia läheisen biokaasulaitoksen puhdistetusta tuotevirrasta ja yhdistää sen elektrolyysissä tuotetun vedyn kanssa metaaniksi nikkelikatalyytin läsnä ollessa. Audin sähkömetaanilaitoksen koko on 6 MW_e jolla on mahdollista tuottaa polttoainetta noin 2000 kaasautolle vuotuisesta käyttöajasta riippuen. Kuvio 19 havainnollistaa tämän tyypistä konseptia.

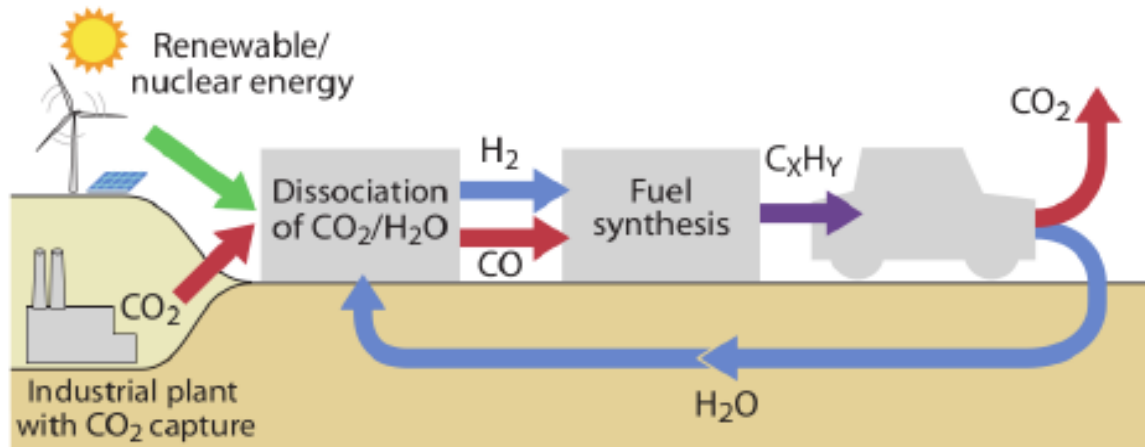
Hiilidioksidia on saatavilla lähes rajoittamattomasti ilmakehästä josta se voidaan ottaa talteen teollisella prosessilla tai epäsuorasti kasveihin sitoutunutta hiiltä hyödyntämällä. CO₂:n suora talteenotto ilmasta on kemiallisessa mielessä yksinkertainen prosessi, mutta johtuen ilmakehän hyvin alhaisesta hiilidioksidipitoisuudesta (0,04 %), käytännöllisen, kaupallisesti merkittäviä määriä talteen ottavan menetelmän kehittäminen on osoittautunut haasteelliseksi.⁶⁵

⁶² Yurchak S. Development of Mobil's fixed-bed methanol-to-gasoline (MTG) process. *Stud Surf Sci Catal* 1988;36:251e72.

⁶³ P. Nielsen, F. Joensen, J. Hansen, E. Sørensen, J. Madsen, R. Mabrouk, Process for the preparation of hydrocarbons from oxygenates, Patent US 8067474 B2, Haldor Topsøe A/S (2011).

⁶⁴ Audi unveils e-gas project, Green car congress. May 13, 2011. bit.ly/1qHXLke.

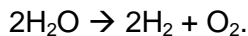
⁶⁵ F. Martin, W. Kubic, Green freedom - A concept for producing carbon-neutral synthetic fuels and chemicals, Overview, Los Alamos National Laboratory (2007).



Kuvio 19. Hiilivetyjen tuottaminen sähköstä ja hiilidioksidista (Graves et al. 2011⁶⁶).

Hiilidioksidia voidaan ottaa talteen myös teollisten prosessien savukaasuista. Nykyisin hiilidioksidia erotetaan rutiininomaisesti monissa suurissa teollisissa prosesseissa sekä useissa pienissä voimalaitoksissa. Talteenoton kustannusten arvioidaan olevan noin 40 €/tCO₂ luokkaa uusille ylikriittisille kivihiilikattiloille ja 50 €/tCO₂ moderneille maakaasukombivoimalaitoksille.^{67,68} Uusilla menetelmillä uskotaan olevan mahdollista alentaa talteenoton nykyisiä kustannuksia ja energiankulutusta huomattavasti.⁶⁹

Vetyä voidaan tuottaa johtamalla sähkövirta kahden veteen upotetun elektrodin läpi. Prosessissa vesimolekyylit (H₂O) halkaistaan vedyksi (H₂) ja hapeksi (O₂) oheisen reaktioyhtälön mukaisesti:



Vedyn tuottaminen elektrolyysillä on nykyisin rajoittunut pääasiassa pieniin erikoissovelluksiin ja suuria määriä vetyä tuotetaan lähinnä maakaasua ja muita fossiilisia polttoaineita höyryreformoimalla. Vakiintunein ja kaupallisesti saatavilla oleva teknologia perustuu alkalielektrolyysereihin, PEM:n ja kiinteäoksidi-elektrolyysereiden (SOEC) edustaessa kehittyneempää ja nousevaa teknologiaa. Kaupallisen alkalielektrolyysijärjestelmän energiahyötysuhde sähköstä vedyksi on 62 % (LHV) luokkaa ja investointikustannus noin 1000 €/kW.

Veden elektrolyysiin ja konsentroidun hiilidioksidin käyttöön perustuvalla prosessilla voidaan tuottaa 100 MW synteettistä polttoainetta seuraavista raaka-ainevirroista:

sähkömetaani: 121 MW vetyä (195 MW sähköä) ja 5,4 kg/s hiilidioksidia,
sähkömetanoli: 120 MW vetyä (194 MW sähköä) ja 7,25 kg/s hiilidioksidia,
sähköbenssiini: 139 MW vetyä (224 MW sähköä) ja 8,4 kg/s hiilidioksidia.

VTT:n arvio kaupallisen kypsyyden saavuttaneen, 200 MW (~140 000 toe/a) synteettistä polttoainetta tuottavan, sähköä ja hiilidioksidia raaka-aineena hyödyntävän laitoksen tuotantokustannuksesta on:

metaani: 133 €/MWh, eli 1,19 €/L_{b-ekv},
metanoli: 144 €/MWh eli 1,29 €/L_{b-ekv},

⁶⁶ Graves, Christopher; Ebbesen, Sune D.; Mogensen, Mogens; Lackner, Klaus S. (2011). "Sustainable hydrocarbon fuels by recycling CO₂ and H₂O with renewable or nuclear energy". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (1): 1–23. doi:10.1016/j.rser.2010.07.014.

⁶⁷ Amiinipesuun perustuva erotusmenetelmä typpipitoisista savukaasuista pl. kuljetuksen ja varastoinnin kustannukset.

⁶⁸ E. S. Rubin, C. Chen, A. B. Rao, Cost and performance of fossil fuel power plants with CO₂ capture and storage, *Energy Policy* 35 (9) (2007) 4444 – 4454. doi:10.1016/j.enpol. 2007.03.009.

⁶⁹ Metz B, Davidson O, de Coninck H, Loos M, Meyer L, editors. IPCC special report on carbon dioxide capture and storage. Prepared by working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press; 2005.

diesel tai bensiini: 173 €/MWh eli 1,55 €/L_{b-ekv},
 vety⁷⁰: 96 €/MWh eli 0,86 €/L_{b-ekv}.

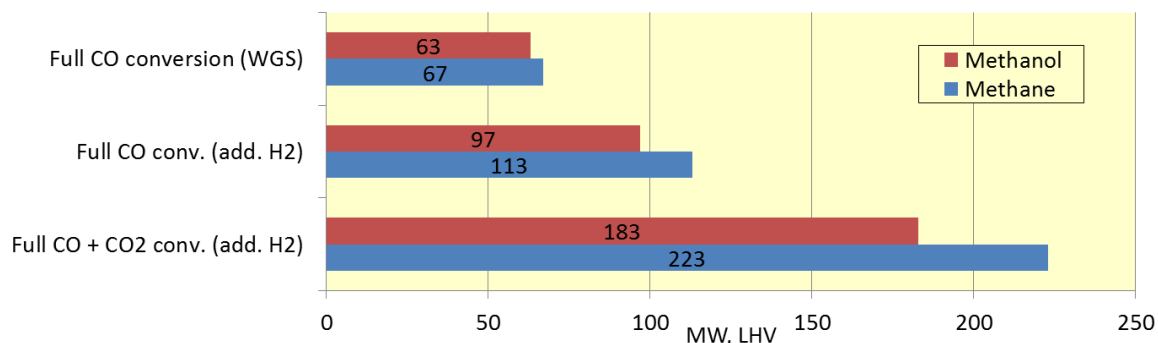
Laskelmassa sähköenergian hintana on käytetty 50 €/MWh ja tuotantolaitoksille korkea, 8000 tunnin vuotuista käyttöaika.

Sähkölaitteiden tuotantokustannukset ovat herkkiä sähkön hinnalle ja vuotuiselle laitoksen käyttöajalle. Suuren tuotantomäärän taloudellinen kannattavuus edellyttää pitkää alhaisinta tai jopa negatiivista sähkön tukkuhintaa. Kyseisten markkinahintojen toteutuminen ennen vuotta 2030 ilman merkittävää tuulen ja aurinkosähkön syöttötariffia on epätodennäköistä Suomessa (l. merkittävää vaihtelevan uusiutuvan tuotannon kasvua), Saksassa on voimakas keskustelu aiheesta meneillään. Sähköenergialla tuotetulla vedyllä voitaisiin myös korvata jalostamoissa liikennepolttonesteiden tuotantoon käytettävää fossiilista vetyä, joka saattaa avata houkuttelevan reitin teknologian kaupallistamiseen.

6.4.2. Sähköenergialla täydennetyt biopolttoaineet

Biopolttoaineiden ja sähkölaitteiden valmistusperiaatteet on mahdollista yhdistää samaan prosessiin, jossa hiilen lähteenä toimii biomassa ja vedyn pääasiallisena lähteenä vesi, josta se erotetaan sähköenergialla. Kyseinen hybridiprosessi tarjoaa muutamia etuja erillisiin prosesseihin nähden. Niitä ovat: 1) synteettiin syötettävänä hiilen oksidina voidaan käyttää hiilidioksidia helpommin aktivoitavaa häkää joka kuluttaa vähemmän vetyä ja mahdollistaa laajemman tuotekirjon; 2) prosessiin ulkopuolelta tuotavan vedyn määrää voidaan hetkellisesti kasvattaa kun sähköverkossa on ylimäärin uusiutuvaa, ajasta riippuvaa, halpaa tuotantoa, jolloin ylijäämä sähkö varastoituu kemiallisesti polttoaineeseen; 3) Erillään valmistetulla vedyllä voidaan hyödyntää suurempi osa biomassan hiilestä, koska biomassassa luonnollisesti esiintyvän vedyn määrä ei rajoita polttoaineen tuotantoa. Tämä merkitsee huomattavaa lisäystä biojalostamon tuotantopotentiaaliin (ks. kuvio 20).

Fuel output from 100 MW (LHV) of wet biomass residues



Kuvio 20. Vedyn lisäämisen vaikutus synteettisen biopolttoaineen tuotantomäärään kolmella eri integraation tasolla: Ylin rivi: ei ulkopuolista vedyn lisäystä; keskimääräinen rivi: ulkopuolisella vedyllä hyödynnetään kaikki kaasutuslaitoksessa syntynyt häkä; alin rivi: ulkopuolisella vedyllä hyödynnetään kaikki kaasutuslaitoksessa syntynyt häkä ja hiilidioksidi.

Mikäli kaikki biomassan kaasutusprosessissa syntynyt häkä pystytään hyödyntämään ulkoa tuodun vedyn avulla, polttoaineen tuotantomäärän lisäys on 54 % (metanolille) tai 69 % (metaanille), ja mikäli myös kaikki syntynyt hiilidioksidi hyödynnetään, tuotantomäärän lisäys on 190 % (metanoli) tai 233 % (metaani).

Hybridiprosessin toteuttaminen ei periaatteessa edellytä uusien teknologioiden kehittämistä, vaan kytkentä voidaan toteuttaa olemassa olevia komponentteja yhdistelemällä. Tekniikka

⁷⁰ Vedyn tuotannossa hiilidioksidia ja polttoainesynteesiä ei luonnollisestikaan tarvita.

voi kaupallistua vuoteen 2030 mennessä Saksassa ja demonstraatiolaitokset toteutua jo lähivuosina.

VTT:n arvio kaupallisen kypsyyden saavuttaneen, 200 MW (~140 000 toe/a) synteettistä polttoainetta tuottavan, sähköä ja biomassaa raaka-aineena hyödyntävän hybridilaitoksen tuotantokustannuksesta on:

metaani: 82 €/MWh, eli 0,73 €/L_{b-ekv},
 metanoli: 88 €/MWh eli 0,79 €/L_{b-ekv},
 diesel tai bensiini: 99 €/MWh eli 0,89 €/L_{b-ekv}.

Sähkölaitosten tuotantokustannus havaittiin biopolttoaineisiin verrattuna korkeaksi laajalla raaka-ainehintojen vaihteluvälillä. Hybridiratkaisun avulla havaittiin mahdolliseksi alittaa sähköpolttoaineiden tuotantokustannukset, mutta ei biopolttoaineiden tuotantokustannuksia.

6.4 Yhteenveto tuotantokustannusarvioista

Alla esitetyt tuotantokustannusarviot perustuvat ns. n:s laitos oletamaan, eli tasoon jota kustannusten uskotaan yleisellä tasolla lähestyvän tuotantokapasiteetin ja laitosten lukumäärän vähitellen kasvaessa. Yksittäisten ensimmäisten tuotantolaitosten investointi- ja tuotantokustannusta on sen sijaan vaikea arvioida ilman yksityiskohtaista tietoa laitosten sijainnista, kokoluokasta, raaka-ainelogistiikasta, integrointiasteesta, yms. Lisäksi ensimmäisten innovatiivisten lippulaivahankkeiden investointi on tässä oletettua korkeampi.

Elektrolyysivedystä tuotettujen polttoaineiden tuotantokustannuksen havaittiin olevan herkkä sekä sähkön hinnalle että elektrolyysin vuotuiselle käyttöajalle. Jotta sähköpolttoaineita voitaisiin tuottaa biopolttoaineita edullisemmin, raaka-aineena käytettävän sähkön vuotuisen keskihinnan täytyisi alittaa 14 €/MWh. Mikäli laitosta käytettäisiin alle 8000 tuntia vuodessa, vaatimus tätä alemmalle sähkön hinnalle kiristyy nopeasti. Alle 4500 tunnin käyttöajoilla sähkön keskihinnan tulisi mennä negatiiviseksi, jotta sähköpolttoaineet tulisivat kilpailukykyisiksi biopolttoaineiden kanssa. Sen sijaan prosessin ei havaittu olevan erityisen herkkä CO₂:den hinnalle. Tutkimustulosten yhteenveto on esitetty myös taulukossa 14.

Taulukko 14 Yhteenveto tuotantokustannusarvioista.

	€/MWh	€/GJ	€/toe	€/t _{b-ekv}	€/L _{b-ekv}
biometaani	64	18	792	901	0.57
biometanoli	74	21	924	418	0.66
bio-FT/MTG	81	23	1012	1012	0.73
biovety	58	16	669	1919	0.52
sähkömetaani	133	37	1628	1851	1.19
sähkömetanoli	144	40	1760	796	1.29
sähkö-FT/MTG	173	48	2112	2112	1.55
sähkövety	96	27	1129	3239	0.86
hybridimetaani	82	23	1012	1151	0.73
hybridimetanoli	88	24	1056	477	0.79
hybridi-FT/MTG	99	28	1232	1232	0.89
Taustaoletukset: polttoaineen tuotantomäärä 200 MW (~140 000 toe/a), biomassa 18 €/MWh, sähkö 50 €/MWh, CO ₂ 40 €/t. b-ekv = bensiiniekvivalentti					

7. Puupohjaisten liikenteen biopolttoaineiden nykytila ja kaupallistuminen

Puupohjaisten liikenteen biopolttoaineita on kehitetty jo vuosikymmenten ajan, mutta suuri mittainen kaupallinen tuotanto ei ole vielä alkanut. Puupohjaisen etanolin tuotanto sulfiittisel-lutehtaiden jäteliemistä on suurin yksittäinen puupohjainen biopolttoaine; sen tuotanto ei ole enää viimevuosina kasvanut johtuen sulfiittiteknologian korvautumisella sulfaattiteknologialla viime vuosikymmenien aikana rakennetuissa uusissa sellutehtaissa. Pohjoismaissa on toiminnassa vielä kaksi sulfiittitehtailla olevaa etanolintuotantoyksikköä. Nämä sijaitsevat Ruotsin Örnsköldsvikissä (Domsjö, Aditya Birla) ja Norjan Saugsborgissa (Borregaard) ja niiden yhteenlaskettu kapasiteetti on noin 30 000 t etanolia vuodessa. Yhteensä Pöyryn tiedossa on globaalisti 7 sulfiittisel-lutehdasta, joiden on ilmoitettu tuottavan etanolia sivutuotteenaan (yhteensä <50 000 t/a), mutta suurimmat ilmoitetut kapasiteetit löytyvät pohjoismaista. Suurin osa sulfiittietanolista on käytetty kemikaalina eri teollisuuksissa, mutta Ruotsissa sitä on käytetty myös liikenteen polttoaineena.

Viimeisen kymmenen vuoden aikana on varsinkin Suomessa panostettu vahvasti puun kasvatukseen perustuvaan liikenteen biopolttoaineiden tutkimukseen ja kehittämiseen tavoitteena saattaa teknologia markkinoille ja käynnistää varsinainen tuotanto. Suomessa niin UPM, Stora Enso, Neste sekä Vapo hakivat Euroopan Komission NER300 hausta investointiavustusta ensimmäisten ”lippulaiva-projektien” toteutukseen ja teknologian kaupalliseen demonstrointiin. Kahdessa ensimmäisessä hankkeessa oli vahva suomalainen teknologiaosaaminen mukana; hankkeiden toivottiin avaavan myös uusia vientimahdollisuuksia alan teollisuudelle. Vapo ja UPM saivatkin positiivisen rahoituspäätöksen Komissiolta Kemian ja Ranskan Stracelin laitoksilleen, mutta tällä hetkellä näyttää kuitenkin siltä ettei kumpikaan hanke tule etenemään varsinaiseen toteutukseen. Suurimpia haasteita projektien toteutuksessa on todettu olevan yhtäältä ensimmäisten laitosten korkea investointikustannus ja toisaalta poliittinen epävarmuus Euroopan biopolttoainepolitiikassa vuoden 2020 jälkeen.

Viimevuosina puupohjaisten liikenteen biopolttoaineiden kehitykseen on tullut mukaan myös pyrolyysiteknologia. Yhtenä syynä tähän kehitykseen on nähty mahdollisuudet saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä osin hajautetussa tuotantoreitissä, jossa primäärinen jalostus on tehty pienemmissä yksiköissä lähellä raaka-ainelähdettä ja sitten keskitetty pyrolyysiöljyn jatkojalostus lopputuotteeksi suurissa (öljynjalostamoita muistuttavissa) yksiköissä. Tämä reitti on alustavissa kustannuslaskelmissa osoittautunut kustannustehokkaaksi verrattuna kaasutuspolkuun. Varsinainen tuotantoteknologia on kuitenkin vielä pilot kokoluokassa. Pyrolyysiöljyn katalyyttisen jatkojalostukseen liittyy myös merkittäviä teknisiä haasteita.

Mäntyöljyä käytetään raaka-aineena biopolttoaineiden tuotannossa ruotsalaisen SunPine Ab:n ja UPM Lappeenrannan biodiesellaitoksilla. SunPine rakensi oman mäntyöljyn esteröinti- ja erotuslaitoksena jo vuonna 2009 ja sen kapasiteetti on noin 100 000 t vuodessa. Laitoksen tuottama mäntyöljystä valmistettu rasvahappoesteri on jatkojalostettu PREEM:n öljynjalostamossa Ruotsissa vetykäsittelyn avulla korkealaatuiseksi dieselpolttoliikenneöljyksi. UPM käynnisti oman mäntyöljyn vetykäsittelylaitoksen vuoden 2015 alussa. Laitoksen kapasiteetti on myös noin 100 000 t korkealaatuista dieseliä vuodessa. Neste on aloittamassa Naantalissa jalostamallaan mäntyöljyn tislauksessa syntyvän mäntypien hyödyntämisen biopolttoliikenneöljyksi. Mäntyöljyn ja mäntyöljyjen haasteita tulevaisuuden biopolttoliikenneöljyjen raaka-aineina on niiden rajallinen saatavuus. Pöyry on arvioinut Euroopan raakamäntyöljyn tuotannon kasvavan noin miljoonaan tonniin vuodessa ja pien määrän noin 300 000 tonniin vuodessa vuoteen 2030 mennessä. Myös sellun keitossa syntyvän mustalipeän hyödyntämistä biopolttoliikenneöljyjen tuottamiseksi on vuosikymmenten kuluessa kehitetty. Ruotsalainen Chemrec Ab on kehittänyt mustalipeän kaasutukseen ja synteettiin pohjautuvan synteetikaasuprosessin DME:n (di-metyylieetterin), metanolin ym. tuottamiseksi. Pilotlaitos on toiminnassa Piteåssa, toistaiseksi tekniikka ei ole edennyt kaupalliselle asteelle.

Puupohjaisen etanolin valmistus suoraan puumassasta on myös ollut kehityksen kohteena pohjoismaissa jo pitkän aikaa. Ruotsalainen SEKAB rakensi Örnköldsvikiin ensimmäisen puuta käyttävän etanolilaitoksen pilot-laitteiston. Tämän laitteiston avulla SEKAB kehitti prosessin havupuuhakkeeseen perustuvalla etanolintuotannolle. SEKABilla oli Ruotsissa useampikin kaupallinen demonstraatiolaitoshanke, mutta niistä yksikään ei ole edennyt rahoitusneuvotteluista toteutukseen. Sen sijaan yritys haki ja sai rahoitusta NER300 ensimmäiseltä rahoituskierroksesta olkipohjaisen laitoksen rakentamiseksi Puolaan Goswinowiceen, jossa heillä oli jo viljapohjaiseen etanolintuotantoon keskittyvä yhteisyritys. Tämäkään NER300 ensimmäisen kierroksen läpäissyt hanke ei ole edennyt vielä varsinaiseen investointipäätökseen asti.

Suomessa St1 Biofuels on ilmoittanut investointipäätöksestä Kajaaniin rakennettavasta sahanpurua käyttävästä etanolintuotantolaitoksesta, joka on ensimmäinen laatuaan maailmassa. Sahanpurua käyttävän laitoksen teknologia on osittain St1 omaa tuotekehitystä ja nojaa vahvasti suomalaiseen puunjalostusosaamiseen. Rakenteilla olevan laitoksen vuosikapasiteetiksi on ilmoitettu 10 000 m³ etanolia, jonka tuottamiseksi sahanpurua tullaan hankkimaan useammalta sahalta. Kajaanin laitoksen lisäksi ei maailmalla ole tiedossa muita havupuuhun tai yleensäkin pääasiassa puuhun perustuvia etanolihankkeita. Tämä johtuu lähinnä puun hinnasta, sekä siitä luonnollisesta syystä että lignoselluloosapohjaisen etanolin kaupallistuminen on ollut vahvasti linkittyneenä tärkkelys- ja sokeripohjaisen etanolintuotannon sivuvirtojen hyödyntämiseen ja tuotannon integroimiseen. Toisena syynä on se, että sokerointiin tarvitaan puhdasta sahanpurua eikä siinä voi juuri käyttää metsätähteitä, joiden selluloosapitoisuus on pienempi. Tästä syystä sahoilta tuleva puru soveltuu ominaisuuksiensa puolesta hyvin raaka-aineeksi myös laajamittaiseen etanolin tuotantoon. Toisaalta kun purun kysyntä kasvaa eri käyttövaihtoehtoihin, sen hinta voi nousta.

Puru- ja olkietanolin tuotantokustannuksia voivat laskea uusien sivutuotteiden arvo (esim. tärpähti, furfuraali ja ligniini), sekä useiden laitosten ja integraattien tuomat kustannushyödyt. St1 on ilmoittanut pyrkivänsä vuoteen 2020 mennessä rakentamaan Suomeen uutta sahanpurupohjaista etanolin tuotantokapasiteettia 100 000 m³/a eli noin 50 000 toe/a. Laitosten kokonaisinvestoinniksi on arvioitu 280 milj. €.

Yhteenvetona yllä olevasta tilannekatsauksesta edistyksellisten toisen sukupolven biopolttoainelaitosten kokonaistuotantokapasiteetin arvioidaan olevan maailmassa noin 4 miljoonaa tonnia, josta vetykäsitellyn kasvi- ja eläinrasvan osuus on yli 3 miljoonaa tonnia. Muu kapasiteetti koostuu viimeaikoina käynnistyneistä lignoselluloosaa, lähinnä olkea ja energiakasveja, raaka-aineena käyttävistä etanolilaitoksista sekä yhdestä metanolilaitoksesta Hollannissa, jonka raaka-aineena on glyseroli, joka on peräisin pääasiassa rypsiöljydieselin (FAME) tuotannosta. Tuotantokapasiteetista yli noin puolet on Euroopassa. Jos edistyksellisten biopolttoaineiden valmistuslähteiksi luetaan, kuten myös on esitetty Euroopassa, vain iLUC direktiivin liitteen IX mukaiset raaka-aineet, niin yo. luvut saattavat muuttua kasviöljyjen osalta.

7.1 Eri tuotantoteknologioiden tuotantokustannukset puupohjaisille liikenteen biopolttonesteille

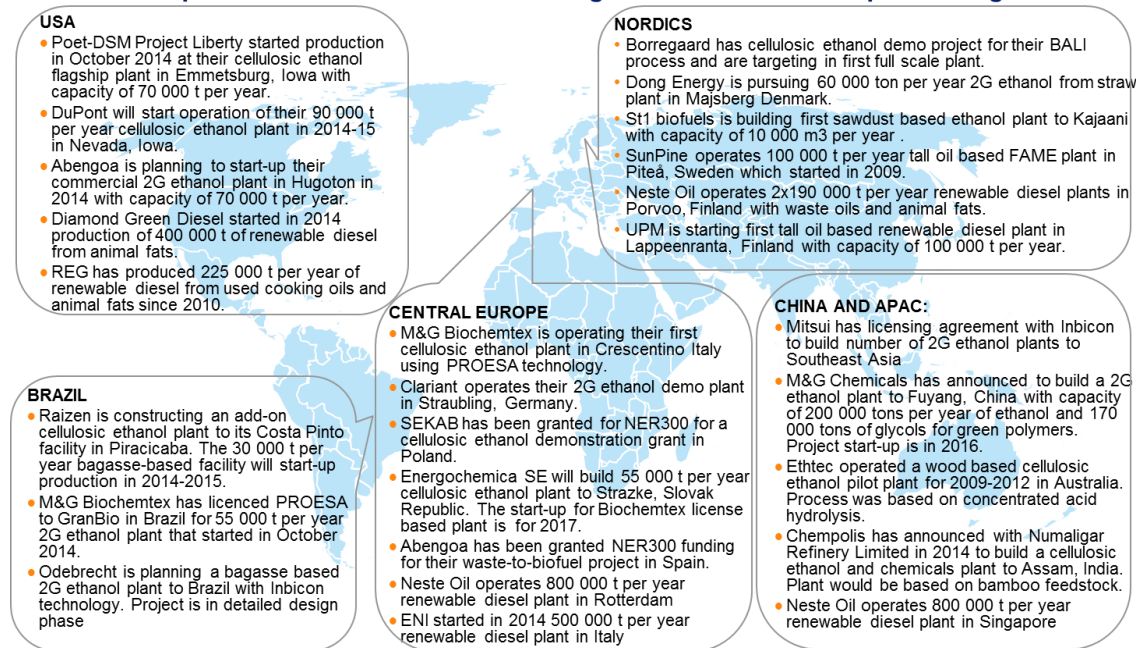
Pöyry arvioi eri puupohjaisten biopolttoaineiden tuotantokustannuksia nykyteknologian tasolla huomioiden ensimmäisten laitosten investointikustannukset, Suomen puuraaka-aineen hintatasot, sekä kaupallisten investointien vaaditun pääoman tuottotason. Tiedot perustuvat niin yritysten julkaisemiin tietoihin kuin Pöyryn kokemukseen uusien biopolttoaineiden teknistä taloudellisista analyyseistä viimevuosilta.

VTT-VATT-Pöyry yhteistyössä laskennan perustapaukseksi valittiin puuta käyttävä synteetikaasutus- ja Fisher-Tropsch synteetisilaitos, joka edustaa kaupallisesti tällä hetkellä saatavaa teknologiaa, jolle teknologiatoimittajat antavat jo kaupalliset takuuehdot. Laitoksen kapasiteetiksi valittiin 100 000 toe vuodessa, jolloin puunkulutus on 1,2 miljoonaa kiinto-m³ vuodessa. Puun hinnaksi arvioitiin 40 €/kiinto-m³ (~20 €/MWh), joka on hieman korkeampi kuin metsä-

hakkeen keskihinta oli vuonna 2014 käyttöpaikalle toimitettuna Suomessa. Laitoksen on oletettu työllistävän suoraan 100 henkilöä ja sen käyttö ja ylläpitokustannuksiksi on arvioitu 4 %/a kokonaisinvestointikustannuksesta. Ensimmäisen laitoksen investointikustannukseksi on arvioitu 450 Milj. €. Luku perustuu Pöyryn aiempiin esiselvitystason laskelmiin samankokoisesta kaasutus-FT-laitoksesta. Pääomakustannukset on laskettu annuiteettimenetelmällä käyttäen pitoaikana 15 vuotta ja korkona 10 %. Lopputuotteena laitoksesta tulee suoraan sekoituskelpoisia drop-in polttoaineita, joille ei tarvitse tehdä enää vetykäsittelyä. Tämän laitoksen tuotantokustannukseksi yllä olevilla oletuksilla saadaan 1310 €/toe.

ADVANCED BIOFUELS OUTLOOK

Biofuels production from waste oils and agricultural residues is proceeding



Kuvio 21. Katsaus toisen sukupolven biopolttoaineiden kaupallistumiseen (tilanne joulukuu 2014)

Toisena nykyteknologian tarjoamana vaihtoehtona laskettiin mäntyöljypohjaisen uusiutuvan dieselin tuotantolaitos, jonka kapasiteetti on 100 000 toe/a. Sen tuotantokustannukseksi on arvioitu 1100 €/toe

Olkipohjaisen tuotannon tuotantokustannus on tässä arvioitu Pöyryn kustannusmallin avulla käyttäen tyypillisiä eurooppalaisia kulutus- ja kustannustasoja muista hankkeista. Tyypillaitokseksi on valittu 100 000 m³ etanolia vuodessa tuottava laitos, jonka oljenkulutus on noin 400 000 tonnia kuiva-ainetta. Tällaisen laitoksen investointikustannukseksi on arvioitu noin 240 miljoonaa euroa perustuen ilmoitettuihin eurooppalaisiin etanolihankkeisiin. Oljen hinnaksi toimitettuna laitokselle on arvioitu olevan 80 €/kuiva-ainetonna, joka vastaa esitettyjä eurooppalaisia oljen hankinta ja keräyskustannuksia. Muut tuotantokustannukset on arvioitu Pöyryn kustannusmallin avulla ja tuotettu biokaasu on oletettu käytettävän laitoksen tarvitseman höyryn tuotantoon. Ylijäämä kiintoaines, joka sisältää noin 50 % ligniiniä on oletettu myytävän ulkopuoliselle energialaitokselle. Pääomakustannukset on laskettu annuiteettimenetelmällä käyttäen pitoaikana 15 vuotta ja korkona 10%. Näillä oletuksilla olkipohjaisen etanolin tuotantokustannus on noin 1500 €/toe tai 0,78 €/litra.

Työssä on arvioitu lisäksi uudempien puun pyrolyysireittien kustannuksia. Nämä teknologiat ovat vielä maailmalla kehitysasteeltaan pilot-kokoluokassa joten niiden alustavat kustannusarviot perustuvat Pöyryn kokemuksiin reittien teknistaloudellisista vertailuista. Kun laitosten kapasiteetti asetetaan vastaamaan edellä mainittuja jo lähes kypsiä reittejä (100 000 toe/a) on pyrolyysireittien puunkulutus noin 10-25 % pienempi kuin FT-reitillä. Nämä perustuvat

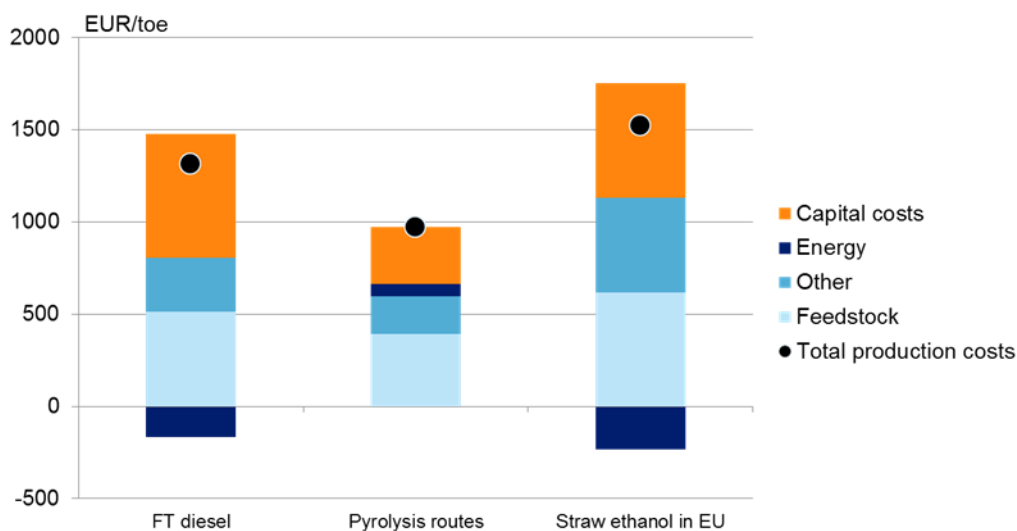
julkaistuihin taseisiin prosessien pienmittakaavan testeistä, kun varsinaisia demonstraatiolaitoksia ei vielä ole rakennettu. Puun hinta on asetettu samaksi kuin FT-tapauksessa, jotta kustannukset olisivat vertailukelpoisia. Laitosten investointikustannukset on arvioitu noin 30-45 % pienemmiksi kuin FT-laitokselle johtuen yksinkertaisemmista prosesseista, korkeammasta saannosta sekä tietenkin teknologian alemmasta kypsyydestä.

Pyrolyysilaitosten realistiset investointikustannukset voidaan olettaa vielä nousevan ensimmäisille laitoksille kun teknologiat kypsyvät kaupalliselle tasolle. Tässä selvityksessä pyrolyysireittien tuotantokustannukset ovat noin 1000 €/toe. Yllä olevien laitostarkastelujen pohjalta noin 1000 €/toe tuotantokustannus voidaan olettaa kuvaavan vuoden 2020 tai 2025 jälkeen tyypillisiä puupohjaisten biopolttoaineiden tuotantokustannuksia, riippumatta valitusta teknologiasta (FT, pyrolyysi, katalyyttinen pyrolyysi).

Puupohjaisen etanolin tuotantokustannus arvioitiin jonkin verran korkeammaksi, sille käytettiin olkietanolin tuotantoarvioita. Kuviossa 22 on esitetty eri tuotantotapojen kustannusarvioita. VATT kustannusmallin laskentaan puruetanolin tuotannosta ei ollut saatavilla tarkempaa kustannuserittelyä miksi se jätettiin pois skenaariotarkastelusta. Sama tilanne oli olkietanolin valmistuksen kohdalla. Tulevissa skenaarioissa esitetään tuotantokustannus ja teknologian kehittyminen numeeriseen muotoon ajanjaksolla, jolloin on epätodennäköistä että mikään puupohjainen biopolttoainereitti saavuttaisi täyden globaalin teknologisen maturiteetin.

INDICATIVE PRODUCTION COSTS OF WOOD BASED BIOFUELS

Production costs of advanced biofuels will be 1200-1500 EUR/toe for the first units that is significantly above the price of fossil fuels and current biofuels



Kuvio 22. Arvioidut puupohjaisten biopolttoaineiden kustannukset Suomessa.

7.2 Suomen puupohjaisten biopolttoaineiden tuotantoskenaario vuodelle 2030

Työssä luotiin Pöyry-VTT perusskenaario kotimaisten biopolttoaineiden tuotannolle ja sen kustannuksille, niin että Suomen tieliikenteen päästöt laskisivat 40% vuoden 2005 tasosta. Tämä tavoite arvioitiin vastaavan max 850 000 toe vuotuista biopolttoaineiden käyttötarvetta drop-in tuotteina ja vastaavaa lisätuotantoa jo ilmoitettujen investointien ja olemassa olevien laitosten lisäksi. Taustana on myös käytetty Pöyryn ja VTT:n yhdessä laatimaa CrossCluster 2030 skenaariota⁷¹ vuoden 2030 Suomen metsäteollisuuden tilasta ja puun käytöstä. Tässä

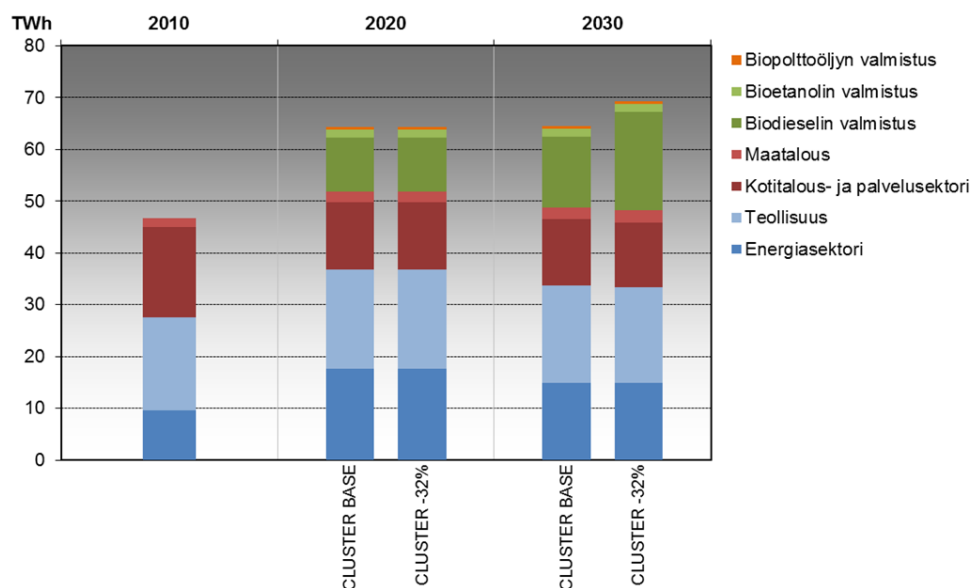
⁷¹ CROSS CLUSTER 2030 - Metsä- ja energiateollisuuden Skenaariot; Jaakko Jokinen, Pöyry Management Consulting Oy, ForestEnergy 2020 - Metsäenergia nyt ja 2030 - teknologiat, kilpailukyky ja ympäristö, 8.10.2014.

skenaariossa kotimaisen puun käyttö kehittyi kuvion 23 mukaisesti kun koko Suomen ei-päästökauppasektorin kasviuonekaasupäästöjen vähennystavoitteeksi oletettiin 32 % vuoden 2005 tasosta.

Käsillä olevan selvityksen vuoden 2030 skenaarion taustaksi laadittiin arvio eri tuotantomuodoilla rakennettavien biopolttoainelaitosten tiekartaksi, jonka tiedot syötettiin VATT:in kansantalousmalliin kotimaisen drop-in -biopolttoaineiden skenaarion lähtötiedoiksi. Laitosten käynnistymisvuodet valittiin esimerkinomaisesti niin, että uusien teknologioiden laitokset ehtivät olla tuotannossa lähes 3 vuotta ennen kuin seuraava laitos käynnistyy hieman alemmilla kustannuksilla. Näin laskentaan saatiin mukaan myös lievä oppimiskäyrä jo ensimmäisten 3-4 laitoksen osalta. Teknologiat valittiin niin, että skenaario olisi teknologianeutraali sillä rajoituksella että laitokset käyttävät raaka-aineinaan ainoastaan kotimaista puuta tai metsäteollisuuden eri sivutuotteita, olkea tai biologisia jätteitä. Ajoneuvojen kalustorajoitukset vuoteen 2030 mennessä ohjasivat kysyntää drop-in tuotteisiin biokaasun tai etanolin ja vedyn kustannuksella.

PUUN KÄYTTÖ ENERGIAXI – VTT

VTT:n TIMES mallin mukainen puunkäyttö on arvioitu niin että 2030 mukainen ei-päästökauppasektorin päästövähennä on 32%



Kuvio 23. CrossCluster 2030 Skenaarion mukainen puun energiakäyttö.

Arvioidut tuotantokustannukset perustuvat yllä oleviin kustannusrakenteisiin, niin että käyttökustannusten ei ole oletettu muuttuvan oppimisen myötä, sillä arvio on, että mahdolliset saannon kasvun tuomat edut voivat puuraaka-aineen kysynnän kasvun kautta nostaa puun hintaa lähes yhtä suurella summalla. Vakiokustannukset on myös valittu siitä syystä, etteivät tämän skenaarion laitokset ole sijoitettu mihinkään tiettyyn paikkaan, ja siten kustannukset kuvaavat tyypillisiä kustannuksia vakio reaalihinnoin myös tulevaisuudessa. Laitosten investointiavustukset on määritelty teknologian innovatiivisen uutuusosuuden mukaan, sekä niin että nykyisten tukisäädösten mukaan vain 1-3 ensimmäistä laitosta, jotka ovat kyseistä samaa teknologiaa voivat olla oikeutettuja saamaan uuden teknologian investointiavustusta Suomesta ja EU:n Komissiolta. Laskelmissa investointiavustukset ovat alentaneet myös uusien tuotantolaitosten kustannuksia niin, että niiden tuotantokustannus olisi kilpailukykyinen suhteessa kestävien drop-in -biopolttoaineiden tuontiin nähden.

Tuontipolttoaineiden referenssinä on käytetty eläinrasvapohjaista vetykäsitteltyä dieseliä, jonka kustannukseksi nykyisin arvioidaan noin 1000 €/toe ja sen uskotaan nousevan ainakin tasolle 1100-1200 €/toe, kun raaka-aineiden tarjonta on rajallista ja kysyntä kasvaa uusien vetykäsittelylaitosten tuotannon kasvaessa, niin Euroopassa kuin Pohjois-Amerikassakin. Vaikka ensimmäisen sukupolven biopolttoaineita voitaisiin tuoda iLUC esityksen pohjalta 7 % kysynnästä, seuraavassa on oletettu niiden mahdollisen tukemisen päättyvän ja kilpailukyvyyn laskevan EU:ssä vuoden 2020 jälkeen. Skenaariolaskelmien oletetut laitokset kustannuksiin on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Suomen 2030 biopolttoaineskenaarion laitosinvestoinnit ja kustannusoletuks

Technology	Start	Capacity, 1000 toe/a	Investment, MEUR	OPEX, €/toe	CAPEX, €/toe	Investment grant, MEUR	Total Costs, €/toe
Tall oil HVO/Pitch co-feed	2017	100 000	175	932	196	15 %	1100
Gasification bensiini/FT	2018	100 000	450	640	385	35 %	1000
Wood pyrolysis co-feed	2019	50 000	235	700	402	35 %	1100
Gasification bensiini/FT/SNG	2022	100 000	420	640	359	35 %	1000
Wood pyrolysis co-feed	2023	100 000	334	700	285	35 %	1000
Black liquor FT/bensiini	2024	100 000	190	932	162	35 %	1100
Gasification bensiini/FT	2025	100 000	350	640	368	20 %	1000
Wood pyrolysis co-feed	2026	100 000	290	700	305	20 %	1000
Black liquor FT/co-feed	2027	100 000	200	800	171	35 %	1000
Additional Option; not used in VATT calculations							
Ethanol from saw dust	2020	50 000	280	n/a	n/a	n/a	n/a

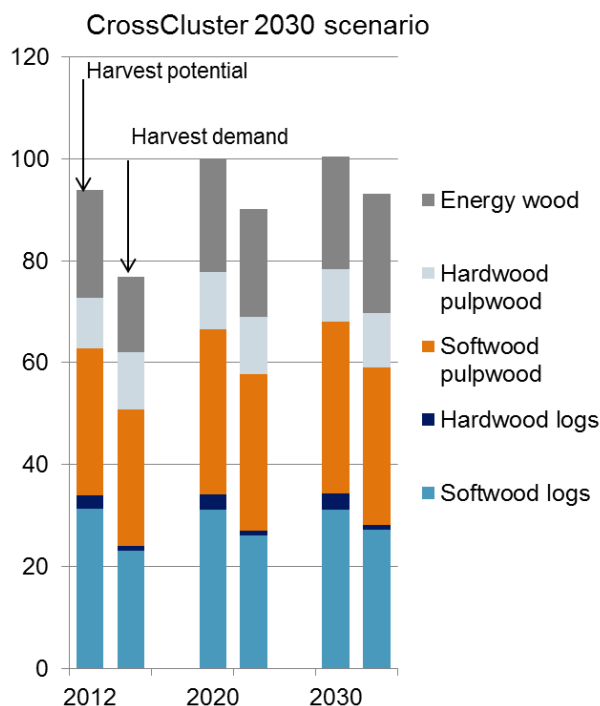
Valitun 2030 kotimaisen tuotantoskenaarion uuden kapasiteetin määrä on siis 850 000 toe vuodessa, jonka kokonaisinvestoinnit ovat 2,6 miljardia euroa. Kasvanut puun kysyntä on luokkaa 4-5 miljoonaa kiinto-m³ vuodessa riippuen mustalipeän ja mäntyöljyjakeiden osuudesta uudesta tuotannosta. Tämän skenaarion vaatimat kansalliset investointiavustukset ovat yhteensä noin 800 Milj. € kumulatiivisesti vuoteen 2030 mennessä. Ne, tai ekvivalenttiset summat muina instrumentteina, voidaan rahoittaa joko suomalaisista julkisista lähteistä tai Komissiosta kuten NER300 rahoitus, jota myönnettiin ensimmäisen ja toisen haun bio-energiահankkeille n. 940 Milj. €. NER400 rahoitusjärjestelyjen suunnittelu on alkanut Komissiossa ja SET-Planissa jäsenmaiden myötävaikutuksella. EU:n Horizon 2020 ohjelma tukee myös kehitystoimintaa. VATT:n kansantalouselaskelmissa 800 Milj. € kustannukset on huomioitu kansallisina kustannuksina.

Investointituen lisäksi uusien puupohjaisten teknologioiden tutkimus ja kehitystoimintaan tarvitaan julkista panostusta erityisesti pilot- ja demonstraatiotoimintaan yrityksissä ja tutkimuslaitoksissa, mutta niiden kustannuksia ei ole tässä laskennassa huomioitu. Teollisuuden demonstraatiotoimintaa tukevaa tutkimus- ja kehitystyötä tulisi rahoittaa niin kotimaan kuin EU-lähteistä tasolla 10 Milj. €/a vuoteen 2020 uusien ratkaisujen saamiseksi demonstrointiskaalaan.

Kotimaisen drop-in -skenaarion E10 polttoaineen etanolitarve on noin 300 000 m³ vuodessa, jonka täyttäminen kotimaisin raaka-ainein vaatisi ainakin kahden suuren puu- tai olkietanolilaitoksen rakentamista ja/tai useita sahanpurulaitoksia nykyisen tuotannon lisäksi. Niiden toteutumisessa on vielä selviä kustannushaasteita, joten niitä ei ole oletettu kotimaiseen tuotantoskenaarioon. Kehitystyön onnistuessa esim. sivuvirtojen hyödyntämien lisäarvotuotteiksi, voi parantaa niiden kannattavuutta merkittävästi.

7.3 Puun saatavuus ja laitosten sijoittuminen

Suomen puupohjaisten biopolttoaineiden skenaarion vuodelle 2030 realistisuudelle olennainen kysymys on kotimaisen puuraaka-aineen saatavuus, hinta ja riittävyys. Pöyryn ja VTT:n CrossCluster 2030 skenaarion⁽⁷¹⁾ laskennassa arvioitiin metsäteollisuuden raakapuun käyttöä lokakuussa 2014 perustuen Pöyryn viimeisimpiin sellun- ja paperin tuotantoennusteisiin, mekaanisen metsäteollisuuden tuotantoskenaarioihin ja TIMES VTT energijärjestelmämallin laskemaan puun energiakäyttöön. Tämän työn johtopäätöksenä oli että kotimaisen puun käytön lisäys biopolttoaineiden valmistukseen voisi kasvaa jopa 10 miljoonaan kiinto-m³:in vuonna 2030, huomioiden myös metsäteollisuuden puuntarve. Tällöin Suomen kestävä hakkupotentiaali olisi lähes täyskäytössä ja joidenkin puutavaralajien kohdalta täyskäytössä. Tätä painetta voidaan hieman vähentää tuontipuulla, jonka nykytaso on noin 10 miljoonaa kiinto-m³. CrossCluster skenaarion hakkuut ja puun kysyntä puutavaralajeittain on esitetty alla kuviossa 24.



Kuvio 24. CrossCluster 2030 -skenaarion mukainen Suomen puun kysyntä ja hakkupotentiaali.

Suomen puunkysynnän oletetaan kasvavan niin metsäteollisuudessa kuin energiateollisuudessa vuoteen 2020 mennessä. Varsinkin jo julkistetut uudet sellutehtaiden laajentamiset Äänekoskella, Varkaudessa, Kuusankoskella ja Pietarsaareissa kasvattavat kotimaisen havukuitupuun ja koivukuitupuun kysyntää merkittävästi. Lisäksi tammikuussa 2015 julkistettiin Kuopion suuren havusellutehtaan suunnitelmat, joka osaltaan kasvattaisi kotimaisen havukuitupuun kysyntää noin 6 miljoonaa kiinto-m³ vuodessa. Myös jo julkistetut uudet puuta käyttävät yhteistuotantovoimalaitokset Turkuun, Lahteen, Ouluun ja mahdollisesti Helsinkiin

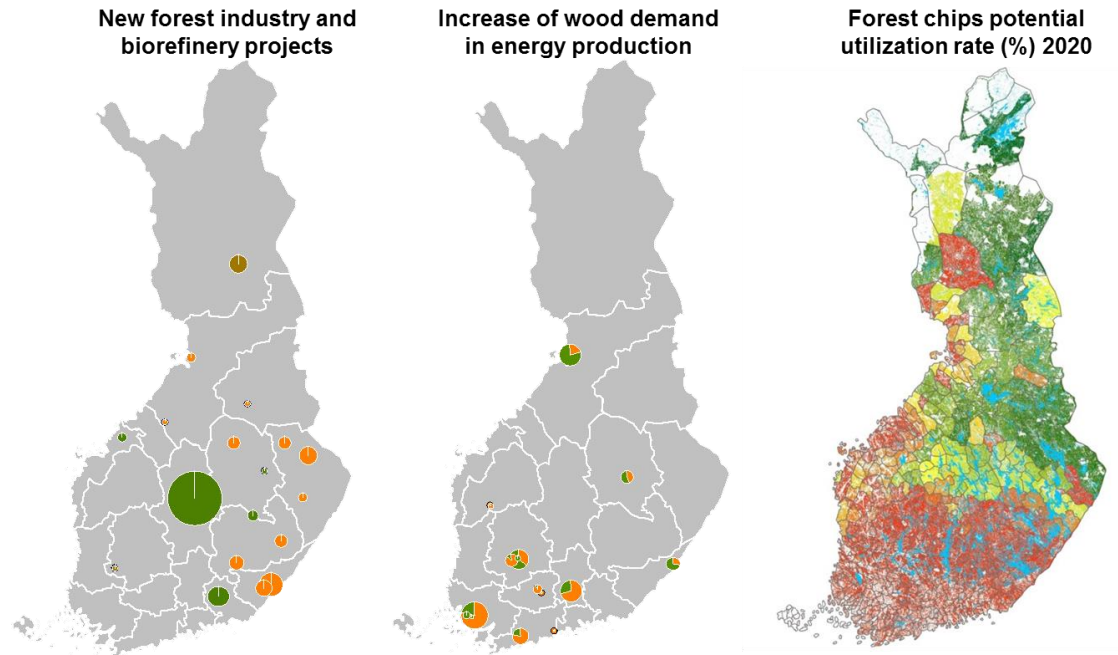
tulevat lisäämään energiapuun kysyntään noin 3 miljoonalla kiinto-m³ vuoteen 2020 mennessä.

Toisaalta Suomen paperin- ja kartongintuotannon oletetaan laskevan vuoden 2012 vajaasta 11 miljoonasta tonnista noin 9 miljoonaan tonniin vuoteen 2030 mennessä, josta suurin osa laskusta tapahtuisi paino- ja kirjoituspaperien tuotannosta. Näiden tuotteiden valmistuksessa käytetään usein mekaanista massaa, jolloin tuotannon lasku vapauttaa havukuitupuuta muihin loppukäyttöihin noin 2 miljoonaa kiinto-m³. Lisäksi TIMES VTT -mallin skenaariolaskelmien mukaisesti vuoden 2020 jälkeen energiapuun käyttö sähkön- ja lämmöntuotannossa laskee oletetuilla päästöoikeuden hintatasoilla, sillä ei-päästökauppasektorilla puun tarve biopolttoaineiden valmistamiseksi syrjäyttää puun käyttöä kasvihuonekaasupäästöjen, johtuen ei-päästökauppasektorin korkeamman maksukyvyn johdosta. Vuoden 2030 skenaariossa on oletettu EU:n 2030 ilmasto- ja energiapaketin mukainen keskusjohtoinen päästökauppasektori, jossa kansalliset tavoitteet päästövähennyksille ovat voimassa vain ei-päästökauppasektorille ja päästökauppasektori on nykyisenkaltainen Eurooppalainen markkina kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi.

Yllä olevat tekijät sekä Pöyryn arvio alueellisesta metsähakkeen hyödyntämistasosta ovat esitettyinä alla olevissa karttakuvissa (Kuvio 25). Alueellisesta hyödyntämistasteesta voidaan tehdä johtopäätös, että uusien puuta käyttävien biopolttoainelaitosten kilpailutilanne raaka-aineesta on kovin Etelä-Suomessa aina Jyväskylän korkeudelle asti. Myös Pietarsaaren ympäristössä metsähakkeen hyödyntämistaste on jo hyvin korkea, jolloin raaka-aineen hinta laitoksella nousee selvästi yli nykyisen keskitason (noin 19 €/MWh), jos alueelle syntyy lisää kysyntää. Uudet suuret sellutehtaat Äänekoskelle ja mahdollisesti Kuopioon nostavat mitä todennäköisimmin näiden alueiden hakkuu- ja sahausmääriä, jolloin metsähakkeen ja teollisuuden sivutuotteiden tarjonta alueilla voi hieman kasvaa nykytasosta. Suomen biopolttoaineiden vuoden 2030 skenaarion laitokset sijoittuisivatkin metsäresurssien puolesta todennäköisesti Keski- ja Itä-Suomeen, missä kilpailutilanne energiantuotannon kanssa ei ole niin tiukka ja toisaalta metsähakkeen tarjonnassa nähdään kasvua.

Jos raaka-aineen saatavuuden ja hinnan näkökulmasta vertaillaan puupohjaisten drop-in biopolttoaineiden ja synteettisen maakaasun (SNG) vaihtoehtoja, voidaan oikeanpuoleisesta kuvasta lukea, että metsähakkeen hyödyntämistaste on jo nykyisellään hyvin tiukka Suomen nykyisen maakaasuverkon alueella. Liikenteen biopolttoaineiden tuotannolle ei ole niin kriittistä missä laitos sijaitsee maantieteellisesti, sillä tuotteiden kuljetuskustannuksen osuus tuotteen arvosta on hyvin pieni, ja silloin sijoituspaikan valinnassa raaka-aineen hinta on merkittävämpi kuin etäisyys tuotteiden jakelukeskuksista.

SNG:n osalta olemassa oleva kaasuverkko on hyvin kriittinen tekijä, sillä laitosten suuri yksikkökoko suhteessa tarvittuun kaasuautokantaan vaatii tuotteelle väliaikaisen käytön sähkön- ja lämmöntuotannon polttoaineena kunnes kysyntä kasvaa riittävälle tasolle. Tällöin ainoa kustannustehokas siirtotapa kaasulle on olemassa oleva kaasuverkko, jonka kasvu riippuu pikemminkin maakaasun kysynnän kasvusta kuin SNG liikennekäytöstä. LNG terminaalit voivat lisätä joustoja tulevaisuudessa myös nesteytetyn biokaasun osalta.



Kuvio 25. Suomeen suunnitellut puun käyttöä lisäävät hankkeet sekä metsähakkeen alueellinen hyödyntämisaste vuonna 2020

“Laskentaosio”

8. Laskennan tausta-aineisto

8.1 ALIISA- mallin kuvaus

Tässä työssä liikennettä koskevat tunnusluvut tuotettiin VTT:ssä kehitetyllä uudella ALIISA -mallilla. Mallin laskentavuodet ovat 2012 – 2050. Autokannan lukumäärätieto on vuodesta 1980 lähtien. Lähtötietona on viimeisin autokanta, liikennesuoritteet ja polttoaineenkulutus. Autokannan ennustelaskenta perustuu arvioon automyyntin lukumääräisestä kehityksestä käytettynä maahantuodut mukaan lukien, myyntin jakautumisesta eri tekniikoiden kesken ja poistumaan. Automyyntiarvioon vaikuttaa ennustettu valtakunnantason liikennesuoritteiden kehitys, koska liikennesuorite on sidoksissa autokantaan. Siten liikennesuoritteiden kasvu toteutuu pääasiassa autokannan kasvulla, autokohtainen ajosuorite kun on ennemminkin laskemassa kuin kasvamassa. Suoritteiden kehityslaskenta perustuu arvioon autokohtaisen vuosisuoritteiden kehityksestä ja autokannan suuruudesta vuosimalleittain. Kulutuksen ennustelaskenta perustuu vuosittaiseen energiatehokkuuden muutokseen eri ajoneuvotyypeillä ja tekniikoilla sekä suoritteisiin. Käytetty energiamäärä on sidoksissa eri polttoaineiden lämpöarvoihin.

Hiilidioksidipäästöt (CO₂) tuotetaan polttoainekohtaisilla kertoimilla. Biopolttoaineet, vety ja sähkö katsotaan hiilidioksidipäästöiltään nollassi käytönaikaisen päästölaskennan suosituksen mukaisesti.

ALIISA -malli on deterministinen eli samat lähtöarvot tuottavat aina saman lopputuloksen.

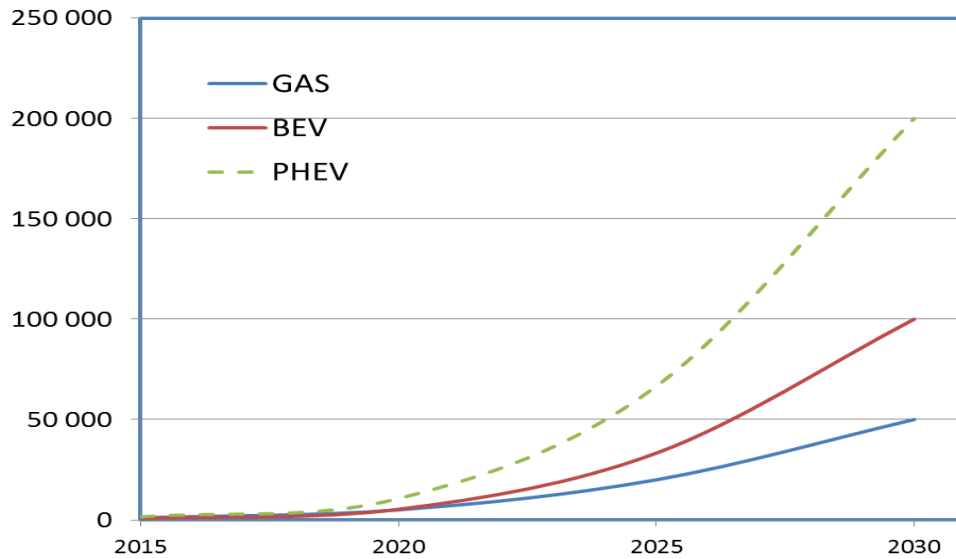
ALIISA -mallissa ajoneuvojen päätyyppejä on viisi; henkilöautot, pakettiautot, linja-autot, kuorma-autot ilman perävaunua ja perävaunulliset kuorma-autot. Kullakin näistä on kahdeksan tekniikkatyyppiä; bensiini, diesel, flexifuel (FFV), dieseletanoli (ED95), kaasua (metaani), pistokehybridit (bensiini- ja dieselmoottoriset), sähkö ja vety. Kaikkiaan mallissa on siis 40 eri ajoneuvo/tekniikkavaihtoehtoa.

Mallilla voidaan tuottaa seuraavat tunnusluvut 39 vuoden ajalta 40 ajoneuvotyyppille ja -tekniikalle: Ajoneuvojen lukumäärät, suoritteet, kulutukset polttoaine- ja polttoainekomponentteittain (8), energiankäyttö ja CO₂ päästöt. ALIISA -mallin lähtötietoja käytetään VTT:n LIISA mallissa, jolla lasketaan lisäksi päästömäärät seuraaville yhdisteille: CO, HC, NO_x, PM, CH₄, N₂O ja SO₂.

8.2 Skenaarioiden ajoneuvo- ja energiamäärät

Seuraavissa taulukoissa 16 – 18 on esitetty kaikkien eri skenaarioiden automäärät, polttoaine- ja energiamäärät sekä hiilidioksidipäästöt. Luvut ovat näissä taulukoissa vain tarkastelun lopputilanteelle eli vuodelle 2030, mutta väli vuosien 2015, 2020 ja 2025 luvut on esitetty liitteessä 7.

Kuviossa 26 on esitetty kaasua (GAS) ja sähköautojen (BEV) määrien lisääntyminen KEHITYS -skenaariossa. Jos lataushybridi (PHEV) osoittautuu kuluttajia houkuttavaksi vaihtoehdoksi, voisi sama vaikutus päästöihin tulla kaksinkertaisesta määrästä niitä (katkoviiva).



Kuvio 26. Kuviossa kaasu (GAS) ja sähköautojen (BEV) määrien lisääntyminen KEHITYS-skenaariossa.

Taulukko 16. Autojen määrät eri skenaarioissa

Ajoneuvot [kpl]	2030						
	KONV	DROP-IN	FFV	GAS	PHEV	BEV	FCEV
Henkilöautot, bensiini	2 181 539	1 119 638	1 435 783	1 155 845	1 321 262	1 311 537	2 031 615
Henkilöautot, diesel	1 071 037	587 376	541 283	623 157	803 108	771 917	1 071 037
Henkilöautot, FFV	2 299	1 547 861	2 299	2 299	2 299	2 299	2 299
Henkilöautot, GAS	835	835	1 276 344	835	835	835	50 000
Henkilöautot, PHEV	0	0	0	1 473 574	0	0	0
Henkilöautot, BEV	0	0	0	0	1 128 205	0	100 000
Henkilöautot, FCEV	0	0	0	0	0	1 169 122	0
Henkilöautot, yhteensä	3 255 710	3 255 710	3 255 710	3 255 710	3 255 710	3 255 710	3 254 950
Pakettiautot, bensiini	4 724	6 007	3 243	4 759	4 759	9 826	1 826
Pakettiautot, diesel	306 907	206 164	212 681	271 350	271 350	271 350	307 960
Pakettiautot, FFV		99 458	0	0	0	0	0
Pakettiautot, GAS		0	95 707	0	0	0	6 000
Pakettiautot, PHEV		0	0	33 907	0	0	0
Pakettiautot, BEV		0	0	0	35 401	0	2 000
Pakettiautot, FCEV		0	0	0	0	30 454	0
Pakettiautot, yhteensä	311 631	311 629	311 630	310 016	311 510	311 630	317 786
Linja-autot, diesel	12 829	11 561	11 675	11 878	11 878	12 354	11 641
Linja-autot, ED95		1 268	0	0	0	0	0
Linja-autot, GAS	12	12	1 166	12	12	12	200
Linja-autot, PHEV		0	0	951	0	0	0
Linja-autot, BEV		0	0	0	951	0	1 000
Linja-autot, FCEV		0	0	0	0	476	0
Linja-autot, yhteensä	12 841	12 841	12 841	12 841	12 841	12 841	12 841
Kuorma-autot, diesel	102 763	87 098	89 543	80 961	99 129	102 763	101 797
Kuorma-autot, ED95		15 665	0	0	0	0	0
Kuorma-autot, GAS	184	184	13 379	184	184	184	1 000
Kuorma-autot, PHEV		0	0	21 802	0	0	0
Kuorma-autot, BEV		0	0	0	3 166	0	150
Kuorma-autot, FCEV		0	0	0	0	0	0
Kuorma-autot, yhteensä	102 947	102 947	102 922	102 947	102 479	102 947	102 947
yhteensä	3 683 128	3 683 126	3 683 103	3 681 514	3 682 540	3 683 127	3 688 524

Taulukko 17. Polttoaine(komponenttien) määrät eri skenaarioissa.

Polttoaineet	2030								
	KONV	DROP-IN	FFV	GAS	PHEV	BEV	FCEV	KEHITYS	KEHITYS+BIO
Henkilöautot									
Fossiilinen bensiini l/a	1 326 909 332	1 178 202 357	1 091 677 779	1 002 295 561	758 995 891	752 784 346	744 662 580	1 233 853 736	1 233 853 736
Fossiilinen diesel l/a	866 548 458	604 480 094	440 827 919	393 697 932	683 141 262	631 085 264	603 673 131	866 548 458	596 987 238
Biodiesel l/a	201 407 246	463 475 610	102 459 287	91 505 115	158 778 887	146 679 789	140 308 533	201 407 246	470 968 465
Etanoli l/a	147 066 717	295 776 852	1 484 841 508	111 398 834	84 665 574	83 983 062	83 090 659	136 841 963	154 070 770
Fossiilinen kaasu kg/a	232 187	232 187	257 986	98 222 376	257 986	257 986	257 986	17 228 807	0
Biokaasu kg/a	25 799	25 799	0	392 889 503	0	0	0	1 914 312	19 143 119
Sähkö kWh/a	0	0	0	0	3 639 738 356	4 447 656 630	0	342 654 731	342 654 731
Vety kg/a	0	0	0	0	0	0	200 569 957	0	0
Pakettiautot									
Fossiilinen bensiini l/a	3 276 583	2 909 376	50 186 571	14 739 885	5 551 430	1 491 795	7 236 886	2 442 093	2 442 093
Fossiilinen diesel l/a	272 892 306	190 362 080	171 475 192	211 977 234	247 328 213	239 390 013	237 098 030	268 181 762	184 757 226
Biodiesel l/a	63 426 906	145 957 132	39 855 066	49 268 740	57 485 180	55 640 147	55 107 433	62 332 059	145 756 595
Etanoli l/a	360 024	724 071	137 783 440	1 619 588	609 980	163 915	795 174	268 332	184 861
Fossiilinen kaasu kg/a	0	0	0	59 523 943	0	0	0	4 822 159	0
Biokaasu kg/a	0	0	0	6 613 771	0	0	0	535 795	5 357 954
Sähkö kWh/a	0	0	0	0	139 756 919	257 481 777	0	14 546 279	14 546 279
Vety kg/a	0	0	0	0	0	0	7 011 392	0	0
Linja-autot									
Fossiilinen bensiini l/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen diesel l/a	143 621 212	100 186 161	125 118 033	127 282 128	135 749 219	129 743 828	136 682 520	126 326 544	87 029 564
Biodiesel l/a	33 381 114	76 816 164	29 080 518	29 583 507	31 551 468	30 155 667	31 768 391	29 361 406	68 658 386
Etanoli l/a	0	0	37 137 575	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen kaasu kg/a	25 094	25 094	27 883	28 264 643	27 883	27 883	27 883	4 716 116	0
Biokaasu kg/a	2 788	2 788	0	3 140 516	0	0	0	524 013	5 240 129
Sähkö kWh/a	0	0	0	0	29 880 287	58 571 338	0	61 538 952	61 538 952
Vety kg/a	0	0	0	0	0	0	2 591 393	0	0
Kuorma-autot									
Fossiilinen bensiini l/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen diesel l/a	1 005 852 759	701 654 898	867 026 380	924 366 217	867 576 877	978 601 214	1 005 852 759	995 111 492	685 557 577
Biodiesel l/a	233 785 003	537 982 863	201 518 326	214 845 520	201 646 276	227 451 071	233 785 003	231 288 467	540 842 382
Etanoli l/a	0	0	222 076 622	0	157 499 211	0	0	0	0
Fossiilinen kaasu kg/a	325 583	325 583	349 772	99 225 338	349 772	349 772	349 772	12 123 988	0
Biokaasu kg/a	24 189	24 189	0	6 217 412	0	0	0	798 146	12 922 134
Sähkö kWh/a	0	0	0	0	0	98 437 007	0	4 055 605	4 055 605
Vety kg/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2030								
Yhteensä									
Fossiilinen bensiini l/a	1 330 185 915	1 181 111 733	1 141 864 350	1 017 035 446	764 547 321	754 276 141	751 899 467	1 236 295 829	1 236 295 829
Fossiilinen diesel l/a	2 288 914 735	1 596 683 234	1 604 447 524	1 657 323 510	1 933 795 572	1 978 820 319	1 983 306 440	2 256 168 256	1 554 331 606
Biodiesel l/a	532 000 268	1 224 231 769	372 913 198	385 202 882	449 461 811	459 926 674	460 969 359	524 389 179	1 226 225 829
Etanoli l/a	147 426 742	296 500 924	1 881 839 144	113 018 421	242 774 764	84 146 977	83 885 833	137 110 295	137 110 295
Fossiilinen kaasu kg/a	582 865	582 865	635 640	285 236 299	635 640	635 640	635 640	38 891 069	0
Biokaasu kg/a	52 775	52 775	0	408 861 202	0	0	0	3 772 267	42 663 336
Sähkö kWh/a	0	0	0	0	3 809 375 561	4 862 146 751	0	422 795 567	422 795 567
Vety kg/a	0	0	0	0	0	0	210 172 742	0	0

Taulukko 18. Energiämäärät (toe) eri skenaarioissa.

Polttoaineet energiana	2030								
	KONV	DROP-IN	FFV	GAS	PHEV	BEV	FCEV	KEHITYS	KEHITYS+BIO
Henkilöautot									
Fossiilinen bensiini toe/a	1 020 504	906 136	839 592	770 849	583 731	578 954	572 708	948 937	948 937
Fossiilinen diesel toe/a	743 028	518 316	377 991	337 579	585 764	541 128	517 624	743 028	511 891
Biodiesel toe/a	164 520	378 591	83 694	74 746	129 699	119 816	114 611	164 520	384 712
Etanoli toe/a	74 819	150 474	755 401	56 673	43 073	42 726	42 272	69 617	78 382
Fossiilinen kaasu toe/a	273	273	303	115 423	303	303	303	20 246	0
Biokaasu toe/a	0	0	0	461 693	0	0	0	3	22 495
Sähkö toe/a	0	0	0	0	313	382	0	29	29
Vety toe/a	0	0	0	0	0	0	575 343	0	0
yhteensä	2 003 144	1 953 790	2 056 981	1 816 964	1 342 884	1 283 310	1 822 861	1 946 381	1 946 447
Pakettiautot									
Fossiilinen bensiini toe/a	2 520	2 238	38 598	11 336	4 270	1 147	5 566	1 878	1 878
Fossiilinen diesel toe/a	233 993	163 227	147 033	181 761	212 073	205 267	203 301	229 954	158 421
Biodiesel toe/a	51 810	119 226	32 556	40 245	46 957	45 450	45 015	50 916	119 062
Etanoli toe/a	183	368	70 096	824	310	83	405	137	94
Fossiilinen kaasu toe/a	0	0	0	69 948	0	0	0	5 667	0
Biokaasu toe/a	0	0	0	7 772	0	0	0	1	6 296
Sähkö toe/a	0	0	0	0	12	22	0	1	1
Vety toe/a	0	0	0	0	0	0	20 112	0	0
yhteensä	288 507	285 059	288 282	311 887	263 622	251 969	274 399	288 554	285 753
Linja-autot									
Fossiilinen bensiini toe/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen diesel toe/a	123 149	85 905	107 283	109 139	116 399	111 250	117 199	108 320	74 624
Biodiesel toe/a	27 267	62 748	23 755	24 165	25 773	24 633	25 950	23 984	56 084
Etanoli toe/a	0	0	18 893	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen kaasu toe/a	29	29	33	33 214	33	33	33	5 542	0
Biokaasu toe/a	0	0	0	3 690	0	0	0	1	6 158
Sähkö toe/a	0	0	0	0	3	5	0	5	5
Vety toe/a	0	0	0	0	0	0	7 434	0	0
yhteensä	150 446	148 682	149 964	170 209	142 207	135 920	150 616	137 852	136 871
Kuorma-autot									
Fossiilinen bensiini toe/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen diesel toe/a	862 475	601 639	743 438	792 604	743 910	839 108	862 475	853 265	587 836
Biodiesel toe/a	190 968	439 453	164 611	175 497	164 715	185 794	190 968	188 929	441 789
Etanoli toe/a	0	0	112 980	0	80 126	0	0	0	0
Fossiilinen kaasu toe/a	383	383	411	116 602	411	411	411	14 247	0
Biokaasu toe/a	0	0	0	7 306	0	0	0	1	15 185
Sähkö toe/a	0	0	0	0	0	8	0	0	0
Vety toe/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0
yhteensä	1 053 826	1 041 474	1 021 439	1 092 009	989 162	1 025 322	1 053 854	1 056 443	1 044 810
Yhteensä									
Fossiilinen bensiini toe/a	1 023 024	908 374	878 189	782 185	588 001	580 102	578 274	950 815	950 815
Fossiilinen diesel toe/a	1 962 645	1 369 087	1 375 744	1 421 083	1 658 146	1 696 753	1 700 600	1 934 567	1 332 772
Biodiesel toe/a	434 566	1 000 017	304 615	314 654	367 144	375 692	376 544	428 349	1 001 646
Etanoli toe/a	75 002	150 842	957 370	57 497	123 510	42 809	42 676	69 754	78 476
Fossiilinen kaasu toe/a	685	685	747	335 187	747	747	747	45 702	0
Biokaasu toe/a	0	0	0	480 462	0	0	0	6	50 135
Sähkö toe/a	0	0	0	0	328	418	0	36	36
Vety toe/a	0	0	0	0	0	0	602 889	0	0
yhteensä	3 495 923	3 429 006	3 516 666	3 391 069	2 737 875	2 696 521	3 301 729	3 429 229	3 413 881
	100 %	98 %	101 %	97 %	78 %	77 %	94 %	98 %	98 %

Taulukko 19. Hiilidioksidipäästöt eri skenaarioissa.

CO ₂ päästöt (tonnia)	2030								
	KONV	DROP-IN	FFV	GAS	PHEV	BEV	FCEV	KEHITYS	KEHITYS+BIO
Henkilöautot, bensiini	3 118 237	2 768 776	2 565 443	2 355 395	1 783 640	1 769 043	1 749 957	2 899 556	2 899 556
Henkilöautot, diesel	2 305 019	1 607 917	1 172 602	1 047 236	1 817 156	1 678 687	1 605 771	2 305 019	1 587 986
Henkilöautot, FFV									
Henkilöautot, GAS	650	650	722	275 023	722	722	722	48 241	0
Henkilöautot, PHEV									
Henkilöautot, BEV									
Henkilöautot, FCEV									
Henkilöautot, yhteensä	5 423 906	4 377 343	3 738 767	3 677 654	3 601 518	3 448 452	3 356 450	5 252 816	4 487 542
vähennemä 2005...2030	-23 %	-38 %	-47 %	-48 %	-49 %	-51 %	-52 %	-26 %	-36 %
Pakettiautot, bensiini	7 700	6 837	117 938	34 639	13 046	3 506	17 007	5 739	5 739
Pakettiautot, diesel	725 894	506 363	456 124	563 859	657 893	636 777	630 681	713 363	491 454
Pakettiautot, FFV									
Pakettiautot, GAS	0	0	0	166 667	0	0	0	13 502	0
Pakettiautot, PHEV									
Pakettiautot, BEV									
Pakettiautot, FCEV									
Pakettiautot, yhteensä	733 594	513 200	574 062	765 165	670 939	640 283	647 687	732 604	497 193
Linja-autot, diesel	382 032	266 495	332 814	338 570	361 093	345 119	363 576	336 029	231 499
Linja-autot, ED95									
Linja-autot, GAS	70	70	78	79 141	78	78	78	13 205	0
Linja-autot, PHEV									
Linja-autot, BEV									
Linja-autot, FCEV									
Linja-autot, yhteensä	382 103	266 565	332 892	417 711	361 171	345 197	363 654	349 234	231 499
Kuorma-autot, diesel	2 675 568	1 866 402	2 306 290	2 458 814	2 307 754	2 603 079	2 675 568	2 646 997	1 823 583
Kuorma-autot, ED95			92 531						
Kuorma-autot, GAS	912	912	979	277 831	979	979	979	33 947	0
Kuorma-autot, PHEV									
Kuorma-autot, BEV									
Kuorma-autot, FCEV									
Kuorma-autot, yhteensä	2 676 480	1 867 314	2 399 800	2 736 645	2 308 734	2 604 059	2 676 548	2 680 944	1 823 583
Yhteensä	9 216 082	7 024 422	7 045 522	7 048 442	6 942 362	7 037 991	7 044 339	9 015 598	7 039 817
vähennemä 2005...2030	-21 %	-40 %	-40 %	-40 %	-41 %	-40 %	-40 %	-23.2 %	-40.0 %

8.3 Autokaluston kustannusarviot

Laskennassa on käytetty taulukkojen 20, 21 ja 22 mukaisia lisähintoja eri ajoneuvoluokan ajoneuvoille. Ne perustuvat lähdeviitteisiin ja markkinoilla olevien autojen hintoihin. Kullekin kustannusolettamalle käytetyt viitteet on esitetty Liitteessä 6.

Taulukko 20: Lisäkustannukset eri käyttövoimavaihtoehtojen autoille, henkilö- ja pakettiautot.

HA	veroton hinta			lisähinnan kehitys (omat arviot)					
	perus	lisäkustannus						€/auto	
	€/auto	€/auto	%	2015	2020	2025	2030	2030	%
tekniikka	2015	2015	%	2015	2020	2025	2030	2030	%
perus	20 000	0	0 %	0	0	0	0	20 000	0 %
FFV (E85)	20 000	0	0 %	0	0	0	0	20 000	0 %
CNG/CBG	22 175	2 175	11 %	2 175	2 000	1 750	1 500	21 500	8 %
hybridi	26 000	6 000	30 %	6 000	5 000	4 000	3 000	23 000	15 %
PHEV-G	34 000	14 000	70 %	14 000	11 000	9 000	7 000	27 000	35 %
PHEV-D	34 000	14 000	70 %	14 000	11 000	9 000	7 000	27 000	35 %
BEV	36 500	16 500	83 %	16 500	14 000	12 000	10 000	30 000	50 %
FCEV	55 000	35 000	175 %	35 000	30 000	23 000	15 000	35 000	75 %
PA	+30% HA kustannuksiin								

Taulukko 21: Lisäkustannukset eri käyttövoimavaihtoehtojen autoille, linja-autot.

tekniikka	veroton hinta			lisähinnan kehitys						hinnan reduktio	
	perus	lisäkustannus						€/auto			
	€/auto	€/auto	%	2015	2020	2025	2030	€	%		
LA diesel	250 000	0	0 %	0	0	0	0				
LA ED95	250 000	0	0 %	0	0	0	0				
LA CNG/CBG	300 000	50 000	20 %	50 000	47 000	45 000	40 000	10 000	-20 %		
LA LNG	320 000	70 000	28 %	70 000	65 000	60 000	55 000	15 000	-21 %		
LA D-HYB	320 000	70 000	28 %	70 000	65 000	60 000	50 000	20 000	-29 %		
LA BEV	500 000	250 000	100 %	250 000	225 000	200 000	150 000	100 000	-40 %		
LA FCEV	1 000 000	700 000	300 %	700 000	550 000	450 000	350 000	350 000	-50 %		

Taulukko 22: Lisäkustannukset eri käyttövoimavaihtoehtojen autoille, kuorma-autot.

auto	tekniikka	veroton hinta			lisähinnan kehitys						hinnan reduktio	
		perus	lisäkustannus						€/auto			
		€/auto	€/auto	%	2015	2020	2025	2030	€	%		
KAIP diesel	100 000	0	0 %	0	0	0	0					
KAIP ED95	100 000	0	0 %	0	0	0	0					
KAIP D-HYB	140 000	50 000	40 %	50 000	45 000	40 000	35 000	15 000	-30 %			
KAIP CNG/CBG	142 500	42 500	43 %	42 500	40 000	37 000	35 000	7 500	-18 %			
KAIP LNG	150 000	50 000	50 %	50 000	47 000	43 000	40 000	10 000	-20 %			
KAIP BEV	280 000	180 000	180 %	180 000	160 000	140 000	100 000	80 000	-44 %			
KAP diesel	150 000	0	0 %	0	0	0	0					
KAP ED95	150 000	0	0 %	0	0	0	0					
KAP CNG/CBG	200 000	50 000	33 %	50 000	45 000	40 000	35 000	15 000	-30 %			
KAP LNG	220 000	70 000	47 %	70 000	65 000	60 000	50 000	20 000	-29 %			

8.4 Jakeluinfrastruktuurin kustannusarviot

Laskennassa on käytetty Taulukon 23 mukaisia kustannuksia eri käyttövoimavaihtoehtojen jakelulaitteille ja -asemille. Ne perustuvat erilliseen osaselvitykseen, jonka teki Ramboll Oy (Liite 4). Tarkemmat, vuosi-identtiset luvut on esitetty liitteessä 6.

Taulukko 23. Kustannusolettamat eri käyttövoimavaihtoehtojen jakelulaitteille ja -asemille.

	Infrastruktuurikustannukset, €/auto			
Tekniikka	2015	2020	2025	2030
Kaasu, minimi	347	347	347	347
Kaasu, maksimi	470	470	470	470
Sähkö, minimi	1700	1020	680	680
Sähkö, maksimi	5500	3300	2200	2200
Vety		1647	1235	1029

Lisäksi siirtokustannusten laskemista varten otettiin lähtökohdaksi kaikkien polttoaineiden siirtokustannukset vuonna 2013, jotka olivat yhteensä noin 129 miljoonaa €. Tätä kustannuserää on sitten lisätty kertoimella 1.3 (30 % nousu) sekä FFV- että CBG -skenaarioissa.

8.5 Polttoaineiden ja jalostamoinvestointien kustannusarviot

8.5.1 Polttoaineiden hinta

Lähtökohtana on, että kaikissa skenaarioissa fossiilisen bensiinin ja dieselin hinnan on oletettu seuraavan IEA:n pitkän aikavälin öljyn keskihintaskenaariota vuodelta 2013. (IEA, World Energy Outlook 2013) Herkkyyskenaarioissa alkupään lähtöarvoa hinnalle on muutettu, mutta pitkän aikavälin trendi seuraa edelleen kyseisen keskihintaskenaarion vuosittaisia muutoksia. Fossiilisen kaasun hinnan nousun on samoin oletettu pitkällä aikavälillä seuraavan IEA:n keskihintaskenaariota EU:n alueelle. Vuoden 2014 hintataso perustuu toteutuneisiin hintoihin. Biopolttoaineiden tuontihinnat on estimoitu VTT:n ja Pöyryn yhteistyöllä perustuen erilliselvitykseen, josta on yhteenveto luvussa 7.

Ulkomaisen uusiutuvan dieselin verottomaksi hinnaksi on arvioitu noin 1400 €/toe lyhyellä aikavälillä ja 1200 €/toe pitkällä aikavälillä. Hinnan oletetaan laskevan vuoteen 2020 mennessä pitkän aikavälin hintatasolle. Ulkomaisen etanolin on arvioitu maksavan lyhyellä aikavälillä verottomana noin 2000 €/toe, mutta hinnan oletetaan laskevan noin 1500 eur/toe tasolle viiden vuoden kuluessa. Pitkällä aikavälillä tuonti etanolin hinnan on arvioitu kuitenkin taas nousevan FFV skenaarioissa kysynnän merkittävän kasvun takia. Vuoteen 2030 mennessä tuontietanolin maksaa taas noin 1700-1900 €/toe. Sähkön tuontihinta riippuu laskennassa sähkön tuonnin muutoksista. Vientihinnat seuraavat taas maailmanmarkkinahintoja pitkällä aikavälillä.

Lopuksi, kotimaisten biopolttoaineiden verottomien hintojen oletetaan riippuvan niiden tuotantokustannuksista. Arviot niistä löytyvät luvusta 6.4 ja 7.2. CBG -skenaarioissa biokaasua on arvioitu tarvittavan niin paljon pitkällä aikavälillä, että sitä tehtäisiin myös puupohjaisesti. Taulukko 24 tiivistää merkittävimmät uusiutuvien polttoaineiden hintaoletukset pitkälle aikavälille.

Euroopan Komission arvioiden mukaisesti päästöoikeuksien on arvioitu maksavan noin 30-40 euroa per CO₂ -tonni pitkällä aikavälillä perusurassa.⁷² Varsinaisissa teknologiaskenaarioissa

⁷² European Commission, 2013, "EU energy, transport and GHG emissions: Trends to 2050, reference scenario 2013", p. 33.

rioissa ei kuitenkaan oletettu, että liikenteen päästöjä koetettaisiin vähentää päästöoikeuksia ostamalla.

Taulukko 24: Uusiutuvien polttoaineiden verottomien hintojen oletukset pitkällä aikavälillä (sisältää uuden teknologian investointiavustusten kolmelle ensimmäiselle laitokselle)

	Tuontihinta €/toe	Kotimainen tuotantokustannus, €/toe
Uusiutuva diesel	1200	1000
Etanoli (2G)	1500	1500
Biokaasu (puupohjainen)	Ei tuontia	1000
Vety	Ei tuontia	n. 5 €/kg ⁷³

8.5.2 Jalostamoinvestointien kustannusarviot

Puuperusteisia uusiutuvan dieselin ja puuetanolin tuotantolaitoksia arvioidaan rakennettavan Suomeen maksimissaan 10 kappaletta tarkasteluajanjaksona. Niiden arvioidut investointikustannukset perustuvat Pöyryn tekemään erillisselvitykseen. Käytetyt investointiarviot pohjautuvat näihin toteutettavissa oleviin laitospotentiaaleihin, jotka on esitelty luvussa 7.2, mutta toisaalta myös eri polttoainetyyppien kokonaiskysyntään kussakin skenaariossa. ”Drop-in” skenaariossa etanolin kysyntä täytetään tuontietanolilla luvun 7.2 tietojen mukaisesti. ”FFV” skenaarioissa taas drop-in -polttoaineiden kysyntä on vähäisempää kuin sen kotimainen tuotantopotentiaali, joten osa mahdollisista investoinneista uusiutuvaan dieseliin jää toteuttamatta. Kuvio 27 näyttää kokonaisinvestoinnit uusiin laitoksiin kussakin skenaariossa kokonaisuuudessaan vuoteen 2030 mennessä. Uudet investoinnit on tasoitettu ajallisesti niin, että investointikustannukset kustakin laitoksesta toteutuvat muutamina vuosina ennen laitoksen valmistumista riippuen laitoksen koosta.

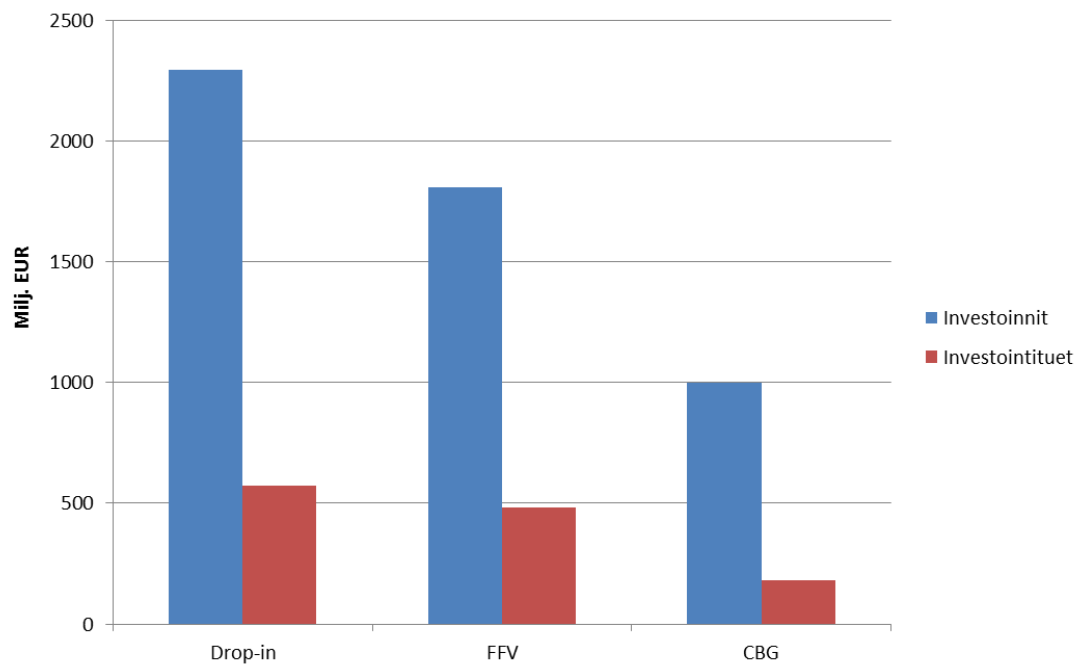
”Biokaasu” (CBG) -skenaariossa oletetaan, että kaikki tarvittava biokaasu valmistetaan kotimaassa. Tämä aiheuttaa vuoteen 2030 mennessä tarpeen yli kolmelle suunnitellun Joutsenon tuotantolaitoksen kokoiselle biokaasun tuotantoyksikölle. Koska tämä investointitarve on suurempi kuin tämän hetkiset suunnitelmat lisätuotantolaitoksista, on oletettu, että investointikustannukset seuraavat Joutsenon suunnitellun laitoksen arvioituja investointikustannuksia per MWh. Investointikustannusten oletetaan laskevan hieman yliajan.

”Vety” (FCEV) -skenaariossa on myös estimoitu tulevat investointikustannukset, koska tarvittavan vedyn määrä liikennekäyttöön on moninkertainen verrattuna nykyisistä laitoksista liikevään kapasiteettiin. Investointikustannusten oletetaan seuraavan Woikoski Oy:n viimeisimmän, Kokkolan, vetylaitoksen kokonaisinvestointikustannuksia (yht. 10 milj. €⁷⁴) suhteutettuna kapasiteettiin. Investointikustannuksia lasketaan myös tässä skenaariossa reaalisesti yliajan. Vety eli FCEV -skenaariossa uusia investointeja liikenne vedyn tuotantoon on arvioitu toteutuvan noin 1000 milj. euron arvosta vuoteen 2030 asti.

Kuvio 27 näyttää myös julkiset investointituet, jotka arvioidaan tarvittavan uusien jalostamoinvestointien toteutumiseen. Biopolttoaineiden kohdalla investointitukiarviot pohjautuvat luvussa 7.2 esiteltyihin arvioihin suhteutettuna uusien laitosten lopulliseen investointimäärään. Biokaasun ja vedyn kohdalla investointitukien tarve on arvioitu VATTAGE -mallin avulla. Koska biopolttoaineiden jalostamoinvestoinnit pohjautuvat useassa laitoksessa uudenlaiseen teknologiaan, on niihin tarvittavan tuen määrä suhteellisesti korkeampi kuin biokaasu ja vetylaitoksissa, joissa nykytekniikan avulla voidaan rakentaa lisää samantyyllisiä laitoksia.

⁷³ Lähde: <http://www.taloustaito.fi/Teemat/Auto/Autoilu-ja-liikenne/Woikoski-teki-tankkausaseman-vetyautoille/>

⁷⁴ <http://www.woikoski.fi/fi/articles/euroopan-suurin-elektrolyysimenetelm%C3%A4%C3%A4-k%C3%A4ytt%C3%A4v%C3%A4-vetytehdas-avattu-kokkolassa>



Kuvio 27: Oletukset kokonaisinvestoinneista ja investointituista kumulatiivisesti

9. VATTAGE laskenta

- Liikenteen uusiutuvien polttoaineiden kansantaloudellisia vaikutuksia laskettiin 9 eri skenaarion avulla, joissa kaikissa luotiin 40 % vähenemä liikenteen CO₂-päästöihin vuonna 2030 verrattuna vuoteen 2005.
- Kaikki skenaariot ovat julkisen velan kannalta neutraaleita, eli merkittävät kasvut julkisissa menoissa tai verovähennykset fossiilisten polttoaineiden kysynnän laskusta joutuessa korvataan nostamalla muita veroja.
- Kansantalouden kannalta kustannustehokkaimmat tavat vähentää CO₂-päästöjä lyhyellä aikavälillä sisältävät merkittäviä uusia investointeja kotimaisten drop-in polttoaineiden ja biokaasun tuotantoon. Niiden perusteella myös kotimainen tuotanto nousee.
- Skenaarioille tehtiin herkkyystarkasteluja pääoletuksien osalta, mutta suurelta osin muutokset oletuksissa eivät muuta edellistä johtopäätöstä.
- Sähköautojen kohtuullinen yleistyminen myöhemmin, noin kymmenen vuoden kuluttua, aiheuttaisi vain vähäisiä lisäkustannuksia verrattuna niiden lyhyen aikavälin kansantaloudellisiin vaikutuksiin.
- Skenaarioiden erot ja tarkat oletukset löytyvät taulukoista 25 ja 26.

9.1 Skenaariot ja laskentatapa

Uudentyyppisten polttoaineiden ja moottorikonseptien käyttöönoton vaikutuksia kansantaloudelle tutkitaan tässä tutkimuksessa kokonaistaloudellisten vaikutusten perusteella. Kaikissa skenaarioissa tuloksia verrataan ”perusskenaarioon”, jossa CO₂-päästöjä vähennetään biopolttoaineiden sekoitusvelvoitteen ja energiatehokkuuden tehostumisella jo noin 20 prosenttia vuoden 2005 tasosta. Perusskenaariossa on oletettu, että biopolttoaineet tuodaan Suomeen suurimmaksi osaksi tuontina. Täten kukin ”teknologiaskenaario” (tai toteutusskenaario) kertoo, minkälaisia vaikutuksia kansantaloudelle tulisi, mikäli CO₂-päästöjä vähennettäisiin perusskenaariota vähennysten lisäksi erityyppisillä teknologisilla vaihtoehdoilla 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä.

Kansantaloutta koskevissa tarkasteluissa luotiin eräille teknologiaskenaarioille myös alaskenaarioita riippuen mm. polttoaineiden tuonnista vs. kotimaisuudesta, investoinneista ja jakelijärjestelmän kustannusten olettamista. Taulukossa 25 on eritelty nämä kaikki, ja mainittu myös tärkein rajoittava tekijä sille, miten pitkälle ko. teknologiaskenaario ja kehityspolku ovat mahdollisia, eli miksi taloutta kuvaavissa kuvioissa ehjä viiva muuttuu katkoviivaksi.

Suurin osa näistä skenaarioista ei ole käytännössä itsekseen kovin todennäköisiä teknologisesti näkökulmasta. Todellisuudessa on oletettavampaa, että kutakin teknologiaa tulisi käytöön jonkin verran. Kyseiset skenaariot kuitenkin näyttävät, mihin asti kutakin teknologiaa olisi talouden kannalta kannattavaa jatkaa ja skenaarioiden tulokset ovat vertailukelpoisia samansuuruisen pitkän aikavälin päästövähennyksen ansionsa.

Laskelmat on tehty yleisen tasapainon VATTAGE -mallilla. Liite 5 sisältää tarkempia tietoja kyseisestä yleisen tasapainon mallista, sen toimintamekanismeista ja oletuksista. Kunkin skenaarion tärkeimmät mallinusoletukset on listattu taulukkoon 26 ja kussakin niistä siis vähennetään CO₂-päästöjä pitkällä aikavälillä (2030 vuoteen mennessä) 40 % vuoden 2005 tasosta. Kaikkiin skenaarioihin on koetettu identifioida niihin liittyvät suurimmat muutokset koko arvonalisäketjussa, aloittaen polttoaineiden tuotannosta ja päättyen kuluttajien kysyntämääriin ja heidän kohtaamiinsa hintoihin. Eri teknologioiden lisäksi kansantaloudellisten vaikutusten kannalta merkittävimmät oletukset on jaoteltu omiksi skenaarioikseen. Esimerkiksi uusien biopolttoaineiden tuonti ulkomailta luo hyvin erilaisen vaikutuksen kansantalouteen kuin kyseisten polttoaineiden tuottaminen kotimaassa.

Taulukko 25. Kansantalouseläskelmissä tarkastellut teknologiaskenaariot

#	LYHENNE	KUVAUS	PÄÄRAJOITE TOTEUTUMISELLE	MAHD. CO ₂ VÄHENEMÄ
1	DROP-IN, tuonti	DROP-IN-skenaario, polttoaineet tuontia	Ei rajoitetta	40%
2	DROP-IN, investointeja	DROP-IN-skenaario, investointeja kotimaiseen drop-in tuotantoon	Ei rajoitetta	40%
3	FFV, tuonti	FFV-skenaario, polttoaineet tuontia	FFV-automäärä	noin 9%
4	FFV, investointeja	FFV-skenaario, investointeja kotimaiseen etanolituotantoon	FFV-automäärä	noin 9%
5	CBG	CBG-skenaario	Kaasuautojen määrä	noin 10%
6	PHEV	PHEV-skenaario	PHEV-autojen määrä	noin 12%
7	BEV, min	BEV-skenaario, minimikustannukset latausinfraassa	Akkusähköautojen (BEV) määrä	noin 11 %
8	BEV, max	BEV-skenaario, maksimikustannukset latausinfraassa	Akkusähköautojen (BEV) määrä	noin 11 %
9	FCEV	FCEV-skenaario	Polttokennosähköautojen (FCEV) määrä	noin 10 %

Tutkimusmetodinä käytetään yleisen tasapainon mallinnusta, jotta saadaan laskettua kaikissa skenaarioissa sekä eri toimijoille kohdistuvat suorat kustannukset että näiden suorien kustannusten kerrannaisvaikutukset kansantaloudessa yhteen ja muodostettua näkemys koko kansantalouden kannalta parhaista tavoista vähentää liikenteen päästöjä. Teknologiaskenaarioiden pelkät suorat kustannukset eivät kerro lopullista kuvaa eri toimijoille kohdistuvista kustannuksista, koska ne eivät sisällä laskelmia epäsuorista vaikutuksista ja niiden kerrannaisvaikutuksista. Skenaarioissa suoria kustannuksia kohdistuu kuluttajille ja yrityksille varsinkin uuden tyyppisten autojen hankinnoista ja uusista polttoaineista, sekä yrityksille näiden lisäksi myös tarvittavista lisäinvestoinneista polttoaineiden jakeluinfrastruktuuriin. Lisäksi yritysten on oletettu investoivan uudentyyppisten polttoaineiden tuotantoon.

Julkinen sektori tukee näitä uusia laitosinvestointeja julkisilla investointituilla, mutta **kaikki skenaariot on laskettu julkisen talouden kannalta budjettineutraalisti**. Tämä tarkoittaa, että mikäli skenaarioissa julkiset menot kasvavat merkittävästi tai verotulot laskevat, verotusta nostaa (muiden) hyödykkeiden verotusta, jotta kokonaisverotulot eivät laske ja julkinen velka ei nouse. Koska monien uusien biopolttoaineiden kokonaisverotus on tällä hetkellä suhteellisesti alhaisemmalla tasolla kuin fossiilisissa polttoaineissa, nousee tällainen tarve verotuksen muuttamiseen useassa skenaariossa. Lisäksi nousevien julkisten investointitukien takia verotusta on osassa skenaarioista tarvetta nostaa, jotta julkinen velka ei kasvaisi. Nämä mekanismit voivat siis vaikuttaa skenaarioiden tuloksiin pääoletusten lisäksi. Ilmasto- ja fiskaalipolitiikan Suomessa ja muualla maailmassa oletetaan pysyvän muuten muuttamattomana, jotta saamme laskettua vain edellä mainituista liikenteeseen liittyvistä muutoksista aiheutuvat vaikutukset taloudessa.

Taulukko 26: Kansantaloudellisten skenaarioiden pääoletukset ja suorista kustannuksista aiheutuvat shokit (& oletusten lähteet)

Skenaario	Investointeja uusiin laitoksiin	Muutoksia polttoaineen jakelukustannuksissa	Lisäinvestointeja jake-lupisteisiin	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

Kaikissa skenaarioissa edellä mainituista suorista, uusista kustannuksista seuraa lisäksi epäsuoria vaikutuksia talouteen. Esimerkiksi, mikäli yritysten tuotantokustannukset nousevat kalliimpien auto- ja investointikustannusten takia, joutuvat he usein nostamaan tuotteidensa ja palveluidensa hintoja. Hintojen nousu voi vähentää kuluttajien kysyntää kyseisille tuotteille ja tämä kysynnän lasku vaikuttaa taas yritysten tuotantomääriin. Mikäli edellä mainittu kysynnän vähentyminen laskee lisäksi valtion verotuloja merkittävästi, voi valtio joutua nostamaan muiden verojen tasoa. Tällainen veromuutos vähentää kyseisten tuotteiden kysyntää vielä enemmän, koska kuluttajien ostovoima on laskenut. Seuraavissa skenaarioissa on useita samanaikaisia, merkittäviä muutoksia talouden toimijoiden suoriin kustannuksiin, joten pelkästään kyseiset suorat lisäkustannukset eivät anna hyvää kuvaa edes erillisten toimijoiden lopullisista kustannuksista saati koko kansantalouden tasolla tapahtuvista muutoksista.

VATTAGE -mallin avulla saadaan laskettua kaikkien talouden suorien ja epäsuorien muutosten vaikutukset yhteen.

Tarkastelussa nestemäisiä biopolttoaineita oletetaan tuotavan Suomeen tai sitten niitä tuotetaan Suomessa, joko tuontiraaka-aineista tai kotimaisista raaka-aineista. Biokaasun ja vedyn oletetaan aina olevan kotimaista, ja kotimaisista raaka-aineesta valmistettua. Täten kullekin pääskenaariolle tulee alaskenaarioita. Kotimaassa jalostetun fossiilisen bensiinin ja dieselin tuotannon odotetaan suuntautuvan enenemässä määrin vientiin alan toimijoiden arvion mukaisesti, mikäli kyseisten hyödykkeiden kysyntä laskee Suomessa. Nykyisen ja arvioidun tulevaisuuden kotimaisen autotuotannon pohjalta oletetaan, että suurin osa henkilöautoista tuodaan Suomeen ulkomailta. Sen sijaan erityisesti sähköbussuja odotetaan valmistettavan myös kotimaassa, mikäli niille on kysyntää.

Skenaariot sisältävät yksinkertaistettuna seuraavat pääelementit (katso taulukosta 23 tarkempia tietoja ja oletusten lähde):

1. **Drop-in tuonti:** Fossiilisen dieselin ja bensiinin käyttöä korvataan erityisesti ulkomaisella uusiutuvalla dieselillä ja E10 bensiinillä. Autojen hinnoissa, polttoaineiden tuotannossa ja jakeluinfrastruktuurissa ei ole muutoksia.
2. **Drop-in investointeja:** Fossiilisen dieselin ja bensiinin käyttöä korvataan sekä kotimaisella että ulkomaisella uusiutuvalla dieselillä. Kotimaiseen drop-in polttoaineiden tuotantoon laitetaan merkittäviä investointeja julkisten investointien riskitukien avulla ja niiden tuotanto nousee. Autojen hinnoissa ja jakeluinfrastruktuurissa ei ole muutoksia.
3. **FFV, tuonti:** Fossiilisen dieselin ja bensiinin käyttöä korvataan erityisesti ulkomaisella etanolilla. Polttoaineen jakelukustannukset nousevat 30 prosenttia aikaisemmasta. Autojen hinnoissa, polttoaineiden tuotannossa ja jakeluinfrastruktuurissa ei ole muutoksia.
4. **FFV investointeja:** Fossiilisen dieselin ja bensiinin käyttöä korvataan erityisesti sekä kotimaisella että ulkomaisella etanolilla. Kotimaisen etanolin tuotantoon laitetaan merkittäviä investointeja julkisten investointien riskitukien avulla ja kyseinen tuotanto nousee. Polttoaineen jakelukustannukset nousevat 30 prosenttia aikaisemmasta. Autojen hinnoissa ja jakeluinfrastruktuurissa ei ole muutoksia.
5. **CBG (biokaasu):** Fossiilisen dieselin ja bensiinin käyttöä korvataan kotimaisella biokaasulla ja fossiilisella kaasulla. Kotimaisen biokaasun tuotantoon laitetaan merkittäviä investointeja julkisten tukien avulla ja kyseinen tuotanto nousee. Polttoaineen jakelukustannukset nousevat 20 prosenttia aikaisemmasta ja autojen keskihinta jonkin verran. Jakeluinfrastruktuuriin tulee lisäkustannuksia uusista jakeluasemista ja pisteistä.

6. **PHEV** (plug-in hybridiautoja): Fossiilisia polttoaineita korvataan plug-in hybridiautojen avulla sähköllä. Autojen keskihinta nousee merkittävästi. Polttoaineiden tuotannossa ja jakeluinfrastruktuurissa ei ole muutoksia.
7. **BEV, min** (sähköautoja): Fossiilisia polttoaineita korvataan täyssähköautojen avulla sähköllä. Jakeluinfrastruktuuriin tulee lisäkustannuksia uusista jakeluasemista ja pisteistä Rambollin arvioimien minimikustannusten perusteella. Uusi jakeluinfrastruktuuri on suurelta osin kotimaista elektroniikkatuotantoa. Autojen keskihinta nousee merkittävästi. Polttoaineiden tuotannossa ja jakelukustannuksissa ei ole muutoksia. Kotilaitaus yleistyy.
8. **BEV, max** (sähköautoja): Fossiilisia polttoaineita korvataan täyssähköautojen avulla sähköllä. Jakeluinfrastruktuuriin tulee lisäkustannuksia uusista jakeluasemista ja pisteistä Rambollin arvioimien maksimikustannusten perusteella. Uusi jakeluinfrastruktuuri on suurelta osin kotimaista elektroniikkatuotantoa. Autojen keskihinta nousee merkittävästi. Polttoaineiden tuotannossa ja jakelukustannuksissa ei ole muutoksia.
9. **FCEV** (vetyautoja): Fossiilisia polttoaineita korvataan kotimaisella vedyllä. Kotimaisen vedyn tuotantoon laitetaan merkittäviä investointeja julkisten tukien avulla ja kyseinen tuotanto nousee. Autojen keskihinta nousee erittäin merkittävästi. Jakeluinfrastruktuuriin tulee suuria lisäkustannuksia uusista jakeluasemista ja pisteistä. Jakelukustannuksissa ei ole muutoksia.

Skenaarioissa vaikutukset kansantuotteeseen syntyvät erityisesti suorista vaikutuksista yksityiseen kulutukseen, investointeihin ja tuotantoon. Lisäksi epäsuorat verovaikutukset vaikuttavat kokonaiskysyntään joissakin skenaariossa, mikäli kulutusveroja joudutaan nostamaan merkittävästi, kun fossiilisista polttoaineista saadut verotulot laskevat. Tuotantoon ja investointeihin liittyy myös työllistäviä vaikutuksia sekä itse tuotantotoimialalla että kyseisten tuotteiden kotimaisissa raaka-aineen hankintaketjuissa. Ulkomaisten polttoaineiden hinnan nousu taas laskee kansantuotetta samoin kuin tuonnin kasvu yleensä, jonka takia biopolttoaineiden tuotantopaikka vaikuttaa tuloksiin merkittävästi samoin kuin (tuotujen) autojen keskimääräinen hinnan nousu. Toisaalta myös uusille investoinneille suunnatut julkiset tuet vaikuttavat julkisiin tuloihin ja veroprosenttiin, ja samalla kuluttajien ostovoimaan ja kysyntään. Laatikko 1 avaa tarkemmin bruttokansantuotteen (BKT) määritelmää sekä siihen ja työllisyyteen vaikuttavia tekijöitä seuraavissa skenaarioissa.

Laatikko 1: Bruttokansantuote- (BKT) ja työllisyysvaikutukset

Bruttokansantuotevaikutukset mittaavat kotimaassa syntyneen arvonlisäyksen muutoksia. Arvonlisäyksellä tarkoitetaan tuotannon muutoksia vähennettynä välituotekäytöllä*, jotta tuotantoon käytettyjä välituotteita ei lasketa yhteen moneen kertaan. Laskennallisesti bruttokansantuote saadaan laskemalla yhteen yksityinen kysyntä, investoinnit, julkinen kysyntä ja vienti, sekä vähentämällä tästä tuonnin arvo. BKT siis nousee, jos yksityinen kysyntä, investoinnit, julkinen kysyntä tai vienti kasvaa. Mikäli tuonti kasvaa, tämä taas laskee bruttokansantuotetta.

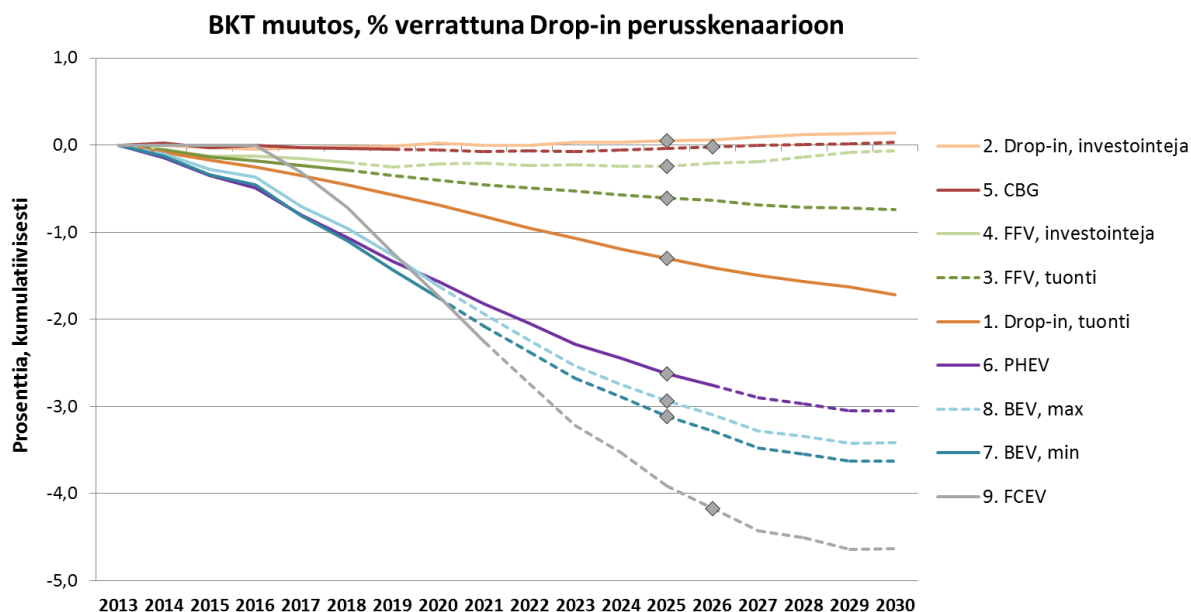
Työllisyysvaikutukset määräytyvät yleisen tasapainon malleissa työn kysynnän ja tarjonnan perusteella. Seuraavissa skenaarioissa työllisyysvaikutukset riippuvat erityisesti muutoksista työn kysynnässä. Varsinkin yritysten kustannusten nousu autojen hintojen tai polttoaineiden kallistuessa laskevat työn kysyntää. Lisäksi muutokset tuotteiden kysynnässä (sekä yksityisessä että julkisessa) vaikuttavat työn kysyntään, koska tuotteiden kysyntä vaikuttaa tuotannon määrään pitkällä aikavälillä. Ostovoiman muutokset useassa skenaariossa vaikuttavat taas työn tarjontaan, sitä kautta reaali-palkkoihin ja edelleen työn kysyntään.

* Tuotannon arvoon lisätään myös tuoteverot ja vähennetään tuotetukipalkkiot, jotta päästään lopulliseen bruttokansantuotteeseen.

Kunkin skenaarion vaikutuksista raportoidaan muutokset bruttokansantuotteessa, kulutus- kysynnässä, työllisyydessä ja investoinneissa verrattuna perusskenaarioon kumulatiivisesti, eli yhteenlaskettuna yli ajan. Koko yhteiskunnan kustannuksia arvioidaan siis arvonlisämuu- tostien (bruttokansantuotteen muutosten) avulla, kun taas kulutuskysynnän ja työllisyyden muutoksien avulla kuvataan suurimpia kuluttajien kohtaamia vaikutuksia. Yrityksiin ja heidän tuotantonsa vaikuttavat myös erityisesti kulutuskysynnän muutokset sekä muutokset inves- toinneissa. Jokaisesta skenaariosta on laskettu lisäksi arvonlisäyksen ja yksityisen kulutuk- sen muutos euromääräisesti suhteutettuna CO₂ -päästöjen lisävähennykseen perusskena- rioon verrattuna. Lopuksi, luvussa 9.3 on tutkittu herkkyydestarkastelujen avulla, miten herkkiä tulokset ovat muutoksille skenaarioiden oletuksissa.

9.2 Tulokset

Kuvio 28 näyttää kunkin skenaarion vaikutukset bruttokansantuotteeseen kumulatiivisesti verrattuna perusskenaarioon. Yhtenäiset viivat osoittavat, mihin asti kukin skenario on käy- tännössä mahdollinen teknologioiden nykyiseen yleistymiseen ja odotettuun teknologiseen kehitykseen verrattuna. Katkoviivojen kohdalla kukin skenario alkaa olla jo ylittänyt käytän- nön toteutumismahdollisuutensa. Vetyautoskenariosta (9. skenario) tulee huomata, että vetyautoja ei ole oletettu olevan lainkaan käytössä kyseisessä skenaariossa ennen vuotta 2017, koska niiden laajamittainen valmistus ei ole vielä alkanut. Salmiakkikuviot kussakin skenaariossa näyttävät sen vuoden, jolloin CO₂ -päästöjä on vähennetty yhteensä noin 30 prosenttia vuoteen 2005 verrattuna.



Kuvio 28: Vaikutukset bruttokansantuotteeseen eri skenaarioissa⁷⁵ (♦ = 30% vähennys saavutettu)

Skenaaroiden vaikutuksessa arvonlisäykseen on suuria eroja. Skenaarioissa, jotka sisältävät merkittäviä uusia investointeja kotimaahan ja kotimaiseen tuotantoon ilman suuria muutoksia autojen keskihintaan (2., 4. ja 5. skenario), arvonlisäys laskee maksimissaan noin 0.2 prosenttia perusskenaarioon verrattuna kumulatiivisesti. Samaan aikaan, niissä skenaarios- sa, joissa autojen keskihinta nousee merkittävästi, mutta kotimaisen tuotannon määrä vä- hemmän, arvonlisäys laskee yhteensä useita prosentteja perusskenaarioon verrattuna pitkä-

⁷⁵ Katkoviivojen kohdalla kussakin skenaariossa on käytössä sellainen automäärä tai polttoainemäärä, joka ei ole kyseisten teknologioiden nykyisistä lähtökohdista kovin todennäköinen. Kunkin skenario on käytännössä todennäköinen vain siihen asti missä katkoviivoitus alkaa. Taulukko 25 ilmaisee, mikä on rajoittava tekijä.

lä aikavälillä. Vertailuksi, perusskenaariossa BKT:n reaalin taso nousee kumulatiivisesti vuoteen 2030 mennessä noin 40 prosenttia vuodesta 2014.

Skenaarioissa kotitalouksien kulutuksen ja kokonaisinvestointien muutokset vaikuttavat yleensä eniten arvonlisäyksen muutokseen. Ulkomaankaupan määrän muutokset taas nousevat tai laskevat arvonlisäystä nettomääräisesti vain vähän useimmissa skenaarioissa. Julkinen kulutus ei oletusten mukaisesti muutu. Toisaalta, verotuksen muutokset vaikuttavat kysyntään ja sitä kautta arvonlisäykseen useassa skenaariossa myös merkittävästi.

Biopolttoaineiden (yhteensopivien eli ”drop-in” tuotteiden ja FFV/korkeaseosetanoli) tuonti skenaarioissa tuonnin lisääntyminen ja kulutuskysynnän lasku laskevat arvonlisäystä. Tämän takia ensimmäinen ja kolmas skenaario vaikuttavat pitkällä aikavälillä negatiivisemmin arvonlisäykseen kuin toinen ja neljäs skenaario, joissa uusia biopolttoaineita tuotetaan kotimaassa ja investoinnit tuotantoon nousevat julkisten investointitukien avulla. Drop-in tuonti -skenaariossa (1. skenaario) bensiinin ja dieselin kysynnän muutokset aiheuttavat lisäksi isomman vähennyksen valtion verotuloihin kuin FFV tuonti -skenaariossa (3. skenaario). Tästä syystä kulutusveroja nostetaan ensimmäisessä skenaariossa enemmän kuin kolmannessa, ja kokonaiskysyntä laskee samaan tapaan voimakkaammin Drop-in tuonti -skenaariossa.

Sähköautoihin liittyvissä skenaarioissa (PHEV, BEV min ja BEV max) ostovoiman vähentyminen ja sen mukainen kokonaiskysynnän lasku aiheuttavat kuviossa 28 näkyvät negatiiviset vaikutukset arvonlisäykseen pitkällä aikavälillä. Kyseisten autotyyppien kysyntä nousee niiden hintaeron pienentyessä verrattuna nykyisiin ”perusautoihin”, mutta ne pysyvät pitkälläkin aikavälillä useita tuhansia euroja kalliimpina kuin nykyiset perusmallit, jonka takia kuluttajien ostovoima ja muiden tuotteiden kysyntä laskee näissä skenaarioissa. Kun lisäksi verotuksen kannalta kaikkia polttoaineita kohdellaan samanarvoisesti, joudutaan sähkön ja muiden hyödykkeiden kulutusverotusta nostamaan näissä skenaarioissa, koska verotulot bensiinin ja dieselin myynnistä laskevat huomattavasti. Sähköautojen käyttämien jakelupisteiden odotetaan olevan suurimmalta osin kotimaista tuotantoa. Tämän takia kalliimmat investoinnit jakelupisteisiin BEV max -skenaariossa johtavat hieman vähemmän negatiiviseen arvonlisäysvaikutukseen kuin halvemmat investoinnit BEV min -skenaariossa. Kuten herkkyysskenaariot seuraavassa osiossa näyttävät, mikäli PHEV ja täyssähköautojen hintaero perusautoihin laskee tulevaisuudessa, niiden avulla voisi laskea liikenteen päästöjä pienemmällä kansantaloudellisilla kustannuksilla. Sähkön kysyntä ja sen hinta ei muutu merkittävästi BEV skenaarioissa.

Verrattuna Gaian (2015)⁷⁶ arvioihin sähköisen liikenteen vaikutuksista talouteen, skenaariot 6-8 tuovat näkyviin sähköautoihin liittyvien suorien kustannusten lisäksi myös niiden lisääntyvää käytöstä johtuvat epäsuorat ja kerrannaisvaikutukset taloudessa. Osiossa 9.1 on selvennetty, minkä takia näin laajojen talouden rakenteellisten muutosten pelkät suorat kustannukset eivät luo tarkkaa kuvaa koko yhteiskunnan kustannuksista. Lisäksi, VATTAGE laskelmat ovat dynaamisia, kun Gaia on arvioinut vain staattisia vaikutuksia.⁷⁷ Laskelmien taustalla olevat arvot täyssähköautojen hintaerosta nykyisiin perusautomalleihin vuonna 2030 ovat myös hyvin erilaisia. Kuten osiossa 8.4 kuvataan, BEV min ja BEV max skenaarioissa on oletettu, että täyssähköautot ovat vuonna 2030 edelleen noin 10 000 euroa kalliimpia kuin tämänhetkiset perusautomallit. Herkkyysskenaariossa osiossa 9.3 on oletettu, että tämä hintaero poistuu kokonaan vuoteen 2030, eli täyssähköautot ovat samanhintaisia kuin nykyiset perusautomallit. Gaia (2015, s. 8) on oletanut, että täyssähköautot ovat noin 1000 euroa

⁷⁶ http://www.gaia.fi/files/984/Sahkoisen_liikenteen_dynaamiset_vaikutukset_-_loppuraportti_2015.pdf

⁷⁷ Gaian laskelmat perustuvat oletukseen, että kaikki talouden muutokset tapahtuvat yhden yön aikana, eli niihin liittyviä dynaamisia vaikutuksia hinnoissa ja talouden rakenteessa ei oteta laisinkaan huomioon. Lisäksi, heidän kassavirtamallinsa ei ota huomioon mitään talouden kerrannaisvaikutuksista, joita on kuvattu esimerkiksi osiossa 9.1. (Gaia, 2015, s. 59) VATTAGE laskennassa hyvin merkittäviä epäsuoria vaikutuksia nousee mm. tarpeesta nostaa verotusta sähköautoskenaarioissa, jotta julkinen velka ei nousisi. Gaia (2015) on samoin arvioinut, että valtiolle koituisi hyvin merkittäviä negatiivisia vaikutuksia täyssähköautojen lisääntyvää käytöstä. He eivät kuitenkaan korjaa tätä muutosta julkisen talouden tasapainossa, joten heidän arvionsa perustuu käytännössä siihen oletukseen, että valtion tulojen muutos rahoitetaan vähintään osittain lisävelalla.

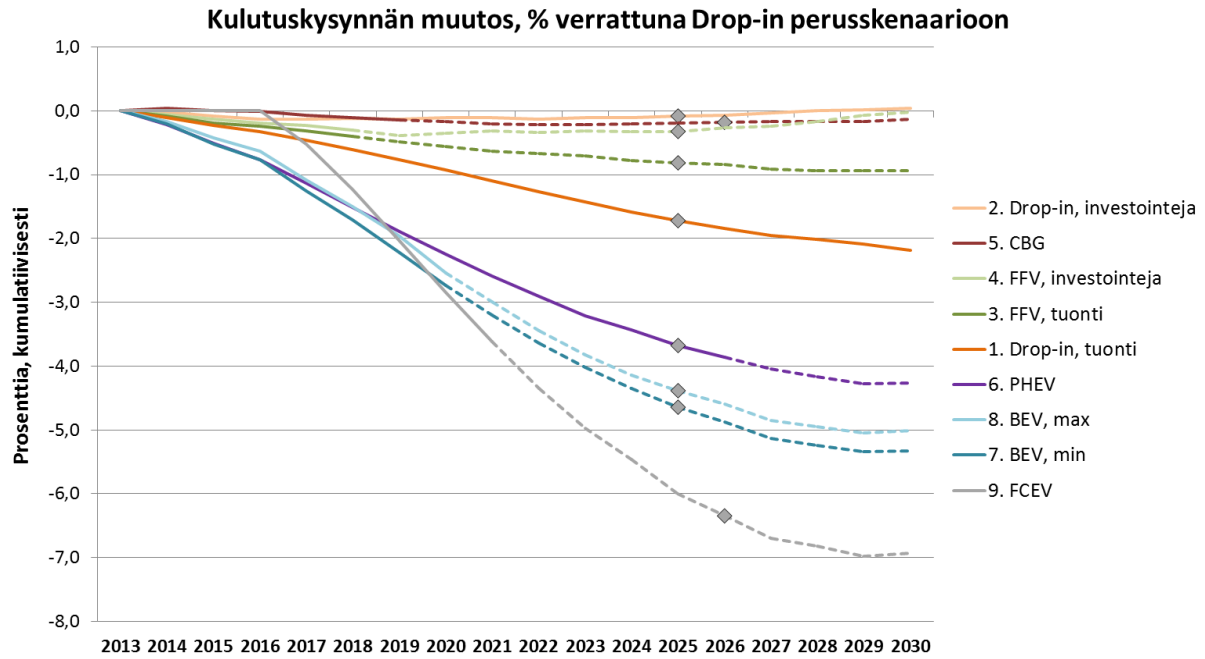
halvempia kuin bensiini- ja dieselkäyttöiset autot vuonna 2030. Herkkyysskenaariot osiossa 9.3 antavat kuvan näiden oletusten merkityksestä laskennan lopputuloksen kannalta.

Vaikka vetyskenaariossa tulee myös merkittäviä lisäinvestointeja vedyn tuottamiseen Suomessa, jää tästä aiheutuva positiivinen vaikutus muiden vaikutusmekanismien varjoon kyseisessä skenaariossa. Vetyautojen hintaero nykyiseen autokantaan keskimäärin on suurempi kuin muilla ”uusilla autotyypeillä” ja kyseisen hintaeron odotetaan pysyvän edelleen vuonna 2030 merkittävänä, vaikka se laskeekin yli ajan. Mikäli vetyautot yleistyvät selvästi nykyisestään, niiden hinnasta johtuva lisäkustannus kuluttajille ja yrityksille laskee muiden hyödykkeiden kulutuskysyntää merkittävästi pitkällä aikavälillä. Juuri tämä kulutuskysynnän muutos, joka näkyy kuvioissa 29, vaikuttaa eniten arvonlisäyksen muutokseen vetyautoskenaariossa. Vaikka investoinnit vedyn tuotantoon kasvavat samaan aikaan, laskevat myös investoinnit kokonaisuudessaan kyseisessä skenaariossa. Yritysten kustannukset nousevat autojen hinnan mukana ja merkittävät investoinnit vedyn tuotantoon nostavat muiden investointien hintaa, kun pääomia kiinnittyy vetyinvestointeihin. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta vetyskenaariossa arvonlisäys laskee eniten verrattuna perusskenaarioon.

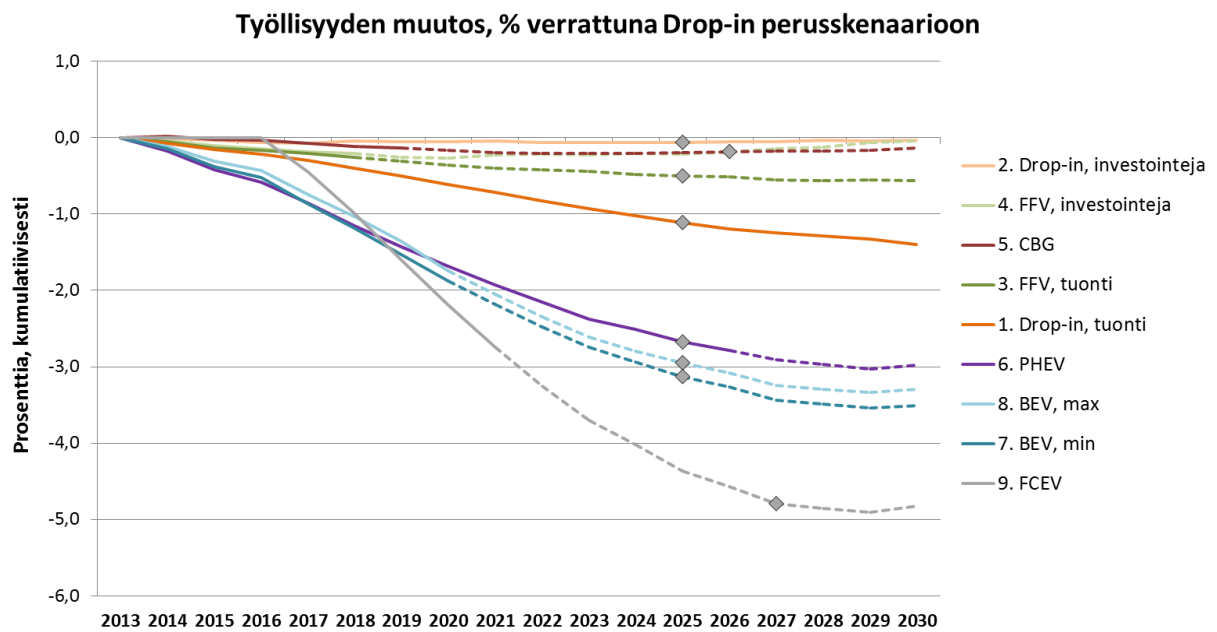
Skenaarioissa kotitalouksien kysynnän muutokset vaikuttavat merkittävästi BKT:n muutokseen. Kulutuskysyntä laskee kaikissa skenaarioissa, mutta useasta eri syystä ja eri skaaloissa. Ensinnäkin, useiden biopolttoaineiden on arvioitu olevan hieman kalliimpia kuin nykyisten fossiilisten polttoaineiden, joka itsessään laskee kuluttajien ostovoimaa. Samaan aikaan, skenaarioissa 5-9 uusien autotyyppien keskihinta on korkeampi kuin nykyisten mallien, joka laskee ostovoimaa entisestään. Lopuksi, koska skenaariot on tehty julkisen talouden kannalta budjettineutraalisti, joudutaan kokonaisverotusastetta nostamaan niissä skenaarioissa, joissa fossiilisten polttoaineiden kulutus laskee merkittävästi ja korvaavien energiamuotojen verotus on tällä hetkellä kevyempää. Ilman tätä korjausta energiaverojen kertymä laskisi ja julkinen velka lähtisi nousuun.

Työllisyyden muutokset kuviossa 30 seuraavat läheisesti investointien, tuotannon ja ostovoiman muutoksia skenaarioissa. Ostovoiman lasku kaikissa skenaarioissa vähentää kokonaiskysyntää pitkällä aikavälillä ja samalla sekä tuotantoa että työllisyyttä kokonaisuudessaan. Toisaalta, lisäinvestoinnit kotimaisten biopolttoaineiden valmistukseen skenaarioissa 2, 4 ja 5 lisäävät työllisyyttä kyseisillä toimialoilla ja niiden hankintaketjuissa merkittävästi, vaikka työllisyys monella muulla toimialalla laskee samaan aikaan hieman. Kokonaisuudessaan kyseisissä skenaarioissa työllisyysvaikutukset jäävät tästä syystä vähäisiksi verrattuna muihin skenaarioihin. Muissa skenaarioissa kokonaiskysynnän laskusta aiheutuva negatiivinen shokki tuotantoon ja työllisyyteen on suurempi kuin samanaikaiset pienet positiiviset vaikutukset kotimaisen elektroniikkateollisuuden, rakentamisen tai vedyn tuotannon noususta.

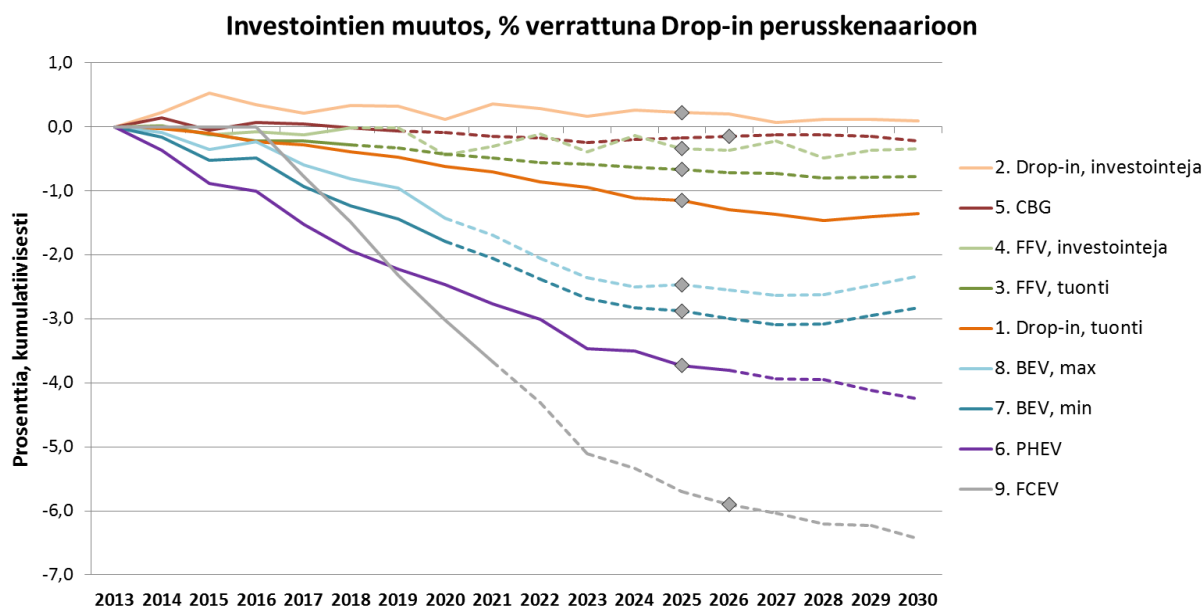
Kuvio 31 näyttää muutokset investoinneissa perusskenaarioon verrattuna. Näihin tuloksiin vaikuttavat ensinnäkin mahdolliset suorat lisäinvestoinnit kussakin skenaariossa, mutta samalla se, mitä tapahtuu investointien hinnalle kokonaisuudessaan ja yritysten kustannuksille. Merkittävät lisäinvestoinnit joillekin toimialoille varaavat kaikissa skenaarioissa pääomaa ja nostavat muiden investointien hintaa. Ainoastaan Drop-in investointi -skenaariossa investoinnit nousevat perusskenaarioon verrattuna suorien lisäinvestointien ansiosta. Muissa skenaarioissa yritykset kohtaavat kalliimpien investointikustannusten lisäksi lisäkustannuksia joko autojen hinnoista, polttoaineen hinnoista tai polttoaineiden jakeluun liittyvistä tekijöistä. Tämän takia näissä skenaarioissa useiden toimialojen investoinnit laskevat (muilla toimialoilla kuin niissä, joihin kohdistuu suoria lisäinvestointeja) ja tämä vähentää myös kokonaisinvestointeja perusskenaarioon verrattuna.



Kuvio 29: Vaikutukset kulutuskysyntään eri skenaarioissa (♦ = 30% vähennys saavutettu)

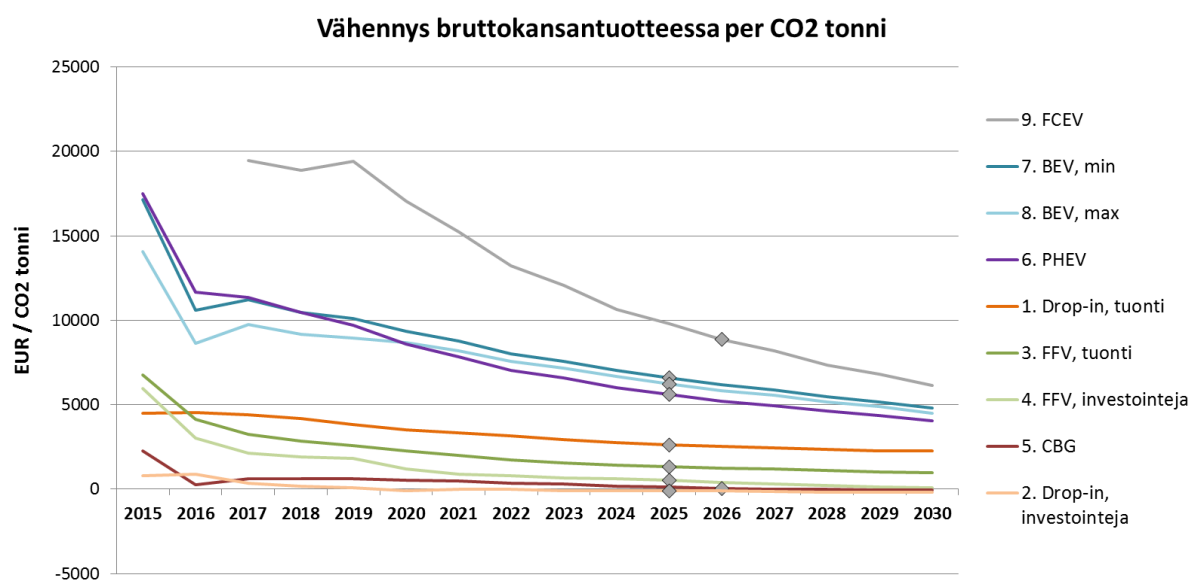


Kuvio 30: Vaikutukset työllisyyteen eri skenaarioissa (♦ = 30% vähennys saavutettu)

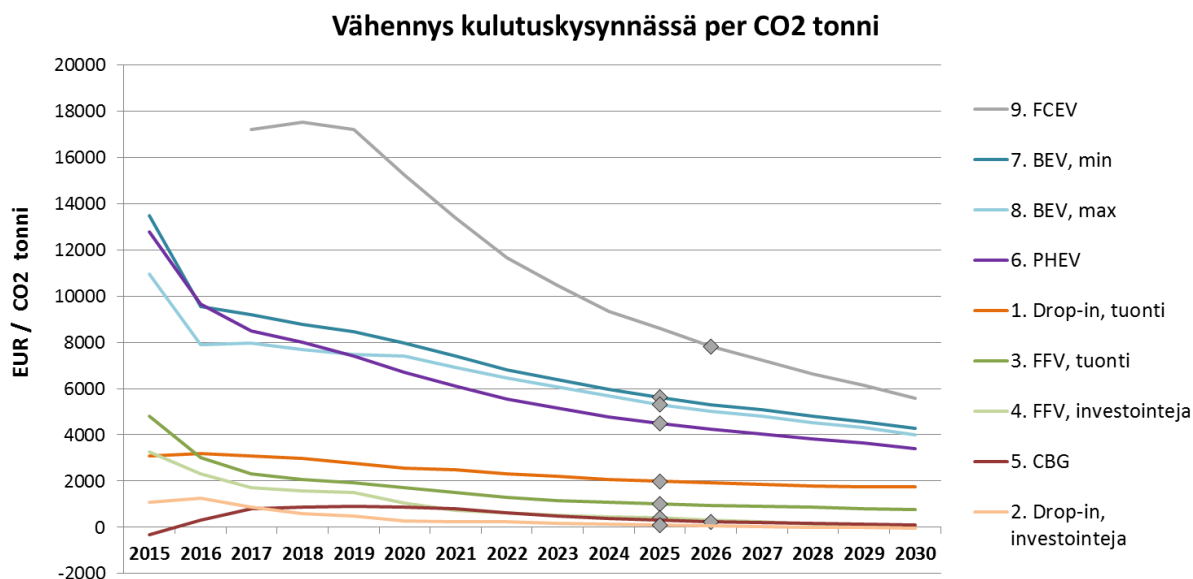


Kuvio 31: Vaikutukset investointeihin eri skenaarioissa (♦ = 30% vähennys saavutettu)

Kuvioihin 32 ja 33 on laskettu edellä näytettyihin kuvioihin pohjaavat euromääräiset vähennykset arvonlisäyksessä ja yksityisessä kulutuksessa suhteutettuna CO₂-päästöjen lisävähennyksiin verrattuna perusskenaarioon. Perusskenaariossa CO₂-päästöt vähenevät pitkällä aikavälillä jo noin 20 prosenttia. Käsitellyissä skenaarioissa lähdetään kuitenkin vähentämään CO₂-päästöjä nopeammalla tahdilla alusta alkaen, jotta vuoteen 2030 mennessä päästään yhteensä 40 % päästövähennykseen. Skenaarioiden luomia vähennyksiä arvonlisäykseen ja yksityiseen kulutukseen verrataan siis lisävähennyksiin CO₂-päästöissä perusskenaariossa vähennysten päälle. Euromäärät on laskettu kiinteillä vuoden 2008 hinnoilla.



Kuvio 32: Vähennys bruttokansantuotteessa per lisävähennetty CO₂-tonni (♦ = 30% vähennys saavutettu)



Kuvio 33: Vähennys yksityisessä kulutuksessa per lisävähennetty CO₂-tonni (♦ = 30% vähennys saavutettu).

Kyseiset kuviot näyttävät ensinnäkin, että lisäpäästövähennysten kustannus laskee yli ajan kaikissa skenaarioissa. Toisaalta, kyseiset euromääräiset vähennyskustannukset ovat monissa skenaarioissa hyvin suuria ja niiden vaihteluväli on merkittävä. Drop-in -investointi ja biokaasu -skenaarioissa kustannukset ovat alkupäässä muutamia sataasia ja loppupäässä jopa lievästi negatiivisia. Sekä arvonlisäyksen että kulutuskysynnän perusteella nämä skenaariot tuottavat suhteellisesti halvimmat tavat vähentää CO₂-päästöjä. Samaan aikaan esimerkiksi vetyskenaariossa ensimmäisten lisäpäästövähennysten hinta on lähes 20 000 euroa CO₂-tonnilta. Vuonna 2025, eli kun päästöjä on vähennetty yhteensä noin 30 prosenttia lähes joka skenaariossa, kustannus (arvonlisän perusteella) per lisävähennetty CO₂-tonni on jopa lievästi negatiivinen 2. skenaariossa ja noin 115 euroa 5. skenaariossa. Muissa skenaarioissa kyseinen rahakustannus on 500 - 10 000 euroa. Vuonna 2030, eli 40 prosentin päästövähennyksien kohdalla, sekä 2. että 5. skenaariossa kustannus per lisävähennys CO₂-tonni on negatiivinen ja muissa skenaarioissa vähintään 90 euroa per tonni.

Nämä hintatasot ovat teoriassa vertailtavissa ulkomailta ostettavien päästöoikeuksien hintaan. Nykyisen politiikan aikana päästöoikeuksien ostaminen ei-päästökauppa-sektorille on mahdollista, mutta rajoitettua, ja päästöoikeuksien ostamiseen tulisi turvautua vain mikäli kaikki konkreettiset tavat vähentää liikenteen päästöjä ovat kansantalouden kannalta selvästi kalliimpia kuin päästöoikeuksien ostaminen ulkomailta. Drop-in investointi ja biokaasu skenaarioissa vähennys arvonlisäyksessä on alhaisempi pitkällä aikavälillä kuin päästöoikeuksien arvioitu tulevaisuuden hinta.⁷⁸

Näiden kustannuskäyrien perusteella halvimmat tavat vähentää CO₂ -päästöjä perusskenaariossa lisäksi löytyvät investoimalla kotimaisten drop-in polttoaineiden ja biokaasun tuotantoon, eli skenaarioista 2 ja 5. Biokaasun avulla yksinään ei kuitenkaan todennäköisesti pystytä todellisuudessa vähentämään 40 prosenttia päästöjä vuoteen 2005 verrattuna. **Täten taloudellinen optimiskenaario päästöjen vähentämiseen vaikuttaa sellaiselta, jossa biokaasua tuotetaan niin paljon kuin sitä tarvitaan käytössä oleviin kaasuautoihin, mutta suurin osa päästövähennyksestä toteutetaan kotimaisen uusiutuvan dieselin ja -bensiinin avulla.**

Toisaalta, skenaariossa, jossa muita kuin drop-in polttoaineita otetaan kaikkia hieman käyttöön, mutta suurin osa päästövähennyksestä tuotetaan uusiutuvan dieselin ja -

⁷⁸ European Commission, 2013, "EU energy, transport and GHG emissions: Trends to 2050, reference scenario 2013", p. 33.

bensiniin avulla, pitäisi taloudellisten kustannuksien jäädä myös kohtuullisiksi skenaarion 2 tuloksien perusteella.

9.3 Herkkyyslaskelmat

Edellä esiteltyjen skenaarioiden tulokset perustuvat moniin oletuksiin tulevaisuuden kehityspoluista. Tämän takia merkittävimpien oletusten vaikutuksia tuloksiin on testattu herkkyystarkasteluilla. Nämä herkkyystarkastelut sisältävät suuria muutoksia aikaisempiin oletuksiin, jotta nähdään kuinka paljon tulokset muuttuvat oletusten muuttuessa.

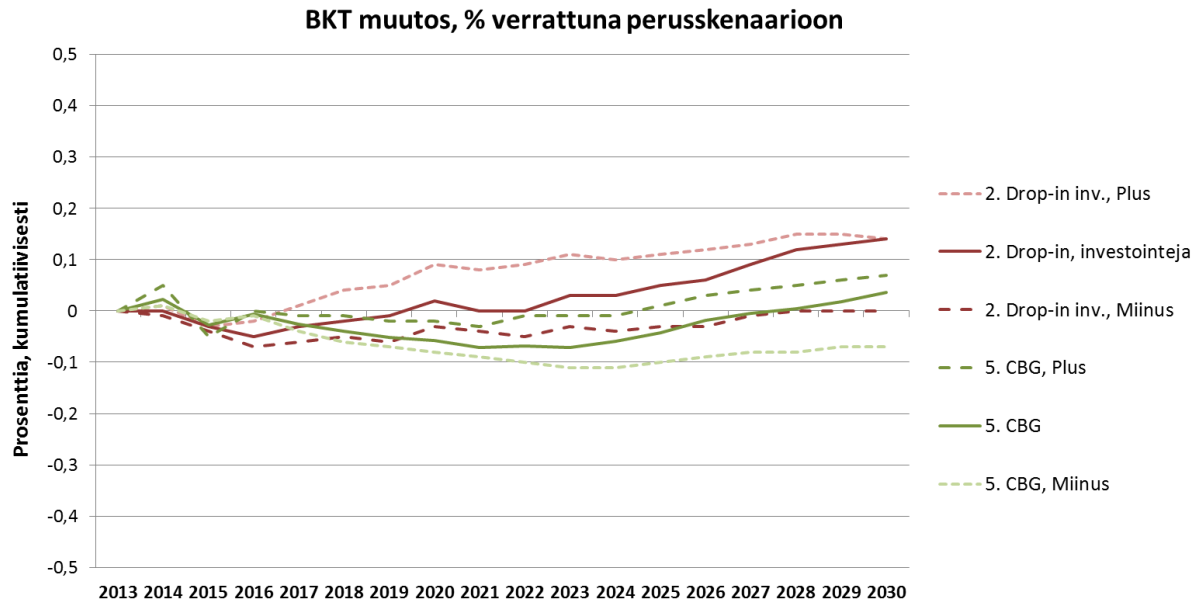
Herkkyystarkastelut sisältävät seuraavat skenaariot:

1. "Plus -skenaariot": Drop-in, biokaasu ja FFV investointi -skenaarioissa fossiilisten polttoaineiden hintaa on laskettu sekä perusskenaariossa että politiikkaskenaarioissa 30 prosenttia alkuperäisistä oletuksista ja samaan aikaan uusien biopolttoaineiden tuonti- ja tuotantohintoja on nostettu 30 prosenttia.
2. "Miinus -skenaariot": Drop-in, biokaasu ja FFV investointi -skenaarioissa fossiilisten polttoaineiden hintaa on nostettu sekä perusskenaariossa että politiikkaskenaarioissa 30 prosenttia alkuperäisistä oletuksista ja samaan aikaan uusien biopolttoaineiden tuonti- ja tuotantohintoja on laskettu 30 prosenttia.
3. "Extravienti" skenaariot sähköautoille sisältävät oletuksen, että biopolttoaineiden valmistustekniikat, laitteet ja IPR -korvaukset, kotimaiset sähköbussit sekä sähköautojen latausinfrastruktuurin vienti Suomesta nousevat euromääräisesti yhtä paljon kuin kotimainen kysyntä kyseisille tuotteille.
4. "Hintaero poistuu" -skenaarioissa sähköautojen ja plug-in hybridiautojen hintaero nykyisiin diesel/bensiini autoihin poistuu vähitellen kokonaan vuoteen 2030 mennessä.

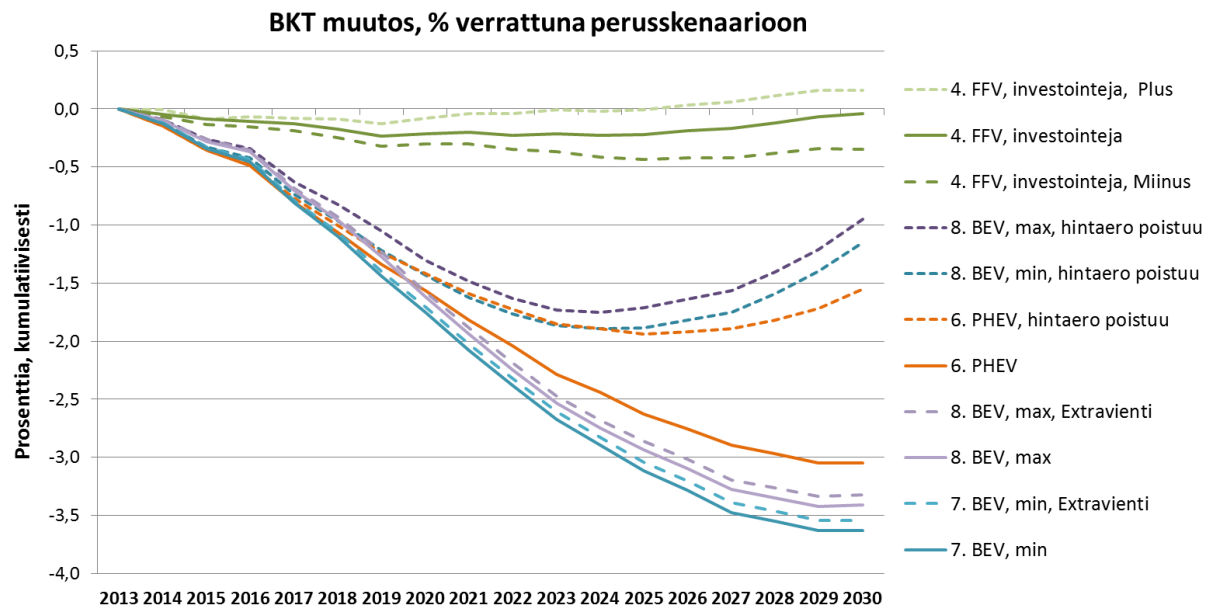
Kuviot 34 ja 35 näyttävät BKT:n muutokset verrattuna perusskenaarioon herkkyyskenaarioissa, sekä aikaisemmin näytetyt tulokset kunkin skenaarion alkuperäisillä oletuksilla. Yhteinäisillä viivoilla on merkitty alkuperäiset tulokset ja erilaisilla katkoviivoilla herkkyyskenaarioiden tulokset. Kuviota tutkiessa tulee huomata niiden mittakaavojen ero.

Ensinnäkin kuvio 34 näyttää, että jopa hyvin merkittävät muutokset odotetuissa fossiilisten polttoaineiden ja biopolttoaineiden hinnoissa "Plus"- ja "Miinus" -skenaarioissa eivät muuta tuloksien keskinäistä järjestystä merkittävästi ja tulosten mittakaavat pysyvät myös hyvin lähellä toisiaan, noin välillä $\pm 0,1$ prosenttia perusskenaarioon verrattuna. Suurimmat erot tuloksissa johtuvat itse asiassa kulutusverotuksen muutoksista kyseisten skenaarioiden välillä. "Plus" -skenaarioissa kulutusverokertymät teknologiaskenaarioiden ja perusskenaarioiden välillä laskevat vain vähäisesti pitkällä aikavälillä. Tämän takia verotusta joudutaan nostamaan samoin vain hieman kyseisissä skenaarioissa. "Miinus" -skenaarioissa taas hyödykkeiden verotusta joudutaan nostamaan enemmän pitkällä aikavälillä, koska fossiilisista polttoaineista saadut verokertymät vähenevät ja biopolttoaineista saadaan entistä vähemmän korvaavia verotuloja, sillä ne ovat halvempia kuin alkuperäisillä odotuksilla.

Kuvio 35 taas osoittaa, että varsinkin sähköautojen ja plug-in hybridien hintaero nykyisiin autoihin vaikuttaa tuloksiin merkittävästi. "Hintaero poistuu" -skenaarioissa hintaeron näiden autotyyppien ja nykyisten mallien välillä oletetaan poistuvan kokonaan vuoteen 2030 mennessä. Tämä vähentää kyseisten skenaarioiden kustannuksia merkittävästi, eli noin 3-4 prosentista noin 1-1,5 prosenttiin verrattuna perusskenaarioon kumulatiivisesti. Toisaalta nämä herkkyyskenaariot näyttävät, että vaikka kyseisten autotyyppien hintaero nykyisiin poistuisi kokonaan pitkällä aikavälillä, päästöjen lisävähentäminen näiden autotyyppien avulla merkittävässä määrin on silti kalliimpaa kuin päästöjen vähentäminen kotimaisilla drop-in polttoaineilla tai biokaasulla. Lisäksi, vaikka sähköautojen latausinfrastruktuuriin liittyvää teknologiaa saataisiin tulevaisuudessa vietyä ulkomaille huomattavia määriä, ei se vähennä sähköautokenaarioiden vaikutuksia arvonlisäykseen kuin hieman.



Kuvio 34: Herkkyystarkastelut BKT vaikutuksiin - Drop-in investointi ja Biokaasu skenaariot (huom. mittakaava)



Kuvio 35: Herkkyystarkastelut BKT vaikutuksiin - FFV investoinnit, BEV ja PHEV (huom. mit-takaava)

10. KEHITYS -skenaario

10.1 Perusteita valinnoille

Käsillä olevien tarkastelun pohjalta voidaan kuvata edullisimpia etenemispolkuja vuoteen 2030 kansantaloudellisten näkökohtien kannalta. Eri polkujen kuvaamiseksi ja vertaamiseksi voidaan asettaa muitakin eri kriteerejä sekä päätöksenteon eri painoarvoja korostaen. Seuraavassa on kuvattu teknistaloudellisten näkökohtien kannalta optimaalinen ”uusien teknologioiden” ura vuoteen 2030.

Nyt tehty tarkastelu tässä laajuudessa on ainakin Suomessa ensimmäinen laatuaan, jossa on kokonaisvaltaisesti arvioitu liikenteen eri käyttövoima- ja teknologiavaihtoehtojen vaikutuksia niin liikenteen päästöjen vähentämisen kuin kansantalouden kannalta. Laskelmissa on otettu huomioon yhtä lailla Suomen nykyinen autokanta ja sen uusiutumiskyky kuin Suomen teollinen rakennekin, jossa metsä- ja energiategollisuus ovat vahvoja aloja ja ajoneuvoteollisuus vähäistä ja keskittynyt etupäässä raskaaseen kalustoon ja työkoneisiin.

Lisäksi tässä esitettyä ”optimiskenaariota” muodostettaessa on otettu huomioon seuraavat lähtöoletukset ja näkökulmat:

A) Liikennesuorite toteutuu ennusteen mukaisena, kulkumuotojakautumassa ei tapahdu muutoksia, eli ei siirtymää henkilöautoista joukkoliikenteeseen tai maantiekuljetuksista raiteille (tai päinvastoin).

B) Energiategohokkuus paranee kaluston kehityksen ja normaalin uusiutumisen kautta.

C) Liikenteen energiavalikoimaa on muutettava, mutta pitkän matkan rahtiliikenne käyttää polttomoottoria vielä 2030 pääasiallisena voimalaitteena; dieseliä voi korvata jossain määrin LNG:llä, mutta se vaatii vielä paljon tuotekehitystä. Sähkö ei korvaa dieseliä (pl. kaupunkibussi), vaan bensiiniä.

D) Millään yksittäisellä teknologialla, drop-in biopolttoaineita lukuun ottamatta, ei päästä 40 %:n tai edes 30 %:n päästövähemmään, vaan jokin reunaehto (kustannukset, kalusto, jakelu) tulee rajoittavaksi. Kannattavinta on ottaa kustakin tarjolla olevasta optiosta niiden kustannustehokkain määrä, mutta koska kustannukset ovat aikasidonnaisia, voi olla tarpeen odottaa teknologian kypsymistä ennen ko. vaihtoehdon laajamittaisempaa käyttöönottoa. Esimerkkinä akkusähkö- ja vetypolttoauto, joiden kustannusten oletetaan alenevan ja hintakilpailukyvyyn sekä suorituskyvyyn paranevan merkittävästi vuoden 2025 jälkeen.

E) Vaihtoehtoteknologiat ovat kuitenkin siinä määrin eriarvoisia, että kaasuautoissa tarjonta on vähintäänkin kohtuullista, ja niiden valmistamiseen on autonvalmistajilla kannustin, koska kaasuautoissa tyyppihyväksymisessä mitattu CO₂-päästö on 20 % pienempi kuin vastaavalla bensiinikäyttöisellä autolla. Sen sijaan FFV autojen tarjonta ja tuotanto on uusien Euro 6-pakokaasumääräysten⁽⁹⁾ myötä voimakkaasti supistunut. Suomen markkinoilla vain yksi malli on tällä hetkellä uusimmat vaatimukset täyttävä. FFV -teknologiassa ei myöskään ole yhtä merkittävää kannustinta autonvalmistajille, koska merkittävää autosta mitattavaa CO₂ vähennemää ei ole. Siksi FFV -autojen tarjonnan lisääntymisestä ei ole mitään varmuutta. Vaikka FFV auton lisäkustannus ei ole merkittävä, eikä E85-polttoaineen jakelu aiheuta suuria lisäkustannuksia, niin FFV -autoja ei välttämättä Suomessa laajasti tarvita, sillä E10-bensiini sisältää jo riittävän ”nielun” kotimaiselle, kestävästi valmistetulle etanolille. Polttoainestandardien sallimissa puitteissa etanolikin on ”drop-in” komponentti. Lisäksi vuoteen 2030 mennessä polttoainestandardit kehittyvät niin, että bensiinissä sallitaan 20 - 25 %:n etanolipitoisuus (E20, E25), jolloin bensiinikaluston ”etanolinielu” kasvaa nykyisestä uusimpien autojen osalta.

F) Sähköautot ovat vielä kalliita perinteisiin polttomoottoriautoihin verrattuna, eikä Suomi ole sähköautoissa edes valmistaja saati teknologiaveturi (pl. bussit ja työkoneet). Siten tässä vaiheessa sähköhenkilöautoihin kohdistetut tuet eivät merkittävästi hyödytä Suomen kansan-

taloutta. Sähkön käyttö vähentäisi kuitenkin öljyn tuontia, ja se on otettu laskelmissa huomioon. Öljyn kotimaisen kysynnän väheneminen on korvattu öljytuotteiden viennin lisäyksellä. Sähkön käytöstä johtuva korvausvaikutus kohdistuisi ensisijaisesti bensiiniin, ei raskaan pitkämatkaisen rahtiliikenteen käyttämään dieseliin. Suomen kokonaispäästöjen vähentämisen kannalta kaupunkibussien sähköistäminen edustaa vain %-luokkaa, mutta Suomeen on käynnistynyt orastavaa sähköbussiteollisuutta, jolle odotetaan kansainvälistä menestystä ja vientimarkkinoita.

G) Biojalostuksessa olemme maailman kärkiluokkaa ja teknologiaveturi. Siksi tälle sektorille kohdistetusta panostuksesta on odotettavissa hyötyä kansantaloudelle investointien, lisääntyvän työllisyyden ja teknologiaviennin muodossa. Kotimaisesta raaka-aineesta valmistettujen biojalosteiden käyttö vähentää öljyn tuontia, ja korvausvaikutus kohdistuu pääasiassa dieseliin. Nestemäisille biopolttoaineille on oletettavasti kysyntää jatkossakin, vaikka tieliikenteen kysyntä heikkenisi, sillä myös laivat ja lentoliikenne kaipaavat jatkossa uusitutuvia polttoaineita. Lisäksi biojalostamot voi tietysti edellytyksin muuntaa muita tuotteita tuottaviksi kemian tuotetehtäiksi.

H) Jos esitetään jotain tavoitteita uusien teknologioiden mukaisille automäärille, ne tulisi mitoitaa järkevästi, joko kokonaiskustannusten, kansantalouden rasitteen tai järkevällä hinnalla saatavissa olevien polttoainevaihtoehtojen volyymin mukaan.

10.2 Autokaluston kehitysnäkymät ja arviot automääristä eri skenaarioissa

Kaluston osalta KEHITYS -skenaario on muodostettu siten, että eri kalustovaihtoehdot yleistyvät pääasiassa markkinalähtöisesti ja kustannukset minimoiden. Ajoneuvojen osalta vaihtoehtoiset teknologiat ovat ensisijaisesti kaasua- ja sähköautot. Jos FFV -autoja ja kustannustehokasta etanolia on saatavilla, voidaan olettaa että myös FFV -autoja tulee markkinoille, mutta ainakin tällä hetkellä pakokaasumääräysten kiristyminen Euro 6-tasolle on haaste FFV -autolle. Huolimatta siitä, että FFV -autojen tarjontaan liittyy tällä hetkellä epävarmuuksia, on syytä varmistaa, että FFV -ajoneuvot on teknologianeutraalisti huomioitu verotuksessa ja muissa ohjauskeinoissa.

Kaasuautoille ja sähköautoille on arvioitu erilaiset kehityspolut. Kaasuautojen lukumäärän oletetaan kasvavan tasaisesti nykyhetkestä, mutta sähköautojen lukumäärät kasvavat voimakkaasti vasta vuoden 2020 jälkeen kustannustehokkuuden parannuttua.

Vaihtoehtoisten autojen lukumääräksi vuonna 2030 muodostuu suuruusluokkaisesti 160 000 kappaletta, joista 50 000 on kaasuhenkilöautoja ja 100 000 on sähköhenkilöautoja. Loput ovat kaasua- ja sähkökäyttöisiä paketti- kuorma- ja linja-autoja. Yhteensä näiden autojen CO₂-päästöjä vähentävä vaikutus on kuitenkin vain alle 3 %-yksikköä. Puuttuva päästövähennys (n. 16 %-yksikköä) saavutetaan tässäkin skenaariossa ”drop-in” -tyyppisten biopolttoaineiden avulla.

Vaihtoehtoista energiaa käyttävien automäärien kasvattaminen edellyttää, että kyseisiä autoja on tarjolla, ja että kuluttajat kokevat uutta tekniikkaa edustavat autot haluttaviksi ja kustannustehokkaiksi. Luvussa 5 esitetty kustannuslaskelma osoittaa, että tällä hetkellä kilometrikustannus kuluttajan kannalta on melkein sama bensiinillä, dieselillä, korkeaseosetanolilla ja biokaasulla. Sen sijaan täyssähkö- ja lataushybridiautot ovat selvästi kalliimpia.

10.3 Kaasuautot

Maa- ja biokaasun käyttö henkilöautoissa mahdollistui vuoden 2003 jälkeen, kun niiltä poistettiin 20-kertainen käyttövoimavero. Vuosina 2004 – 2012 metaanikäyttöisiltä henkilöautoilta ei peritty käyttövoimaveroa lainkaan, ja koska maakaasun verotaso oli merkittävästi nestemäisiä polttoaineita alhaisempi, maakaasulla ajo oli edullista. Edullisesta polttoaineesta ja

kohtuullisesta autojen tarjonnasta huolimatta liikenteeseen ei ole kuitenkaan tullut suuria määriä kaasuautoja.

Kuten liitteestä 1 käy ilmi, kaasuautoja on edelleenkin varsin hyvin tarjolla useilta eri merkeiltä, eikä niiden sovittaminen kiristyviin pakokaasumääräyksiin ole ongelma. Kaasuautomäärien mahdollista kehittymistä voidaan osittain arvioida menneen kehityksen perusteella, koska teknologian voidaan aikakin henkilöautojen osalta sanoa olevan kypsää ja koettua. Siksi myös lisähinnan jonka kaasuautosta joutuu maksamaan, ei arvioida oleellisesti laskevan. Siitä huolimatta VATT:n laskelmien mukaan biokaasu on kansantalouden kannalta likipitään yhtä kustannustehokas vaihtoehto kuin nestemäiset biopolttoaineet.

Biokaasun potentiaalia arvioitaessa päädyttiin siihen, että vuonna 2030 biokaasun määrä voisi olla luokkaa 50.000 toe/a. Tässä luvussa on mukana perinteistä biokaasua, mutta myös jonkin verran power-to-gas metaania. Tämä 50.000 toe/a biokaasua vastaa suuruusluokkaisesti noin 50.000 henkilöauton ja 2000 raskaan kaasuauton polttoainetarvetta.

Ottaen huomioon nykyinen kaasuautojen tarjonta ja Ruotsissa tapahtunut kehitys, päädyttiin arvioon että suotuisassa kehityksessä Suomen henkilöautokannassa voisi olla 50.000 kaasukäyttöistä henkilöautoa vuonna 2030. Tämä kuitenkin edellyttää, että niiden autotyyppien osalta, joista on tarjolla kaasuersio, kaasuersioiden myyntiosuus olisi huomattavan suuri, luokkaa 20...25 %. Lisäksi arvioitiin kaasukäytön yleistyvän pakettiautoissa, joita tulisi vuoteen 2030 mennessä 6000. Raskaassa kalustossa kaasua käytetään lähinnä busseissa ja taajamissa toimivissa kuorma-autoissa. Tällä hetkellä raskaimpiin kuorma-autoihin ei kuitenkaan ole tarjolla energiatehokkaita kaasumootorivaihtoehtoja, sillä Euro VI- määräykset ovat haaste.

Jos kaikki kaasuautot, henkilöautot ja raskaammat ajoneuvot, käyttäisivät biokaasua, tämä vähentäisi tieliikenteen CO₂-päästöjä perusvaihtoehdon tasosta lisää n. 1 %. Jos biokaasua ei jostakin syystä olisikaan saatavissa riittävää määrää, kaasuautot voisivat kuitenkin käyttää maakaasua. Tässäkin tapauksessa bensiinin korvaaminen maakaasulla alentaisi CO₂-päästöjä noin 20 %, mutta dieselin korvaaminen maakaasulla ei alentaisi CO₂-päästöjä juuri lainkaan.

Mahdollisen kiinteästä biomassasta metaania tuottava laitoksen kapasiteetti olisi arvoilta 100.000 – 150.000 toe/a. Arvio on, että sellaisen automäärän aikaansaaminen, joka pystyisi käyttämään tämän kaasumäärän, on lähestulkoon mahdotonta vuoteen 2030 mennessä. Niinpä kiinteä biomassa oletetaan käytettäväksi lähinnä nestemäisten polttoaineiden, ei metaanin tuotantoon. Kaasuvaihtoehtoa rajoittaa siis ensisijaisesti liikenteeseen saatavien autojen määrä, ei niinkään tarjolla oleva kaasun määrä, ei varsinkaan silloin kun tarkastellaan maa- ja biokaasua yhdessä.

Koska kaasuhenkilöautoissa on tarjontaa ja koska hintalisä tavanomaisiin autoihin on tälläkin hetkellä melko maltillinen, eikä näköpiirissä ole mitään varsinaisia teknologiahyppäyksiä, on kaasuautojen määrän oletettu kasvavan tasaisesti vuoteen 2030 mentäessä.

10.4 Korkeaseosetanoli (FFV) autot

FFV -teknologian suuri etu on siinä, ettei FFV -auton valmistaminen ole juuri lainkaan kalliimpaa kuin bensiiniauton valmistaminen, eikä jakelustakaan tule merkittäviä lisäkustannuksia. FFV -autojen osalta on kuitenkin todettava, että Euroopassa automallien tarjonta on uusien Euro 6-pakokaasumääräysten myötä supistunut, eikä tarjonnan jatkumisesta ole täyttä varmuutta.

Pääasiassa tästä syystä KEHITYS -skenaarioon ei sisällytetty FFV -autoja, koska oletus on, että vuoden 2030 bensiiniautokanta pystyy käyttämään kaiken Suomessa tuotettavan bioetanolin. Jos autokannassa olisi FFV -autoja, nämä muodostaisivat tietenkin ylimääräisen ja kustannustehokkaan etanolinelun sitä tilannetta varten, että käytettävissä olisi suuria määriä kustannustehokasta bioetanolia, joko kotimaista tai tuontina.

10.5 Sähköautot

Liitteestä 1 käy ilmi, että sähköautojen tarjonta on voimakkaassa kasvussa. Toisaalta, kuten kohdan 5.3 laskelma osoittaa, vielä tällä hetkellä sähköauto ei ole kustannustehokas vaihtoehto kuluttajan kannalta, eikä kohdan 9.3 mukaan myöskään kansantalouden kannalta. Tilanteen ennustetaan kuitenkin muuttuvan merkittävästi vuoden 2020 jälkeen sähköautojen hintojen laskiessa ja suorituskyvyn parantuessa.

Siksi KEHITYS -skenaariossa oletetaan, että sähköautojen määrä lähtee kasvuun markkinalähtöisesti vasta vuoden 2020 jälkeen. Suurin osa sähköautoista tullaan lataamaan hitaalla latauksella kotona tai työpaikalla, jolloin autoilija ei joudu käyttämään ylimääräistä aikaa autonsa lataamiseen tai latauspisteen etsimiseen. KEHITYS -skenaariota muodostettaessa on arvioitu että hintojen laskiessa ja tarjonnan kasvaessa sähköauto, joko ladattava hybridi tai täyssähköauto, voisi olla monelle autoilijalle houkuttelevampi vaihtoehto kuin esim. kaasuauto.

Siinä missä kaasuautot edustavat perinteistä ja vakiintunutta tekniikkaa, suurten autonvalmistajien tekemät sähköautot ovat vasta kehityskaarensa alussa. Siksi tässä vaiheessa on melko mahdotonta arvioida, mikä esimerkiksi tulee olemaan ladattavien hybridien ja täyssähköautojen hintakehitys ja jakautuma vuonna 2030. Jos akkutekniikassa tapahtuu merkittävää kehittymistä, täyssähköauto voisi olla hallitseva tekniikka, muuten lataushybridi vaikuttaisi houkuttelevammalta vaihtoehdolta.

LVM:n suunnitelmaluonnoksessa ”Vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkko – suunnitelma vuoteen 2020/2030” (helmikuu 2015) sähköautojen lukumäärän arvioidaan olevan 20.000 – 40.000 kappaletta vuonna 2020. KEHITYS -skenaarion osalta alkukehitys on kustannustehokkuussyistä arvioitu hitaammaksi, automäärän ollessa vain runsaat 5000 kappaletta vuonna 2020.

Vuoden 2030 sähköautomääräksi on tässä selvityksessä sen sijaan arvioitu 100.000 kappaletta. Oletetaan, että kanta alkaa kasvaa merkittävästi vasta vuoden 2020 jälkeen, kun sähköautojen kustannustehokkuus on parantunut. Tältä osin kehitys poikkeaa kaasuautojen lukumäärän kehityksestä, joka on tasainen.

Kuten edellä todettiin, ladattavien hybridien ja täyssähköautojen keskinäisten määrasuhteiden arviointi on haastavaa, ellei lähes mahdotonta. Koska käsillä oleva selvitys pohjautuu kuitenkin ensisijaisesti energiaan ja päästövaikutuksiin, on korvautuva polttoainemäärä olennaisempi asia kuin autojen lukumäärä. KEHITYS -skenaario olettaakin, että vuonna 2030 henkilöautojen osalta sähköllä korvautuva energiamäärä vastaa 100.000 täyssähköauton kuluttamaa sähkömäärää. Tämä sähkömäärä vastaa noin 1 %:n lisävähennystä tieliikenteen CO₂-päästöihin.

Käytännössä jakauma voisi siten olla jossakin 100.000 täyssähköauton ja 200.000 ladattavan hybridin välillä. Noin 100.000 auton kannan syntyminen edellyttäisi niiden myyntiosuuden nousevan n. 1 % tasosta vuonna 2020 vajaaseen 10 % osuuteen vuonna 2030. Ladattavat hybridit eivät täyssähköautojen tavoin edellytä laajaa julkista pikalatausverkostoa, joten lataushybrideillä on täyssähköautoja pienemmät infrastruktuurivaikutukset.

Sähköautojen kustannustehokkuus riippuu olennaisesti käyttöasteesta. Yksityiskäytössä olevalle henkilöautolle käyttöaste on hyvinkin alhainen – tyypillinen ajoaika on vain noin tunti vuorokaudessa. Bussit sen sijaan edustavat toista ääripäätä. Suomalainen sähköbussivalmistaja Linkker on laskelmillaan osoittanut, että jo nykytekniikan tasolla sähköbussijärjestelmä voi olla kustannustehokas perinteiseen dieselbussisiin perustuvaan järjestelmään verrattuna.

Suomessa on yhteensä n. 9000 bussia, joista kaupunkibusseja on arvoilta noin 3000. HSL:n strategian mukaan HSL:n sopimusliikenteessä pitäisi olla 400 sähköbussia vuonna 2025⁷⁹.

⁷⁹ Reijo Mäkinen, HSL (2014).

Siksi KEHITYS -skenaariossa oletetaan, että vuonna 2030 käytössä olisi yhteensä 1000 sähköbussia. Bussien käyttämä sähkön määrä on noin 15 % liikennesähkön kokonaismäärästä, ja vastaa siten 0,15 %:n vähennystä tieliikenteen CO₂-päästöihin.

Perustelu suurelle sähköbussimäärälle on, että useat kaupungit suunnittelevat tällä hetkellä bussien sähköistystä. Kotimainen sähköbussivalmistus voisi lisäksi tuoda lisäarvoa Suomen kansantalouteen.

Pyrittäessä 40 % kasvihuonekaasujen alennukseen vuoteen 2030, todettiin aiemmin ns. perusskenaariolla saavutettavan 21 % päästövähennys johtuen uusien ajoneuvojen pienentyneestä polttoainekulutuksesta, pienistä ajosuoritteiden muutoksista sekä biopolttoaineiden käyttövelvoitteen toteuttamisesta vuoteen 2020. Vuoteen 2030 mennessä tarvittaisiin siis lisäksi noin 20 prosenttiyksikön lisävähennys, mikä tarkoittaisi biopolttoainemääränä ekvivalenttisesti noin 600 000 toe/a. Se voitaisiin saavuttaa seuraavien vaihtoehtojen yhdistelmällä, asettamatta mitään niistä ensiarvoiseksi. Verotuksellisesti eri uusiutuvia vaihtoehtoja tulisi kuitenkin kohdella tasapuolisesti, nyt kaasuja ja sähköä verotetaan liikennekäytössä lievemmin kuin nestemäisiä polttoaineita.

- a) **Kaasuautot ja biokaasun käyttö.** Kaasun liikennekysyntää rajoittaa kaasuautokannan hidas kasvu. On arvioitu, että vuoteen 2030 mennessä liikenteeseen voitaisiin saada noin 50 000 kaasuhenkilöautoa ja noin 6000 kaasua käyttävää pakettiautoa ja noin 1200 raskasta kaasuajoneuvoa, joiden polttoaineen kulutus on yhteensä noin 50 000 toe/a. Suurempaan kaasuautomäärään pääseminen ei nykyisellä tarjonnalla ole kovin todennäköistä.

Saatavissa olevat raaka-aineet eivät rajoita biokaasun tuotantoa. Yhdyskunta- ja maatalousjätteiden mädätyksellä voitaisiin todennäköisesti saada biokaasua nykyisen maakaasuverkon alueella edellä mainittu 50 000 toe/a. Sen jälkeen joudutaan investoimaan puupohjaiseen SNG tuotantoon (esimerkkinä Joutsenon laitos¹⁴), joka kilpailee puuraaka-aineesta nestemäisten drop-in -tuotteiden kanssa. Lisävaihtoehtona ovat fossiiliset CNG ja LNG, mutta näillä saatava CO₂ vähennys on vain noin 20 %, jos kaasu korvaa bensiiniä.

Kaasun käyttö kohdistuisi pääasiassa henkilö- ja kaupunkijakeluautoihin, ei niinkään raskaaseen kalustoon. Mikäli kaasuautoja tulisi käyttöön vuoteen 2030 mennessä enintään edellä mainitut määrät, jäisivät niistä aiheutuvat lisäkustannukset suhteellisen pieniksi.

Tällä hetkellä liikennekaasua jaellaan 24 asemalla, joista 18:aa operoi Gasum, ja Gasum on rakentamassa 35 uutta asemaa nykyisten lisäksi, mutta arvioiduille noin 60 000 autolle kaasun jakeluverkostoakaan ei tarvitsisi oleellisesti laajentaa, ellei sitten LNG:n käyttöönotto laivoissa ja jakeluinfradirektiivi sitä edellytä. Jos niin tapahtuisi, kaasuauton ”haluttavuus” voisi lisääntyä, koska kaasua olisi saatavissa ainakin päätieverkolla koko maassa.

- b) **Etanolia** käytetään Suomessa pääasiassa bensiinin komponenttina nykytilanteessa noin 170 000 m³, ja valtaosa siitä on tuontia. Energiayhtiö St1 käyttää kotimaassa pääosin jättestä valmistettua etanolia korkeaseosteisen E85-polttoaineen valmistukseen, jota vuonna 2014 myytiin yli 9 milj. litraa⁸⁰ (9299 m³).

E10-bensiinin seostarve v. 2030, on noin 150 000 m³/a, kun polttoaineen kulutus uusissa autoissa on pienempi kuin nykyisissä. Kotimaista lisäkapasiteettia voitaisiin rakentaa niin puru- kuin olkipohjaisena yhteensä 150 000 – 200 000 m³/a, joka vastaisi noin 75 000 – 100 000 toe/a. Koko normaalin E10-bensiinin etanolitarve voitaisiin siten kattaa kotimaisella tuotannolla, ja KEHITYS -skenaariossa onkin etanolin käytön rajaksi oletettu nykyinen 10 til-%. On kuitenkin oletettavaa, että bensiiniautojen tekniikkaa kehitetään ja polttoainestandardia päivitetään tulevaisuudessa niin, että etanolin osuus voi nousta tasolle 20-25 til-%. Sillä ei kuitenkaan vielä 2030 tilanteessa ole suurta merkitystä.

⁸⁰ Öljy- ja biopolttoaineala (http://www.oil.fi/sites/default/files/3.4_myynti.pdf)

- c) **Sähköautot** ovat nyt ja vielä lähivuosinakin kalliita. Sähköauton veroton hinta on nyt yli kaksinkertainen polttomootoriautoon verrattuna. Ainoastaan korkean käyttöasteen omaavat sähkökäyttöiset kaupunkibussit ja jakeluautot voivat yleistyä kustannustehokkaasti vuoteen 2020 asti, minkä jälkeen oletetaan myös henkilöautojen hintakilpailukyvyyn ja tarjonnan sekä suorituskyvyyn (täyssähköautot) paranevan kohtuulliselle tasolle.

Mikäli hintaero vähenee merkittävästi tulevaisuudessa, myös sähköä käyttävien automallien kustannus kansantalouden näkökulmasta laskee. Voidaan siis olettaa, että sähköautojen laajempi yleistyminen vasta myöhemmin, noin kymmenen vuoden kuluttua, aiheuttaisi vain vähäisiä lisäkustannuksia kansantaloudelle.

BKT-näkökulmasta sähköhenkilöautoja kannattaisi suosia alussa hyvin maltillisesti, ja vasta kustannusten alennuttua, arviolta vuoden 2025 jälkeen, markkinaosuuden kasvua kannattaisi alkaa erilaisin tukitoimin kiihdyttää. Kumulatiivinen ladattavien autojen kanta voisi siten olla 100 000 ... 200 000 autoa vuonna 2030, riippuen myyntiosuudesta vuonna 2030 ja jakautumasta täyssähköautojen ja pistokehybridien välillä.

- d) **Drop-in -polttoaineita** tarvitaan jäljelle jäävän päästövähennemän saavuttamiseksi. Siksi täysin yhteensopivien (drop-in) synteettisten diesel- tai bensiinituotteiden⁸¹ käyttö kasvaisi merkittävästi. Tarve olisi noin 600 000 toe/a kotimaiseen raaka-aineeseen perustuvaa biopolttoainetta riippuen kilpailukyvyistä ja insentiiveistä muihin vaihtoehtoihin ja tuontipolttoaineisiin nähden.

Uusia biojalostamoja oletetaan rakennettavan tässä KEHITYS -skenaariossa pääosin puun kaasutus- ja pyrolyysi/hydrausratkaisuin, joko itsenäisinä metsäteollisuuden integraatteihin, tai osin öljynjalostamojen yhteyteen. Jos biopolttoaineiden lisätuotanto kasvaisi tasolle 600 000 t/a, laitoksia tarvittaisiin noin 4-7 kappaletta kapasiteetista riippuen, ja investointitarve olisi suuruusluokkaa 1800 milj. €..

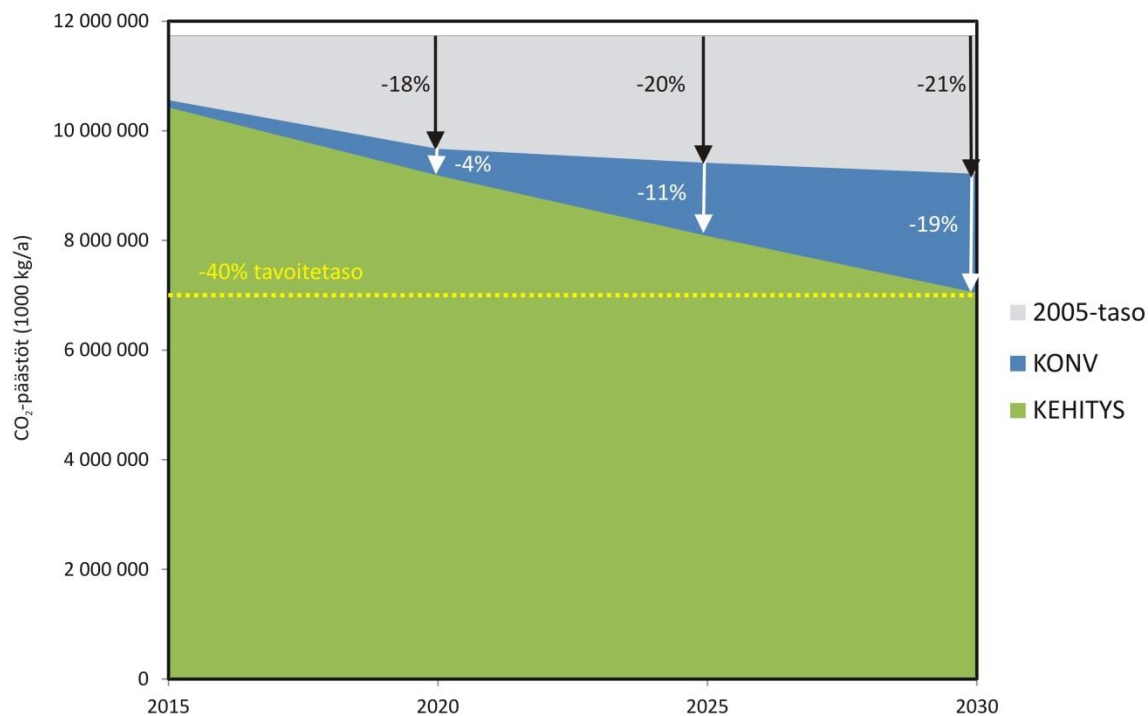
Kasvanut puun kysyntä on luokkaa 4-5 miljoonaa kiinto-m³ vuodessa riippuen mustalipeän ja mäntyöljyjakeiden osuudesta uudesta tuotannosta. Jos raaka-aineena käytetään mustalipeää, mäntyöljyä tai mäntypikeä laskee kiinteän puun tarve vastaavasti. On kuitenkin otettava huomioon, että uuden teknologian kehitys, sitä tukeva tutkimustoiminta sekä kaupallistaminen vaativat Suomessa ja koko EU:ssa huomattavia kehityspanoksia, Muuten esitetty skenaario ei toteuttavissa vuoteen 2030 mennessä.

Kansantaloustarkastelujen pohjalta drop-in -polttoaineiden laaja-alainen käyttö vaikuttaisi bruttokansantuotteeseen ja kulutuskysyntään hyvin vähäisesti, mikäli kyseisten polttoaineiden kotimaiseen tuotantoon investoidaan merkittävästi. Jos kaikki drop-in -polttoaineet sen sijaan tuotaisiin ulkomailta, jäisi BKT pitkällä aikavälillä yli 1,5 prosenttia alhaisemmalle tasolle kuin perusskenaariossa. Suuret investoinnit kotimaiseen drop-in polttoaineiden tuotantoon taas jopa nostaisivat bruttokansantuotetta pitkällä aikavälillä verrattuna perusskenaarioon, vaikkakin minimaalisesti.

Kuvio 36 esittää KONV ja KEHITYS-skenaarioiden CO₂-päästöt. Kuten kuva osoittaa, lisäämällä drop-in -biopolttoaineiden osuutta energiassa saavutetaan tarvittavat lisävähennemät päästöissä, jotta päästään tavoitteeksi asetettuun 40% vähenemään vuoden 2005 tasosta.

Taulukossa 27 KEHITYS -skenaarion päästövähennemät vuonna 2030 on esitetty jaettuina biokaasun, sähkön ja nestemäisten biopolttoaineiden käytöstä peräisin oleviin osuuksiin. Luvuista käy hyvin ilmi suuruusluokat, jotka eri teknologioilla saavutetaan. Koko tarvittavasta lisävähennemästä (19 %) keskimäärin 5 %:n osuus saadaan aikaan biokaasulla, noin 9 %:n osuus sähkoon siirtymisellä ja loppuosuus (86 %) nestemäisillä biopolttoaineilla. Niiden osuus on siis hyvin hallitseva.

⁸¹ Bensiiniin voidaan bioetanolin (nyt max 10 til-%) lisäksi drop-in periaatteella sekoittaa muitakin biokomponentteja, joita tälläkin hetkellä syntyy HVO-prosessissa, sekä käyttää myös bioraaka-ainetta (esim. mäntyöljypiki) korvaamaan raakaöljyä jalostamon syötteessä valmistettaessa bensiinin komponentteja, kuten Neste Oil jo tekeekin. Myös biopohjaisten eetterien valmistus ja käyttö on mahdollista, jolloin bio-osuus voi nousta jopa yli 20 % tasolle ilman liiallista happipitoisuutta.



Kuvio 36: CO₂ päästöt KONV, JA KEHITYS-skenaarioissa.

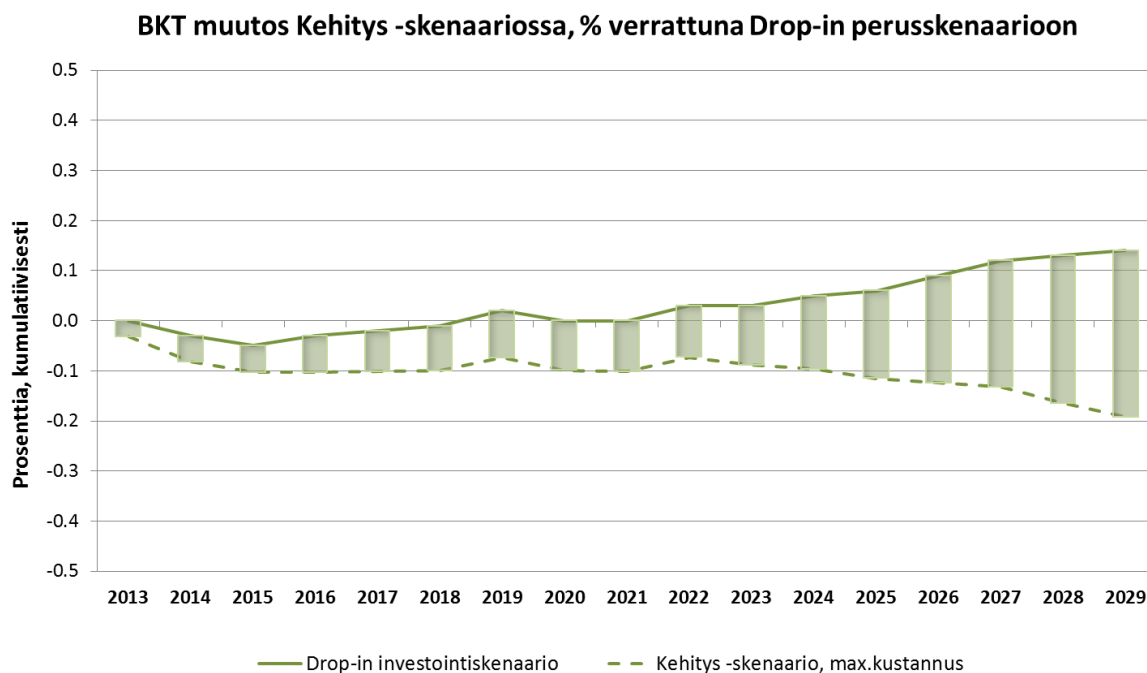
Taulukko 27. KEHITYS -skenaarion päästövähennykset (tonnia/a) vuonna 2030 eri ajoneuvoluokissa jaettuna erikseen biokaasun, sähkön ja nestemäisten biopolttoaineiden käytöstä peräisin oleviin osuuksiin.

Ajoneuvolaji	Biokaasu	%	Sähkö	%	Nestem.bio	%	yhteensä	%
Henkilöautot	48 241	0.4 %	171 090	1.5 %	717 033	6.1 %	936 364	8.0 %
Pakettiautot	13 502	0.1 %	989	0.0 %	221 909	1.9 %	236 400	2.0 %
Linja-autot	13 205	0.1 %	32 869	0.3 %	104 530	0.9 %	150 604	1.3 %
Kuorma-autot	33 947	0.3 %	-4 464	0.0 %	823 413	7.0 %	852 897	7.3 %
yhteensä	108 895	1 %	200 484	2 %	1 866 885	16 %	2 176 265	19 %

10.6 Taloudelliset vaikutukset KEHITYS -skenaariossa

Edellä esitellyssä KEHITYS -skenaariossa, jossa suurin osa päästövähennyksestä tuotetaan uusiutuvan drop-in dieselin ja -bensiniin avulla ja vähemmässä määrin muilla vaihtoehtoisilla tekniikoilla, taloudelliset kustannukset jäävät myös kohtuullisiksi.

Kuvio 37 näyttää kyseisen skenaarion vaikutukset bruttokansantuotteeseen kokonaisuudessaan erilaisilla oletuksilla sähköautojen tulevaisuuden hinnoista. Kuten aikaisemmin mainittiin, KEHITYS -skenaariossa oletetaan, että sähköautoja tulisi käyttöön merkittävämmässä määrin vasta noin 10 vuoden kuluttua, ja suurin osa päästövähennyksestä toteutetaan kotimaisten drop-in polttoaineiden avulla. KEHTYS -skenaariossa yhteiskunnalliset kustannukset ovat sen takia hyvin lähellä drop-in investointiskenaarion (#2) tuloksia.



Kuvio 37: Vaikutukset bruttokansantuotteeseen KEHITYS -skenaarioissa (huom. mittakaava)

KEHITYS -skenaarion lopulliset kustannukset riippuvat eniten sähköautojen hintakehityksestä. 'Kehitys -skenaario, max.kustannus' -skenaariossa kaikkien sähköä käyttävien autotyyppien hintakehityksen on oletettu seuraavan osiossa 8 esitettyjä arvioita. Mikäli ne ovat tulevaisuudessa halvempia kuin nämä oletukset, KEHITYS -skenaarion kustannukset jäävät kuviossa 36 esitettyjen viivojen väliselle alueelle.⁸² Ottaen huomioon, että näiden kahden skenaarion BKT vaikutusten ero pitkällä aikavälillä kumulatiivisesti on +0.1...-0.2 prosenttia verrattuna perusskenaarioon, voidaan sanoa, että KEHITYS -skenaarion vaikutukset eroavat drop-in investointiskenaariosta vain vähäisesti. Lisäksi arvonlisän muutokset pysyvät kohtuullisen pieninä verrattuna yksittäisten teknologiaskenaarioiden kansantaloudellisiin kokonaiskustannuksiin (katso osio 9).

10.7 KEHITYS -skenaario lukuina

Seuraavissa taulukoissa on esitetty lukuina "perusura" eli KONV -skenaario, siitä johdettu DROP-IN -skenaario, ja yhdistelmä eli KEHITYS -skenaario. Kaikista on esitetty autojen lukumäärät (Taulukko 28), polttoaine- ja energiamäärät (taulukot 29 ja 30), sekä hiilidioksidipäästöt (taulukko 31). Kaikki luvut on esitetty vuosille 2015, 2020, 2025 ja 2030.

⁸² KEHITYS -skenaarion maksimikustannukset on arvioitu drop-in investointi, PHEV ja BEV min skenaarioiden pohjalta, ottaen huomioon oletetun PHEV ja BEV autojen määrän KEHITYS -skenaariossa kunakin vuonna verrattuna yksittäisiin teknologiaskenaarioihin.

Taulukko 28: Autojen lukumäärät autokannassa skenaarioissa KONV/DROP-IN ja KEHITYS.

Ajoneuvot [kpl]	2015		2020		2025		2030	
	KONV/DROP-IN	KEHITYS	KONV/DROP-IN	KEHITYS	KONV/DROP-IN	KEHITYS	KONV/DROP-IN	KEHITYS
Henkilöautot, bensiini	1 967 851	1 966 260	2 047 189	2 037 033	2 072 689	2 019 532	2 181 539	2 031 615
Henkilöautot, diesel	707 289	707 289	898 218	898 218	1 010 060	1 010 060	1 071 037	1 071 037
Henkilöautot, FFV	5 393	5 393	4 913	4 913	3 678	3 678	2 299	2 299
Henkilöautot, GAS	1 659	1 010	1 586	5 000	1 261	19 989	835	50 000
Henkilöautot, PHEV	0	0	0	0	0	0	0	0
Henkilöautot, BEV	0	733	0	5 301		33 282	0	100 000
Henkilöautot, FCEV	0	0	0	0	0	0	0	0
Henkilöautot, yhteensä	2 682 192	2 680 687	2 951 906	2 950 466	3 087 688	3 086 541	3 255 710	3 254 950
Pakettiautot, bensiini	10 491	10 412	6 407	5 851	4 772	3 352	4 724	1 826
Pakettiautot, diesel	288 406	288 382	302 690	301 976	300 331	298 090	306 907	307 960
Pakettiautot, FFV	0	0	0	0	0	0	0	0
Pakettiautot, GAS	0	90	0	966	0	2 705	0	6 000
Pakettiautot, PHEV	0	0	0	0	0	0	0	0
Pakettiautot, BEV	0	13	0	304	0	955	0	2 000
Pakettiautot, FCEV	0	0	0	0	0	0	0	0
Pakettiautot, yhteensä	298 897	298 897	309 097	309 097	305 103	305 103	311 631	317 786
Linja-autot, diesel	11 925	11 925	12 017	11 908	12 350	11 845	12 829	11 641
Linja-autot, ED95	0	0	0	0	0	0	0	0
Linja-autot, GAS	51	51	37	54	23	100	12	200
Linja-autot, PHEV	0	0	0	0	0	0	0	0
Linja-autot, BEV	0	0	0	91	0	428	0	1 000
Linja-autot, FCEV	0	0	0	0	0	0	0	0
Linja-autot, yhteensä	11 976	11 976	12 054	12 054	12 373	12 373	12 841	12 841
Kuorma-autot, diesel	95 954	95 954	97 034	96 941	99 665	99 247	102 763	101 798
Kuorma-autot, ED95	0	0	0	0	0	0	0	0
Kuorma-autot, GAS	664	640	516	559	337	656	184	1 000
Kuorma-autot, PHEV	0	0	0	0	0	0	0	0
Kuorma-autot, BEV	0	0	0	14	0	65	0	150
Kuorma-autot, FCEV	0	0	0	0	0	0	0	0
Kuorma-autot, yhteensä	96 619	96 595	97 550	97 515	100 002	99 968	102 947	102 947
Kaikki autot, yhteensä	3 089 684	3 088 154	3 370 607	3 369 131	3 505 166	3 503 985	3 683 128	3 688 524

Taulukko 30: Energiamäärät (toe) skenaarioissa KONV/DROP-IN ja KEHITYS.

Energiamäärät (toe)	2015			2020			2025			2030		
	KONV	DROP-IN	KEHITYS	KONV	DROP-IN	KEHITYS	KONV	DROP-IN	KEHITYS	KONV	DROP-IN	KEHITYS
Henkilöautot												
Fossiilinen bensiini, toe	1 205 392	1 205 392	1 204 326	1 126 411	1 126 411	1 120 604	1 049 515	990 139	1 022 717	1 020 504	906 136	948 937
Fossiilinen diesel, toe	762 862	754 129	749 790	770 630	713 580	714 132	779 755	641 400	624 643	743 028	518 316	502 733
Biodiesel, toe	66 912	75 232	79 365	172 949	227 298	226 772	172 652	304 456	320 419	164 520	378 591	393 436
Etanoli, toe	87 212	87 212	87 137	84 165	84 165	83 743	77 671	116 949	75 723	74 819	150 474	69 617
Fossiilinen kaasu, toe	1 036	1 036	313	807	807	1 060	526	526	2 898	273	273	15 747
Biokaasu, toe	0.11	0.11	0.37	0.12	0.12	2.18	0.08	0.08	9.29	0.04	0.04	9.27
Sähkö, toe	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	1.73	0.00	0.00	9.94	0.00	0.00	29.46
Vety, toe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Yhteensä	2 123 415	2 123 001	2 120 932	2 154 962	2 152 261	2 146 314	2 080 119	2 053 470	2 046 420	2 003 144	1 953 790	1 930 509
Pakettiautot												
Fossiilinen bensiini, toe	5 143	5 143	5 104	2 976	2 976	2 773	2 418	2 281	2 002	2 520	2 238	1 878
Fossiilinen diesel, toe	307 819	304 295	302 532	264 198	244 640	244 166	245 821	202 204	195 215	233 993	163 227	155 587
Biodiesel, toe	26 999	30 356	32 023	59 293	77 926	77 535	54 429	95 981	100 138	51 810	119 226	121 762
Etanoli, toe	359	359	357	216	216	202	176	265	146	183	368	137
Fossiilinen kaasu, toe	0	0	56	0	0	520	0	0	1 038	0	0	4 407
Biokaasu, toe	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	3
Sähkö, toe	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Vety, toe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yhteensä	340 321	340 154	340 071	326 684	325 757	325 197	302 844	300 730	298 542	288 507	285 059	283 775
Linja-autot												
Fossiilinen bensiini, toe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen diesel, toe	140 956	139 342	138 540	119 824	110 953	109 755	120 402	99 039	91 128	123 149	85 905	73 289
Biodiesel, toe	12 363	13 901	14 664	26 892	35 342	34 853	26 659	47 011	46 745	27 267	62 748	57 356
Etanoli, toe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen kaasu, toe	1 307	1 307	759	635	635	507	210	210	877	29	29	4 310
Biokaasu, toe	0	0	1	0	0	1	0	0	3	0	0	3
Sähkö, toe	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	5
Vety, toe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yhteensä	154 626	154 550	153 964	147 350	146 930	145 116	147 272	146 261	138 754	150 446	148 682	134 963
Kuorma-autot												
Fossiilinen bensiini, toe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen diesel, toe	989 715	978 384	972 755	845 230	782 657	782 698	850 810	699 847	679 290	862 475	601 639	579 292
Biodiesel, toe	86 810	97 604	102 966	189 692	249 301	248 545	188 385	332 200	348 451	190 968	439 453	453 349
Etanoli, toe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen kaasu, toe	11 011	11 011	6 249	5 689	5 689	2 725	2 073	2 073	1 646	383	383	5 371
Biokaasu, toe	1	1	7	1	1	6	0	0	5	0	0	3
Sähkö, toe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vety, toe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yhteensä	1 087 536	1 087 000	1 081 977	1 040 611	1 037 648	1 033 974	1 041 268	1 034 120	1 029 393	1 053 826	1 041 474	1 038 015
Kaikki autot												
Fossiilinen bensiini, toe	1 210 535	1 210 535	1 209 430	1 129 386	1 129 386	1 123 377	1 051 933	992 420	1 024 719	1 023 024	908 374	950 815
Fossiilinen diesel, toe	2 201 352	2 176 150	2 163 618	1 999 882	1 851 830	1 850 751	1 996 789	1 642 489	1 590 275	1 962 645	1 369 087	1 310 901
Uusiutuva diesel, toe	193 084	217 093	229 018	448 826	589 867	587 704	442 126	779 648	815 753	434 566	1 000 017	1 025 902
Etanoli, toe	87 571	87 571	87 494	84 381	84 381	83 945	77 846	117 214	75 868	75 002	150 842	69 754
Fossiilinen kaasu, toe	13 355	13 355	7 376	7 130	7 130	4 812	2 809	2 809	6 459	685	685	29 835
Biokaasu, toe	1.01	1.01	8.64	0.80	0.80	9.92	0.32	0.32	20.71	0.09	0.09	17.57
Sähkö, toe	0	0	0	0	0	2	0	0	13	0	0	36
Vety, toe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yhteensä	3 705 898	3 704 705	3 696 945	3 669 607	3 662 596	3 650 601	3 571 503	3 534 580	3 513 109	3 495 923	3 429 006	3 387 261
Nestemäinen bio-osuus	8 %	8 %	9 %	15 %	18 %	18 %	15 %	25 %	25 %	15 %	34 %	33 %

Taulukko 31: Hiilidioksidipäästöt skenaarioissa KONV/DROP-IN ja KEHITYS.

CO2 päästöt, tonnia	2015			2020			2025			2030		
	KONV	DROP-IN	KEHITYS	KONV	DROP-IN	KEHITYS	KONV	DROP-IN	KEHITYS	KONV	DROP-IN	KEHITYS
Henkilöautot												
Fossiilinen bensiini	3 683 178	3 683 178	3 679 918	3 441 842	3 441 842	3 424 098	3 206 881	3 025 453	3 124 998	3 118 237	2 768 776	2 899 556
Fossiilinen diesel	2 366 549	2 339 456	2 325 997	2 390 646	2 213 665	2 215 379	2 418 955	1 989 748	1 937 767	2 305 019	1 607 917	1 587 986
Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Etanoli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen kaasu	2 469	2 469	746	1 924	1 924	2 525	1 253	1 253	6 905	650	650	0
Biokaasu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sähkö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vety	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Henkilöautot, yhteensä	6 052 196	6 025 103	6 006 661	5 834 411	5 657 431	5 642 002	5 627 089	5 016 454	5 069 670	5 423 906	4 377 343	4 487 542
Pakettiautot												
Fossiilinen bensiini	15 715	15 715	15 597	9 093	9 093	8 473	7 387	6 970	6 117	7 700	6 837	5 739
Fossiilinen diesel	954 916	943 984	938 513	819 596	758 921	757 452	762 585	627 276	605 594	725 894	506 363	491 454
Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Etanoli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen kaasu	0	0	133	0	0	1 240	0	0	2 473	0	0	0
Biokaasu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sähkö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vety	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pakettiautot, yhteensä	970 631	959 699	954 243	828 688	768 014	767 165	769 972	634 245	614 185	733 594	513 200	497 193
Linja-autot												
Fossiilinen bensiini	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen diesel	437 272	432 266	429 779	371 718	344 199	340 482	373 512	307 238	282 696	382 032	266 495	231 499
Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Etanoli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen kaasu	3 114	3 114	1 808	1 512	1 512	1 208	501	501	2 089	70	70	0
Biokaasu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sähkö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vety	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Linja-autot, yhteensä	440 386	435 380	431 587	373 230	345 711	341 689	374 013	307 739	284 784	382 103	266 565	231 499
Kuorma-autot												
Fossiilinen bensiini	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen diesel	3 070 290	3 035 141	3 017 679	2 622 070	2 427 957	2 427 275	2 639 382	2 171 063	2 104 040	2 675 568	1 866 402	1 823 583
Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Etanoli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen kaasu	26 237	26 237	14 889	13 554	13 554	7 187	4 938	4 938	6 334	912	912	0
Biokaasu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sähkö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vety	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kuorma-autot, yhteensä	3 096 527	3 061 378	3 032 568	2 635 624	2 441 512	2 434 462	2 644 320	2 176 002	2 110 374	2 676 480	1 867 314	1 823 583
Yhteensä												
Fossiilinen bensiini	3 698 892	3 698 892	3 695 515	3 450 935	3 450 935	3 432 571	3 214 269	3 032 422	3 131 115	3 125 937	2 775 613	2 905 295
Fossiilinen diesel	6 829 028	6 750 847	6 711 969	6 204 029	5 744 742	5 740 588	6 194 434	5 095 326	4 930 096	6 088 513	4 247 177	4 134 522
Biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Etanoli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fossiilinen kaasu	31 820	31 820	17 575	16 990	16 990	12 159	6 693	6 693	17 802	1 632	1 632	0
Biokaasu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sähkö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vety	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kaikki autot, yhteensä	10 559 740	10 481 559	10 425 059	9 671 954	9 212 667	9 185 318	9 415 395	8 134 440	8 079 013	9 216 082	7 024 422	7 039 817
Vähennä v. 2005 tasosta	-10 %	-11 %	-11 %	-18 %	-22 %	-22 %	-20 %	-31 %	-31 %	-21 %	-40 %	-40 %

Johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset

11. Johtopäätökset

Suomessa pääasiallisiksi ohjauskeinoiksi on valittu ympäristöohjaava verotus, niin autojen kuin polttoaineiden osalta, ja lisäksi biopolttoaineiden jakeluelvoite. Tässä yhteydessä on muistettava, että EU-lainsäädännön mukaan verohuojennusten ja veloitteiden yhtäaikainen käyttö ei ole sallittua. Kantava periaate on lisäksi tekniikkaneutraalisuus, eli mitään yksittäistä ei suosita, vaan suorituskyky ratkaisee. Ainoa poikkeus tässä on biokaasu, johon ei kohdisteta lainkaan polttoaineveroja.

Suomessa liikenteen uusiutuvan energian eurooppalaista tavoitetta 10 % v. 2020 on edistetty biopolttoaineiden jakeluelvoitteella. Jakeluelvoite tähtää 20 %:iin v. 2020, v. 2014 se oli 6 % ja v. 2015 se on 8 % josta se asteittain nousee 20 %:iin. Ns. tuplalaskettavat biopolttoaineet on vapautettu CO₂-verokomponentista.

Suomessa on siirrytty ympäristöohjaavaan verotukseen niin henkilö- ja pakettiautojen kuin liikenteen käyttämän energiankin osalta. Autovero muuttui CO₂-pohjaiseksi vuonna 2008, ajoneuvovero 2010 – 2011, ja vuonna 2011 otettiin lisäksi käyttöön uusi energiaverojärjestelmä. Vuonna 2013 otettiin käyttöön myös käyttövoiman mukaan porrastettu käyttövoimaverro.

Taulukossa 32 on esitetty arvio Suomessa tuotannossa olevista, suunnitelluista ja skenaariotarkasteluissa ajatelluista edistyksellisten biopolttoaineiden laitoksista ja tuotantomääristä vuoteen 2030. Vuodelle 2020 asetettu 20 % tavoite näyttäisi olevan saavutettavissa jo nykylaitoksilla, jos pääosa niiden tuotannosta jäisi Suomen markkinoille. Vastaavasti tuonnilla voidaan paikata vaadittava osuus olettaen, että biopolttoaineiden myyjälle Suomessa saatava hintataso on kilpailukykyinen muihin maihin nähden. Vuonna 2014 biopolttoaineiden yhteenlaskettu käyttömäärä 6 %:n jakeluelvoitteen mukaan tuli olla noin 220 000 toe, Tullin tilaston mukaan se oli noin 630 milj. litraa eli noin 460 000 toe. Jakeluelvoitelain mukainen vähimmäismäärä ylitettiin siis moninkertaisena, ja eräänä syynä voi olla periaate, jonka mukaan laskenta on kumulatiivinen, eli jakeluun jo toimitetut erät voivat vähentää tulevien vuosien tarvetta.

Miten edistyksellisten biopolttoaineiden ja uusiutuvien energialähteiden markkinoille tuloa tulisi vuoden 2020 jälkeen edistää eri keinoin siten, että saavutetaan 30-40 % kasvihuonekaasuvähenemät kansantaloudellisesti kustannustehokkaasti? Biopolttoaineiden osalta jakeluelvoitetta voidaan jatkaa kohti korkeampia tavoitelukuja esimerkiksi tasolle 30 %, kun lopuosa tehdään edistämällä sähköajoneuvojen, liikennemuotojen valinnan sekä energiatehokkuuden avulla. Biokaasun kysynnän kasvua on vaikea saada aikaan pelkällä biopolttoaineen käyttövelvoitteella liikennepolttoaineissa, koska kaasuautojen määrä lisääntyy kovin hitaasti, jos lainkaan. Jakeluelvoitteella voidaan onnistuessaan taata markkinaehtoisesti samat edut biokaasulle kuin nestemäisille drop-in biopolttoaineille ja etanolille (ml. yhtäläinen verotus). Täten saataisiin biokaasua maakaasun runkoputkeen, mutta haasteeksi jää kaasuaajoneuvojen määrän merkittävä kasvattaminen markkinaehtoisesti.

Toisaalta kun biokaasuauton ja 100 % uusiutuvaa dieseliä (BTL) käyttävän ajoneuvon kaikki päästöarvot ovat lähes samoja, on vaikea nähdä perusteita ympäristöpohjaiselle verodifferoinnille. Samoin avoimena kysymyksenä on, voiko kotimaista edistyksellisten biopolttoaineiden tuotantoa edistää tuontipolttoaineisiin nähden. Uuden teknologian investointiavustukset ja puupohjaisille tuotteille kohdistettavat mahdolliset syöttötariffin tai vihreän sertifikaatin tappaiset kannustimet voivat ehkä olla mahdollisia. Tarkemmin tulisi selvittää, onko biopolttoaineiden velvoitelain jatkaminen mahdollista v. 2020 jälkeen esimerkiksi vuoteen 2030 ulottuvalla 30 % velvoitteella. Vastaavasti pitäisi pohtia, mitkä olisivat sähköajoneuvojen yleistymisen edistämiseen sopivat kannustimet toisaalta v. 2015-2020 maltillisen automäärän saavuttamiseksi ja jakeluinfran rakentamiseksi, sekä toisaalta, mitkä voisivat olla voimakkaammat edistämiskeinot ajoneuvojen hinnan laskiessa esim. aikavälillä 2020-2030.

Taulukko 32: Nykyiset biopolttoaineiden kotimaiset tuotantolaitokset ja mahdolliset lisähankkeet.

Tuottaja	Tuote	Raaka-aine	Määrä	Tupla-laskettua	Lask. määrä (ktoe)
Tuotannossa olevat			(ktoe)	v. 2020 tavoitteeseen	
Neste Oil	HVO diesel	pääasiassa tuonti, palmu, rypsi, pienempi osuus jäterasvoja ja vastaavia	380	75 %	570
Neste Oil	biobensiini	kuten yllä	4	75 %	6
Neste Oil	biobensiin ym	mäntypiki	40	100 %	80
St1 Biofuels	etanoli	jätteet, puru	10	100 %	20
UPM	HVO diesel	mäntyöljy	100	100 %	200
Gasum, useita	biokaasu, CBG	jätteet, lietteet	15	100 %	30
Yhteensä v. 2020			549		906
Uusiutuva energia (lask. % kokonaismäärästä 3657 ktoe)			v. 2020, kun lasketaan tuplalaskentana		24.8 %
Todellinen bio-osuus (% kokonaismäärästä 3657 ktoe)			15 %		
Mahdollisia lisähankkeita vuoteen 2030					
N.N. (useita toimijoita)	BTL diesel, bensiini	metsätähteet	400		
Suomen Bioetanoli	etanoli	olki	60		
ST1 Biofuels	etanoli	puru	90		
Gasum	biokaasu	jätteet, lietteet	10		
Gasum, Helen, MetsäGroup		puu SNG	135		
Yhteensä			695		
Yhteensä tuotannossa ja lisärakennusmahdollisuudet			1244		
Uusiutuva energia (lask. % kokonaismäärästä 3490 ktoe vuonna 2030)					
Todellinen bio-osuus (% kokonaismäärästä 3490 ktoe)			35.6 %		
Biodiesel yht.			880		
Biobensiini			44		
Etanoli			160		
Biokaasu			160		
Yhteensä			1244		

12. Yhteenveto

12.1 Keskeiset tulokset ja päätelmät

Työn keskeiset tulokset ja päätelmät ovat:

- Perusvaihtoehto, jossa toteutetaan vain nykyiset toimenpiteet, päättyy vuonna 2030 tilanteeseen, jossa CO₂-vähenemä on runsaat 20% verrattuna vuoden 2005 tasoon. Tarvittavan lisävähennämisen aikaansaamiseksi liikenteeseen on tuotava lisää vähähiilistä tai hiilineutraalia energiaa. Tässä käyttövoimavaihtoehtoihin keskittyvässä selvityksessä ei huomioitu esim. kulutapamuutoksiin vaikuttamista tai autokaluston nopeutettua uusimista.
- Kansantaloudellisten ja teknisten tarkastelujen pohjalta kyettiin löytämään ratkaisut, joilla mahdollisimman tehokkaasti kyetään saavuttamaan 30 % ja jopa 40 % vähenemä liikenteen CO₂-päästöissä vuoteen 2030 mennessä vuoden 2005 päästöihin verrattuna.
- Kansantalouden kannalta kustannustehokkain tapa vähentää päästöjä on investoiminen kotimaisten, edistyksellisten drop-in biopolttoaineiden tuotannon ja käytön lisäämiseen. Lisäksi niiden käytöllä ei ole heijastusvaikutuksia autokalustoon tai jakelujärjestelmään.
- Myös biokaasun käyttöä voitaisiin lisätä, mutta edellytyksenä on merkittävä uuden ajoneuvokannan kasvaminen.
- Pääosa lisäkysynnän tyydyttämiseen tarvittavista uusinvestoinneista voitaisiin toteuttaa Suomessa tukeutuen kotimaiseen puu- ja jättepohjaiseen raaka-aineeseen.
- Kohdistamalla julkista tukea uuden teknologian kaupallistamiseen, kotimainen tuotanto voidaan saada hinnaltaan kilpailukykyiseksi tuontiin nähden.
- Herkkyystarkastelussa arvioitiin niin fossiilisten polttoaineiden, biopolttoaineiden kuin sähköautojen hintamuutoksia. Kun biopolttoaineiden hintaa nostettiin 30% ja fossiilisten polttoaineiden hintaa laskettiin 30%, biopolttoaineiden ja sähkön perustuvien käyttövoimavaihtoehtojen keskinäinen järjestys ei muuttunut. Jos polttomootoriauton ja sähköauton hintaero poistuu ajan myötä, sähköautoskenaarioiden arvonlisävaikutukset lähestyvät bioskenaarioita.
- Sinällään, jos voimassa on sitova päästöjen vähennystavoite, fossiilisten polttoaineiden hinnan merkitys vähenee, ja kilpailu käydäänkin ensisijaisesti hiilineutraalien vaihtoehtojen, biopolttoaineiden, sähkön ja vedyn välillä.
- Sähköautojen kalliin hinnan takia niiden laajamittainen käyttöönotto kannattaa vasta silloin, kun autojen kustannustaso on teknologiakehityksen myötä merkittävästi alentunut.
- Kaluston uusiutumisen ei voida asettaa velvoitetta. Jos kaasu- ja sähköautojen myyntiä halutaan tulevaisuudessa merkittävästi lisätä, tulee siihen löytää Suomen tilanteeseen sopivat ohjaukeinat. Näitä voivat olla mm. niiden suosiminen julkisten toimijoiden hankinnoissa, joka toimisi esimerkkinä, ja tukisi pitemmällä aikavälillä myös toimivien jälkimarkkinoiden muodostumista. Jälkimarkkinoilla on erittäin merkittävä vaikutus kuluttajien ostopäätöksiin jälleenmyyntiarvojen kautta.

12.2 Toimenpide-ehdotukset

Lopullinen Suomelle kohdistettava päästövähennystavoite selvinnee vasta vuonna 2016, jolloin myös tulevien Pariisin ilmastoneuvotteluiden 2015 tulos on selvillä. Sen jälkeen päätettäneen EU:n ilmasto- ja energiapaketin yksityiskohdista, mukaan lukien kansallinen taakan-

jako, eli kansalliset vähentämistavoitteet ei-päästökauppasektorin ja liikenteen päästöille Mikäli liikennesektorille tarvitaan suuruusluokaltaan 20 %:n päästövähennyksiä vuoden 2005 tasoon verrattuna, tässä työssä on analysoitu koko kansantalouden kannalta kustannustehokkaimpia ratkaisuja.

Valinnoilla tulee yhtä lailla pitää huolta olemassa olevien autojen tarvitsemista polttoaineista, mutta samalla luoda edellytyksiä uusien vaihtoehtojen yleistymiselle.

Tältä pohjalta voidaan esittää seuraavat toimenpide-ehdotukset.

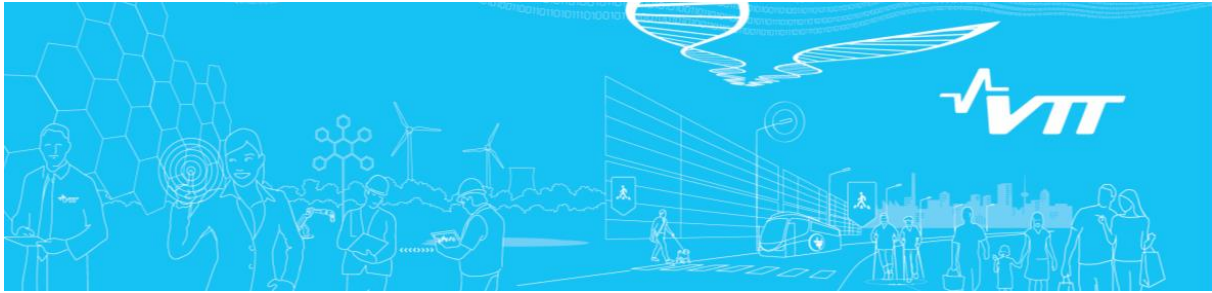
- Valittaessa liikenteen päästöjen vähentämisen ohjauskeinoja, tulee ottaa huomioon eri teknologioiden kypsyyssasteet sekä niiden taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristövaikutukset.
- Edistyksellisten biopolttoaineiden markkinoille tulon edistämiseksi tulee nykyistä biopolttoaineiden jakeluvaikeutta jatkaa vuoden 2020 jälkeen, ja nostaa tarvittavalle tasolle vuoteen 2030 mennessä. Erikseen jää ratkaistavaksi, miten saadaan markkinoille riittävä biopolttoainemäärä myös bensiiniautoille. Bensiinin etanoliraja saattaa lähitulevaisuudessa nousta nykyisestä 10 %:sta tasolle 20-25 %. Bensiiniin voidaan lisätä drop-in -periaatteella sekoittaa myös muita bioraaka-aineesta valmistettuja komponentteja, kuten jo kaupallisesti tehdäänkin⁽⁷⁶⁾.
- Jotta biopolttoaineiden lisääntynyt käyttö ei johtaisi lisääntyneeseen tuontipolttoaineiden käyttöön, kotimaisen tuotannon tulee olla kilpailukykyistä. EU:ssa ja Suomessa voidaan tukea uusia innovatiivisia tuotantolaitoksia, ja täten alentaa niiden riskiä investoijille. Täten tulee kotimaassa tuotettujen edistyksellisten biopolttoaineiden uusin-vestointeja (jopa 1800 milj. €), ja kehitystyötä tukea. Jos lisätarve on 600 000 toe/a, tarvitaan kotimaista ja EU-rahoitusta innovatiivisten laitosten investointiavustuksiin noin 600 milj. €.
- Biokaasun käytön lisäämiselle suurimman esteen muodostaa autokaluston vähyys ja polttoaineen jakeluverkon rajallisuus, ei biokaasun tuotantopotentiaali. Jos kaasun käyttöä halutaan edistää, tulee tämä ongelma ratkaista ottaen huomioon, että mikään tuontiajoneuvojen hankintaan kohdistuva suora julkinen tuki ei ole kansantalouden näkökulmasta kannattavaa.
- Sähköautojen laajamittaisempi lisääminen ja ohjauskeinojen valinta on ajankohtaista vasta vuoden 2020 jälkeen. Niiden tulon kannattaa kuitenkin varautua mm. latausmahdollisuuksien rakentamiseen liittyvien säädösten ajanmukaistamisella.
- Samasta kotimaisesta raaka-aineesta voidaan periaatteessa tuottaa nestemäisiä polttoaineita, kaasua ja sähköä. Verotuksen tulisi kohdella eri käyttövoimia tasapuolisesti.
- Eri energiavaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästötarkastelut tulisi tehdä elinkaariperiaatteella (ns. well-to-wheel), ja Euroopan tasolla vaikuttaa siihen, että biopolttoaineilla aikaansaavat päästövähennykset rinnastetaan uusiutuvalla sähköllä saavutettaviin (nyt sähköautot ovat kiinnostavampia autonvalmistajille, koska sähköauto lasketaan aina nollapäästöiseksi kun biopolttoainetta käyttävä auto arvotetaan samalla tavalla kuin fossiilisia polttoainetta käyttävä auto)
- Älykkään ja vähähiilisen liikenteen mahdollistamiseksi tulee varata tutkimus- ja kehittämistukia noin 50 milj. € vuoteen 2020 mennessä. Ne tulisi kohdistaa etenkin uusien ja kestävien käyttövoimavaihtoehtojen edistämiseen, edistyksellisten biopolttoaineiden, kotimaisten sähköajoneuvojen ja latauslaitteiden teknologiakehitykseen ja valmistukseen, sekä energiatehokkuuden lisäämiseen ja älyliikenteen luomien uusien palvelukonseptien kehittämiseen ja laaja-alaiseen demonstrointiin. Tämän lisäksi yritysten demonstraatiolaitokset edellyttävät investointien julkista riskirahoitusta.

13. Bibliography

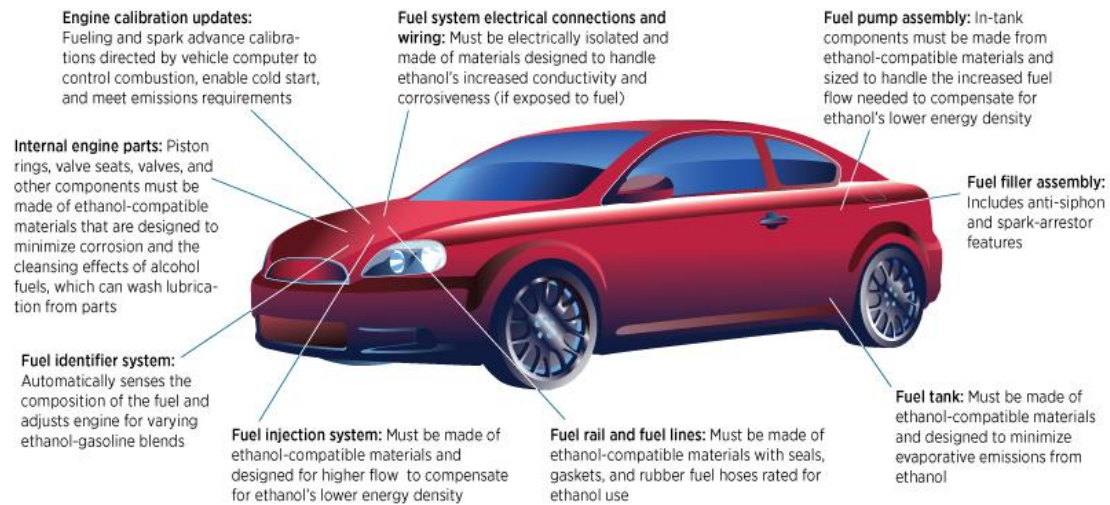
VITTEET SIVUN ALAVIITTEINÄ

14. Liitteet

- Liite 1 Ajoneuvojen kehitysnäkymät ja vaihtoehtoisten ajoneuvojen tarjonta
- Liite 2 Uudet polttoaineet ja moottorikonseptit
- Liite 3 Biopolttoaineita koskevat standardit ja muut säädökset
- Liite 4 Polttoaineiden ja energian jakelu
- Liite 5 VATTAGE-mallin tietoperusta ja rakenne
- Liite 6 Laskennan tausta-aineistoa
- Liite 7 Työskenaariot lukuina
- Liite 8 VATTAGE tulokset kuvina
- Liite 9 Summary in English



Special Components of a Flex Fuel Vehicle



Biopolttoaineet 2020 – 2030 tavoitteissa ja liikenteen muu uusiutuva energia: Ajoneuvojen kehitysnäkymät ja vaihtoehtoisten ajoneuvojen tarjonta

Kirjoittaja: Nils-Olof Nylund

Luottamuksellisuus: Julkinen

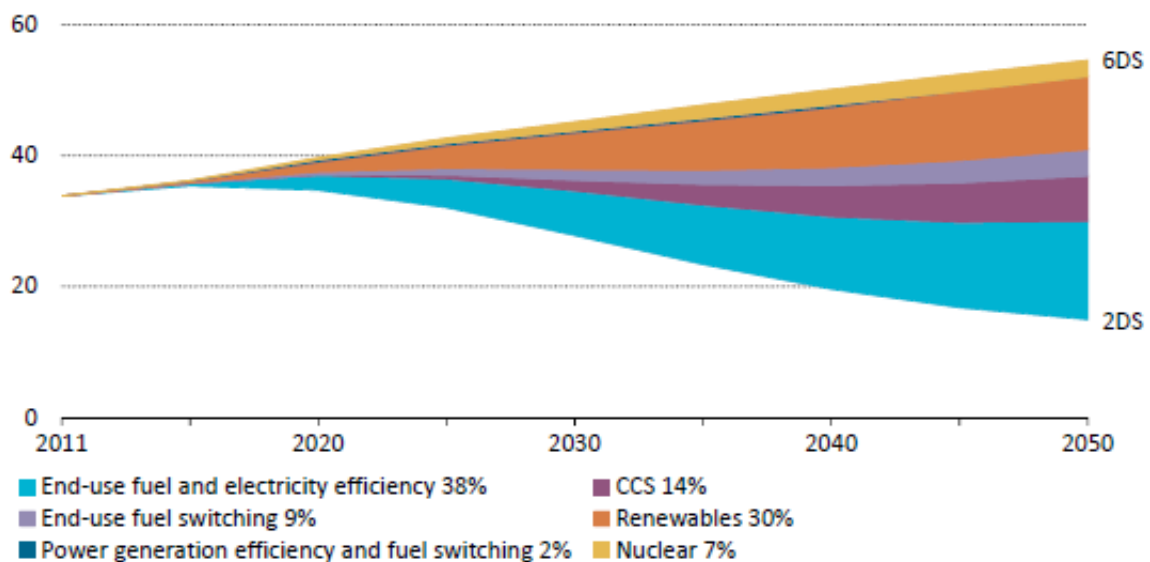
Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	3
1. Pitkän aikaväin kehitysnäkymät - yleistä	4
2. Eri liikennemuotoihin sopivat käyttövoimavaihtoehdot.....	12
3. Yleiskatsaus tieliikenteen teknologiavaihtoehtoihin ja niiden kehityssuuntiin.....	14
4. Perinteisen ajoneuvoteknologian kehityssuunnat.....	18
4.1 Polttomoottorien kehittyminen.....	18
4.2 Hybridisointi	22
4.3 Muu ajoneuvotekninen kehitys.....	23
5. Polttoainevaihtoehdot	24
6. Vaihtoehtoiset ajoneuvot ja niiden tarjonta.....	25
6.1 Yleistä.....	25
6.2 Etanoliautot.....	26
6.2.1 Yleistä.....	26
6.2.2 Etanoliautojen tarjonta	28
6.3 Kaasuautot	30
6.3.1 Yleistä.....	30
6.3.2 Kaasuautojen tarjonta	33
6.4 Sähköautot	35
6.4.1 Yleistä.....	35
6.4.2 Sähköautojen lataus	39
6.4.3 Sähköautojen lukumäärän kehittyminen.....	43
6.4.4 Sähköautojen tarjonta	48
6.5 Polttokennoajoneuvot	52
7. Esimerkkejä eri ajoneuvotekniikoiden päästöistä ja energian kulutuksesta	56
7.1 Yleistä.....	56
7.2 Koko energiaketjun CO ₂ -päästöt (well-to-wheel).....	56
7.3 Koko polttoaineketjun energian käyttö	59
7.4 Henkilöautojen säännellyt päästöt ja energian kulutus.....	61
7.5 Kuorma-autojen säännellyt päästöt ja energian kulutus	63
8. Esimerkkejä autojen hinnoista	65
Viitteet	66

1. Pitkän aikaväin kehitysnäkymät - yleistä

Maailman tasolla liikenteen osuus energian loppukäytöstä on 28 % (IEA 2014). Yleinen käsitys on, että maailman kasvihuonekaasupäästöjä pitäisi leikata noin 50 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä, jotta maapallon lämpötilan nousu rajoittuisi 2 asteeseen. Jotta kehittyville maille jäisi ”kasvun varaa”, kehittyneiden maiden tulisi leikata kasvihuonekaasupäästöjään luokkaa 80 % vuoteen 2050 mennessä (ERTRAC 2014).

Kuvassa 1 on IEA:n käsitys siitä, millä toimenpiteillä maapallon lämpötilan nousu voitaisiin rajoittaa 2 asteeseen (2DS). Kuva on Energy Technology Perspectives 2014 julkaisusta. Tärkeimpiä toimenpiteitä ovat energiatehokkuuden parantaminen ja uusiutuvan energian hyödyntäminen. IEA tarkastelee kolmea skenaariota, 6DS (”nykymeno jatkuu katastrofaalisin seurauksin”), 4DS (eri maiden julkistamat energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävät toimenpiteet toteutuvat) ja 2DS (tavoiteltava kehitys).



Kuva 1. Toimenpiteet maapallon lämpötilan nousun rajoittamiseksi 2 asteeseen. (IEA ETP 2014)

Liikenteen osalle on strategiasta riippuen asetettu 60 – 80 % päästövähennystavoite vuoteen 2050. Luku 60 % on peräisin Komission vuoden 2011 liikenteen valkoisesta kirjasta. Perustelu tälle alhaisemmalle luvulle on se, että päästöjen vähennys liikenteestä on haastavampaa kuin muilta sektoreilta, esim. rakennusten lämmityksestä.

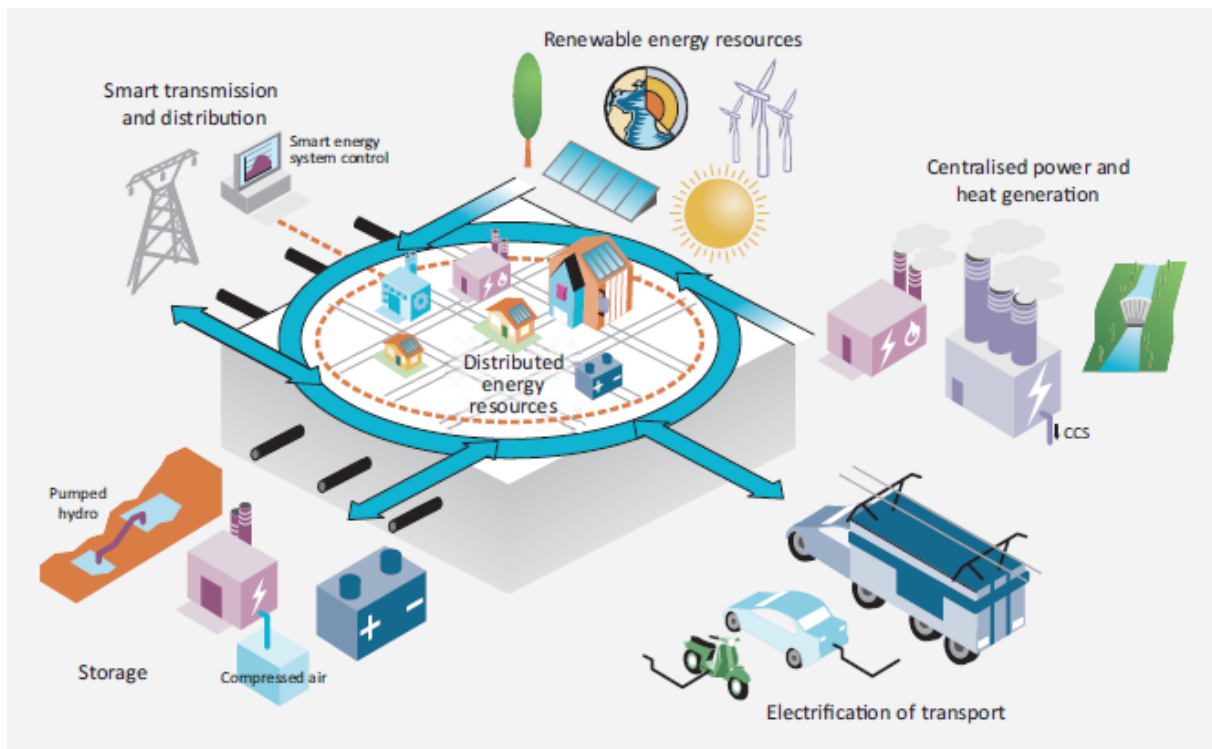
IEA:n Renewable Energy Technology Deployment tutkimussopimuksen RETRANS-projektin raportti vuodelta 2010 luettelee neljä pääkeinoa liikenteen päästöjen vähentämiseksi (RETRANS 2010):

- Ajoneuvojen energiantarpeen vähentäminen
- Siirtyminen vähähiilisiin tai hiilineutraaleihin energiamuotoihin
- Siirtyminen energiatehokkaampiin tai vähemmän hiilidioksidipäästöjä aiheuttaviin liikennemuotoihin
- Liikenteen kysynnän kasvun taittaminen

IEA teki vuonna 2013 raportin liikenteen infrastruktuuritarpeista (Dulac 2013). Dulac toteaa:

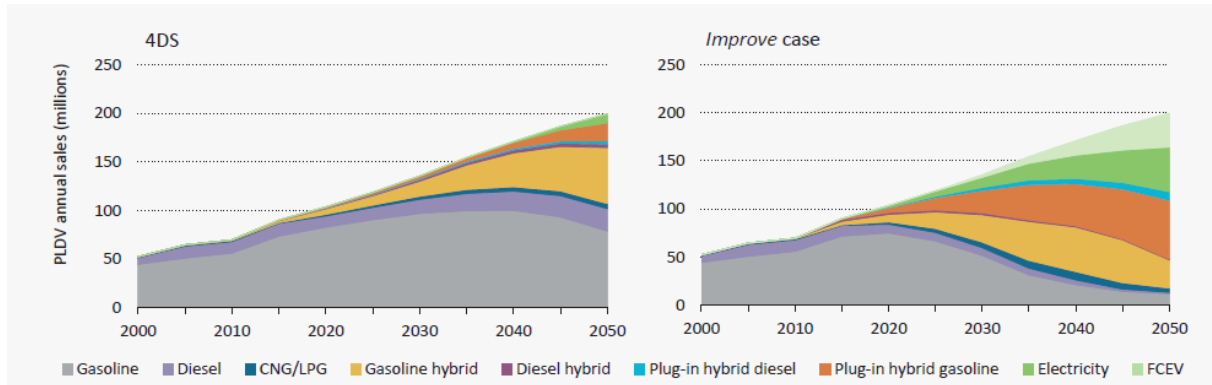
”Maapallomme ei kestä ”business-as-usual” kasvua liikennesektorilla. Tarvitaan merkittäviä muutoksia, joko hyödyntämällä ICT:tä tai siirtymällä tehokkaampiin liikennemuotoihin tai näiden yhdistelmällä. Varsinkaan kehittyvissä maissa ei tule olemaan mahdollista rakentaa teitä 3 miljardia autoa varten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

Liikenteen osalta kuvassa 1 oleva ”kahden asteen 2DS” skenaario sisältää ”avoid/shift/improve” –toimenpiteitä (vältetään liikennettä, käytetään tehokkaampia liikkumis- ja kuljetusmuotoja, otetaan käyttöön vähäpäästöisiä energiamuotoja ja energiatehokkaita ajoneuvoja). Pelkkä polttoaineiden ja ajoneuvojen parantaminen ei siis riitä aikaansaamaan toivottuja päästövähennyksiä, lisäksi tarvitaan älykkäitä ja energiatehokkaita liikennejärjestelmiä. IEA:n vuoden 2014 Energy Technology Perspectives julkaisu painottui sähköön. Kuvassa 2 on visio älykkästä sähköjärjestelmästä, johon integroituu myös sähköistytvä liikenne.



Kuva 2. Älykäs ja integroitu tulevaisuuden sähköjärjestelmä. (IEA ETP 2014)

Edellisessä, vuoden 2012 Energy Technology Perspectives julkaisussa esitettiin arviota eri teknologioiden osuuksista uusien henkilöautojen autojen myynnissä (kuva 3). Henkilöautojen vuosimyynti kasvaa noin 70 miljoonasta vuonna 2010 noin 200 miljoonaan vuonna 2050. 4DS skenaariossa voimakkaimmin kasvattavat osuuttaan bensiinihybridit ja bensiiniä käyttävät ladattavat hybridit. Vuonna 2050 perinteisten (ilman hybridisointia olevien) bensiini- ja dieselautojen osuus on yhteensä noin 50 %. 2DS skenaariossa, joka perustuu vahvaan henkilöautojen sähköistämiseen, perinteisten autojen osuus on enää noin 10 %. Verkosta ladattavien autojen (ladattavat hybridit ja täyssähköautot) osuus on noin 60 %, ja polttokennoautojen vajaat 20 %.



Kuva 3. Eri teknologioiden osuudet uusissa henkilöautoissa IEA ETP 4DS ja 2DS skenaarioissa. (IEA ETP 2012)

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

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

NETP:n skenaariot liikenteen osalta on esitetty taulukossa 1.

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

Biopolttoaineiden osuus liikennepolttoaineissa vuonna 2050 on:

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

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

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

Taulukko 1. Nordic Energy Technology Perspectives skenaarioiden toimenpiteet ja keinot liikenteen osalta vuoteen 2050 mentäessä. (NETP 2013)

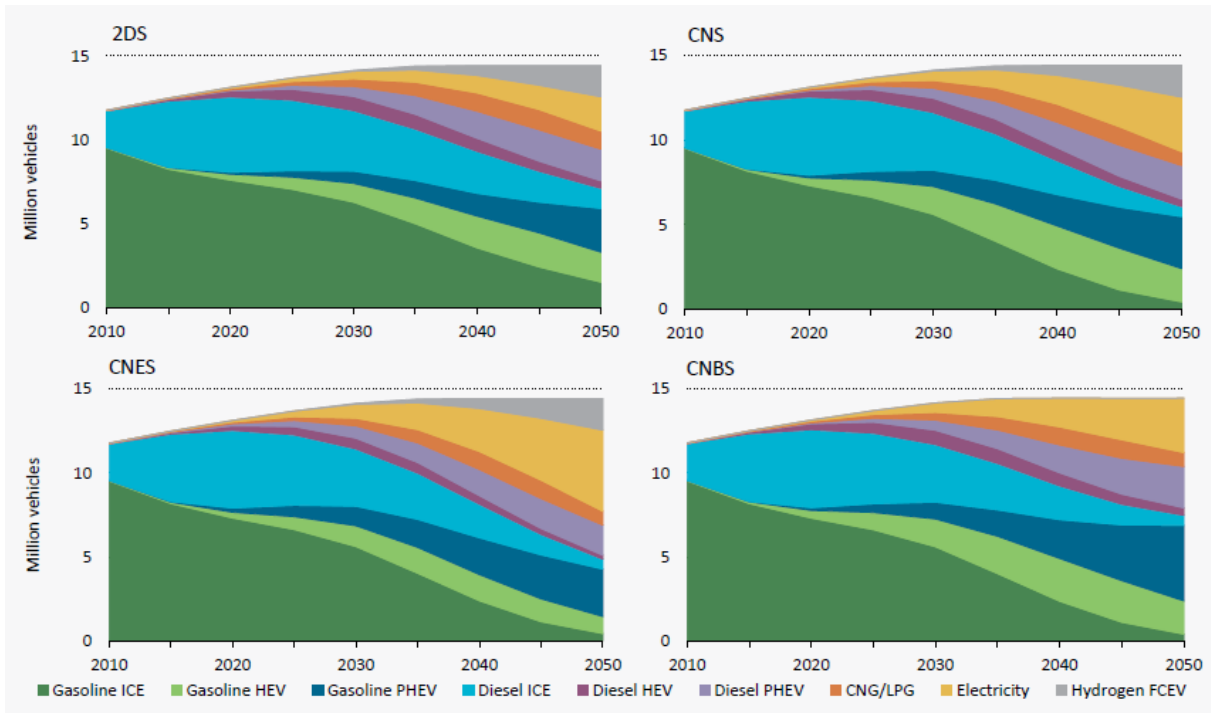
Measures/means	4DS	2DS	CNS	CNES	CNBS
Avoid	No avoidance strategy.	4% reduction in passenger transport.	4% reduction in passenger transport.	Same as CNS.	Same as CNS.
Efficiency improvements	40% reduction of average tested new PLDV fleet fuel consumption.	55% reduction of average tested new PLDV fleet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

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

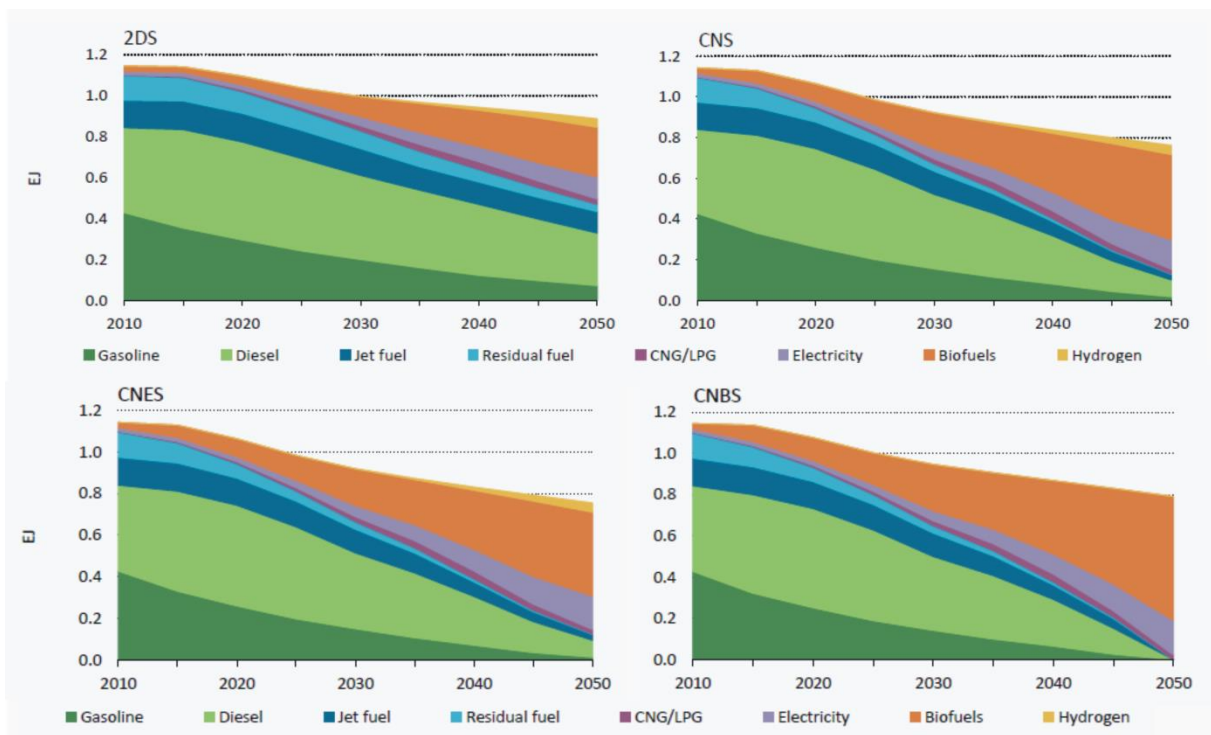
Kuvassa 4 on esitetty käytössä olevan henkilöautokaluston jakauma eri skenaarioissa (ei siis eri tekniikoiden osuudet uusien autojen myynnissä kuten kuvassa 3). Kuvassa 5 on liikenteen (kaikki liikennemuodot) käyttämän kokonaisenergian jakauma eri skenaarioissa.

2DS skenaariossa bensiinin ja dieselin yhteenlaskettu osuus liikenteen energiasta on noin 35 % vuonna 2050. Muissa skenaarioissa (CNS eri variaatioineen) bensiini katoaa käytännössä

kokonaan vuoteen 2050 mennessä. CNS ja CNES skenaarioissa dieselin osuus on noin 15 %, ja CNBS skenaariossa fossiilista bensiiniä ja dieseliä ei käytetä lainkaan.



Kuva 4. Henkilöautokannan jakauma eri NETP skenaarioissa. (NETP 2013)



Kuva 5. Liikenteen kokonaisenergian jakauma eri NETP skenaarioissa. (NETP 2013)

Kuvasta 5 nähdään myös että liikenteen energian kulutus laskee selvästi, skenaariosta riippuen 22 – 37 %. Variaatio sähkön osuudessa 2DS- ja CNS- skenaarioissa on yllättävän pieni.

ETP ja NETP kuvien perusteella voidaan arvioida eri tekniikoiden osuuksia vuonna 2030. Ottamalla tarkasteluun 2DS skenaariot, saadaan seuraavat arviot:

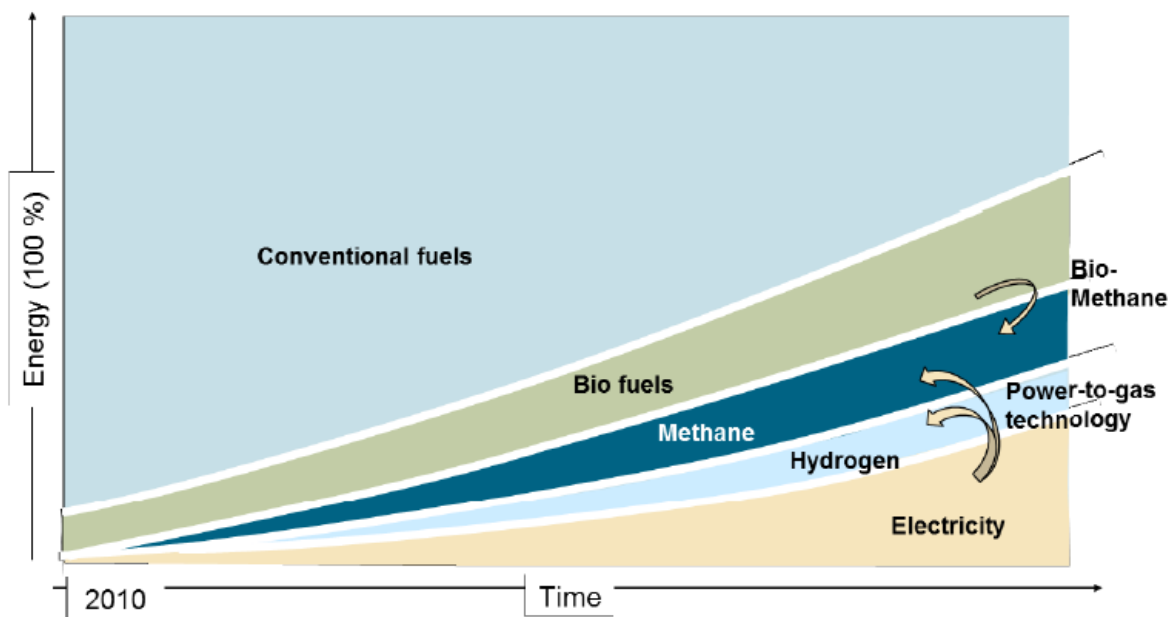
- ETP 2012 (osuudet uusista henkilöautoista)
 - Ladattavat hybridit 20 %
 - Täyssähköautot 10 %
 - Polttokennoautot 3 %
- NETP 2013 (osuudet kannassa)
 - Ladattavat hybridit 10 %
 - Täyssähköautot 4 %
 - Polttokennoautot 1 %
 - Kaasuautot 4 %

NETP 2013:n mukaan 2DS skenaariossa eri energiamuotojen osuudet koko liikennesektorin (ml. lento-, meri- ja rautatieliikenne) energiankulutuksessa ovat:

- Biopolttoaineet 10 %
- Sähkö 4 %
- Kaasu 2 %
- Vety alle 1 %

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

ERTRAC julkaisi vuonna 2014 tiekartan "European Roadmap: Energy carriers for powertrains for a clean and efficient mobility (ERTRAC 2014). Kuvassa 6 on ERTRAC:in viitteellinen esitys eri käyttövoimavaihtoehtojen yleistymisestä henkilöautoissa kohti vuotta 2050 mentäessä. Huomion arvoista tässä esityksessä on kaasumaisille polttoaineille, sekä metaanille että vedylle, merkitty iso osuus. Yksi selitys tähän voi olla se, että eurooppalainen kaasuautoyhdistys NGVA Europe oli mukana työstämässä tätä tiekarttaa.



Kuva 6. ERTRAC:in viitteellinen projektio henkilöautojen käyttövoimista kohti vuotta 2050. (ERTRAC 2014)

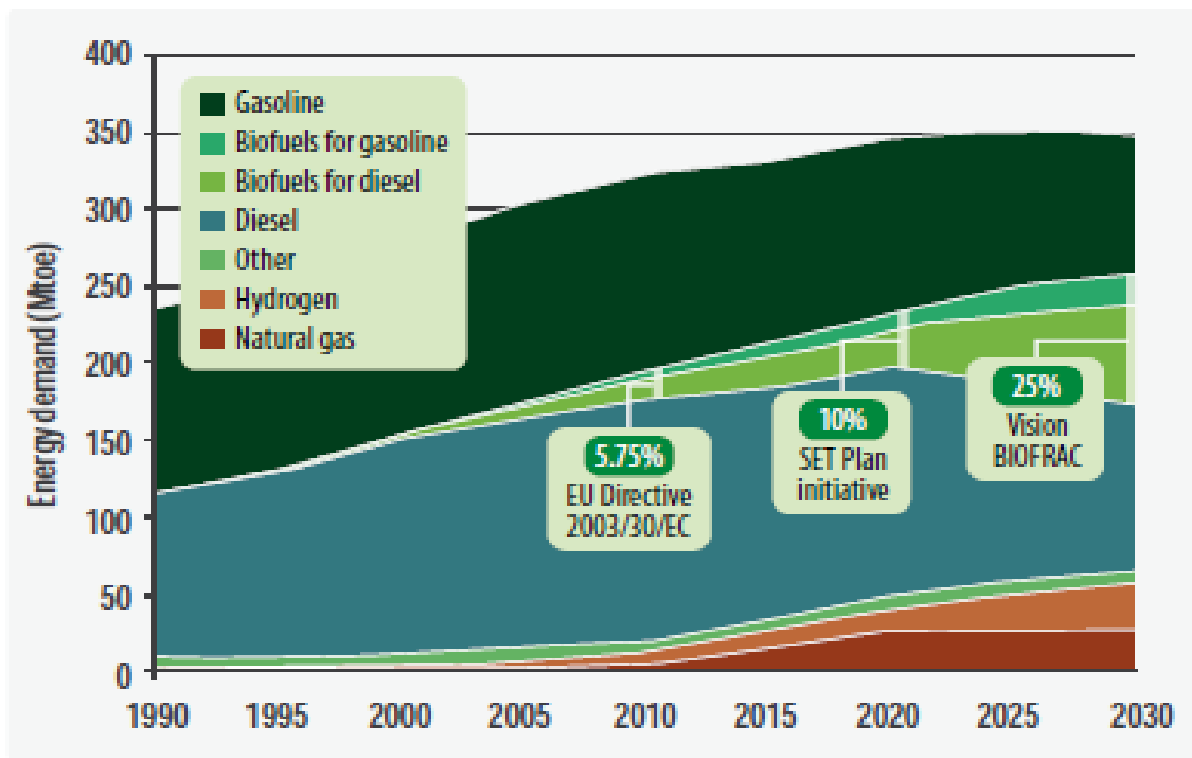
Kuvasta 6 voi lukea seuraavat liitteelliset osuudet eri käyttövoimille vuonna 2050:

- perinteiset polttoaineet ~28 %
- nestemäiset biopolttoaineet ~22 %
- metaani ~13 %
- vety ~9 %
- sähkö ~28 %

Biofuels Technology Platformin voimassa oleva ”Strategic Research Agenda (SRA)” on vuodelta 2010, ja SRA:ta ollaan paraikaa päivittämässä. Vuoden 2010 dokumentista ei löydy projektia biopolttoaineiden osuudesta, mutta tällainen löytyy vuodelle 2008 päivätystä dokumentista (kuva 7). Tämän mukaan biopolttoaineiden osuus voisi olla 25 % vuonna 2030.

Suomessa liikenneministeri Merja Kyllösen alkuvuodesta 2012 asettaman Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä -työryhmän tuli toimeksiannon mukaisesti määrittellä nykyisten liikennevälineiden ja niiden ennustetun uusiutumismuutoksen pohjalta, millaiset käyttövoimat ovat eri liikennemuotojen osalta mahdollisia tulevaisuuden Suomessa, kuinka laajassa mittakaavassa ja millaisin aikatauluin, sekä suositella toimenpiteitä. (Käyttövoimat 2013)

Työryhmä päätyi esittämään, että vuoden 2050 tavoitetilassa henkilöautoliikenne, raideliikenne sekä veneily ovat lähes täysin riippumattomia öljystä. Raskaassa liikenteessä nestemäisten ja kaasumaisten biopolttoaineiden osuus vuonna 2050 olisi vähintään 70 %. Sähkön osuuden kaupunkien bussi- ja jakeluliikenteessä tulisi olla samaa luokkaa. Ilmailussa biokerosiinilla korvattaisiin 40 % polttoainetarpeesta ja merenkulussa kestäväillä vaihtoehtoisilla polttoaineilla olisi tuettu hiilidioksidipäästöjen vähentämistä 40 – 50 %. Lentokenttien ja satamien terminaaliliikenne olisi lähes täysin päästötöntä jo vuonna 2030. Henkilöautoilua koskevan tavoitetilän saavuttamiseksi työryhmä esitti välitavoitteena, että kaikki uudet rekisteröidyt henkilöautot vuonna 2030 olisivat vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöön soveltuvia. Lisäksi energiatehokkuuden tulee parantua lähes puoleen vuoden 2013 tasosta.



Kuva 7. Euroopan liikennepolttoaineiden tiekartta vuoteen 2030. (EBTP 2008)

Ruotsissa asetettiin kesällä 2012 selvitysryhmä tutkimaan liikenteen päästöjen vähentämistä, visiona kasvihuonekaasupäästöistä vapaa liikenne vuonna 2050. Konkreettiseksi välitavoitteeksi asetettiin fossiilisista polttoaineista riippumaton ajoneuvokalusto vuonna 2030, ”Fossiloberoende fordonsflotta 2030”. (Fossiloberoende 2013)

Raportti valmistui joulukuussa 2013. Raportin tiivistelmässä todetaan:

”Kaupunkien houkuttelevuutta kehitetään vähentämällä päästöjä ja melua. Kannustamalla kävelyä, pyöräilyä ja joukkoliikenteen käyttöä vähennetään autoriippuvuutta kaupungeissa ja niiden liepeillä. Ajoneuvojen voimalinjan sähköistys mahdollistaa päästöjen vähentämisen ja laskee myös melutasoa.

Ruotsalaiselle prosessiteollisuudelle pitää luoda edellytykset kehittyneiden biopolttoaineiden tuottamiselle. Näin voidaan lisätä hiilineutraalin energian tarjontaa ja samalla vahvistaa teollisuuden kilpailukykyä. Vastaavasti ajoneuvoteollisuuden puolella tulee edistää energian käytön tehostamiseen, sähköistykseen ja biopolttoaineiden käyttöön tähtääviä teknologioita, teknologioita joita ruotsalainen autoteollisuus on jo kehittänyt ja joiden kehittämistä se jatkaa. Tämän kaltainen kehitys mahdollistaa innovaatioita, luo työpaikkoja ja mahdollistaa tärkeiden yhteiskunnallisten tavoitteiden saavuttamisen.

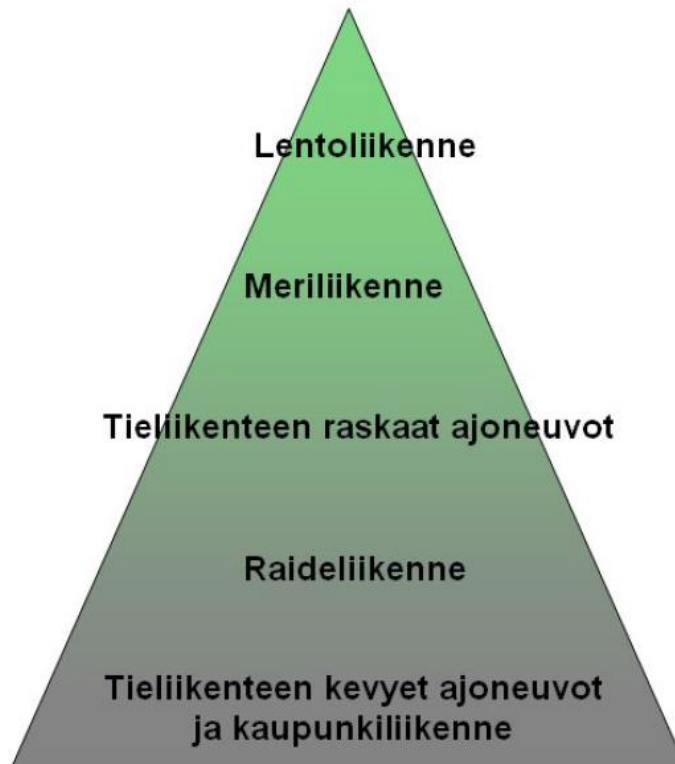
Päästöjen rajoittamisella on kiire. Tästä syystä on otettava käyttöön rinnakkaisia toimenpidestrategioita joihin kuuluu toisiaan tukevia toimenpiteitä ja ohjauskeinoja. Jos keinovalikoima on liian suppea, on vaarana ajan hukka jos valitut toimenpiteet eivät sittenkään osoittaudu tehokkaiksi. On kuitenkin selvää, että fossiiliset polttoaineet tulee korvata hiilineutraaleilla energiavaihtoehdoilla, biopolttoaineilla ja hiilineutraalilla sähköllä.

Selvityksessä päädyttiin siihen, että muutoksen aikaansaaminen edellyttää merkittäviä panostuksia seuraaviin kohteisiin:

- *Kaupunkien kehittäminen houkuttelevammiksi ja helpommin saavutettaviksi niin että liikenteen kysyntä vähenee ja liikenteen energiatehokkuus kasvaa*
- *Infrastruktuurin kehittäminen ja liikennemuotojakautumaan vaikuttaminen*
- *Energiatehokkaampia ajoneuvoja ja tehokkaampaa ajoneuvojen käyttöä*
- *Biopolttoaineet*
- *Tieliikenteen sähköistäminen”*

2. Eri liikennemuotoihin sopivat käyttövoimavaihtoehdot

LVM:n ”Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä” raportissa pohdittiin eri liikennemuotojen käyttötarpeiden priorisointia vaihtoehtoisten polttoaineiden ja käyttövoimien teknisten rajoitteiden, saatavuuden ja vaikuttavuuden pohjalta (Käyttövoimat 2013). Lento- ja laivaliikenteen osalta vaihtoehtoja on vähän, ainakaan kaupallisessa lentoliikenteessä sähköistys ei ole vaihtoehto. Keveiden ajoneuvojen ja kaupunkiliikenteen osalta vaihtoehtoja on selvästi enemmän (kuva 8).



Kuva 8 . Eri liikennemuotojen polttoaineen käyttötarpeiden priorisointi esitettynä. (Käyttövoimat 2013)

EU Komissio pohjusti direktiiviä vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta (2014/94/EU) julkaisemalla alkuvuodesta 2013 vaihtoehtoisia polttoaineita koskevan strategian ”Puhdasta energiaa liikenteen alalla: eurooppalainen vaihtoehtoisten polttoaineiden strategia” (COM(2013) 17 final). Dokumentissa todetaan mm. seuraavaa:

”Vaihtoehtoisia polttoaineita koskevan johdonmukaisen pitkän aikavälin strategian on täytettävä kaikkien liikennemuotojen energiatarpeet ja oltava Eurooppa 2020 -strategian mukainen. Tavoitteisiin kuuluu myös hiilidioksidipäästöjen vähentäminen. Käytettävissä olevat vaihtoehdot ja niiden kustannukset ovat kuitenkin eri liikennemuodoissa erilaiset. Vaihtoehtoisten polttoaineiden hyödyt ovat alkuvaiheessa suuremmat kaupunkialueilla, joilla epäpuhkauspäästöt ovat suuri huolenaihe, ja tavaraliikenteessä, jossa vaihtoehtoiset polttoaineet ovat jo pitkälle kehittyneitä. Tietyissä liikennemuodoissa, erityisesti maanteiden pitkän matkan tavaraliikenteessä ja ilmailussa, vaihtoehtoja on vain vähän. Liikkuvuuden tulevaisuuden kannalta **ei ole olemassa yhtä ainoaa polttoaineratkaisua**, ja kaikkia tärkeimpiä vaihtoehtoisia polttoaineita on pyrittävä kehittämään keskittyen kunkin liikennemuodon tarpeisiin.”

Dokumenttiin sisältyy myös taulukko eri liikennemuotojen käyttövoimavaihtoehdoista (taulukko 2).

Taulukko 2. Tärkeimpien vaihtoehtoisten polttoaineiden kattamat liikennemuodot ja toimintasäde. (COM(2013) 17 final)

Muoto Polttoaine Toimintasäde	Maanteiden henkilöliikenne			Maanteiden tavaraliikenne			Ilmailu	Rautatie	Vesiliikenne		
	Lyhyt	keski-pitkä	Pitkä	Lyhyt	keski-pitkä	Pitkä			sisä-vesiliikenne	lähi-meriliikenne	meriliikenne
LPG											
Maa- kaasu	LNG										
	CNG										
Sähkö											
Biopolttoaineet (nestemäiset)											
Vety											

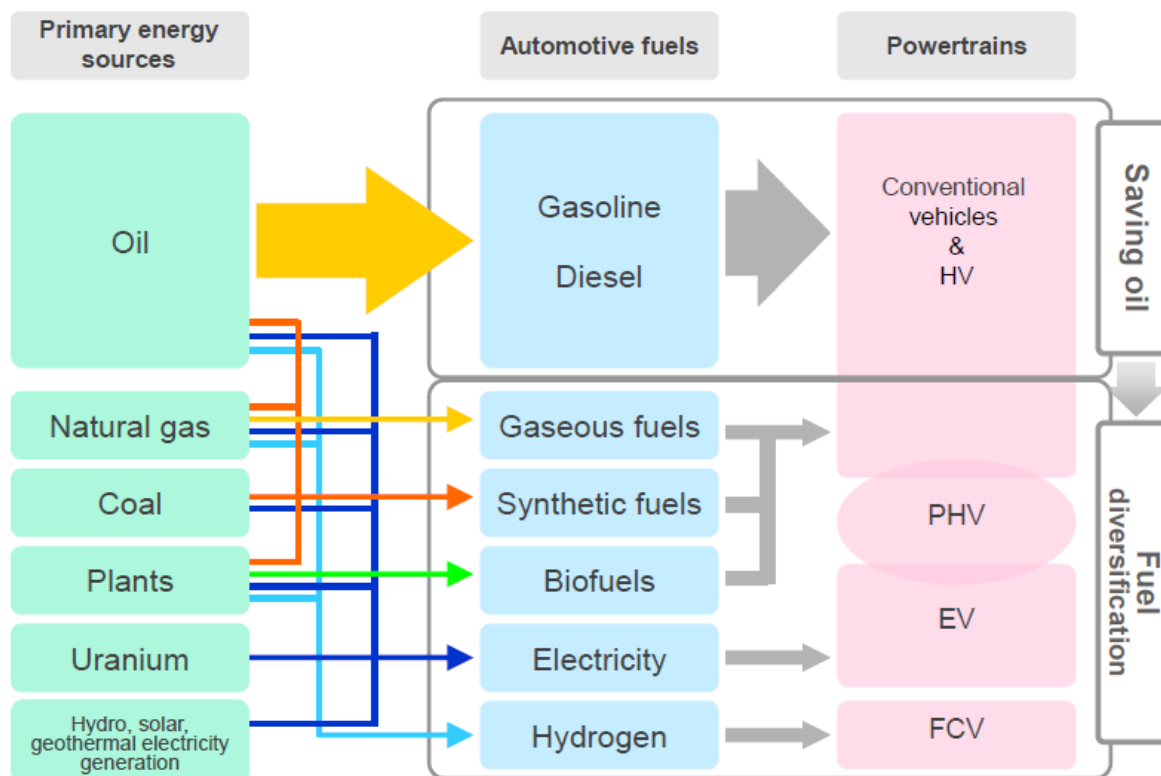
3. Yleiskatsaus tieliikenteen teknologiavaihtoehtoihin ja niiden kehityssuuntiin

Kuvassa 9 on kaaviollisesti esitetty primäärienergian lähteet, energiankantajat ja loppukäytön vaihtoehdot tieliikenteessä. Loppukäytön osalta on kaksi päävaihtoehtoa, polttomoottori tai sähköinen voimalinja, ja myös näiden yhdistelmä (hybridi) on mahdollinen. Kaaviokuvassa biopolttoaineet on kuvattu edistyksellisinä biopolttoaineina, eli biomassassa muutetaan joko synteettisiksi polttoaineiksi (synteettinen biokaasu tai nestemäiset tuotteet) tai vedyksi.

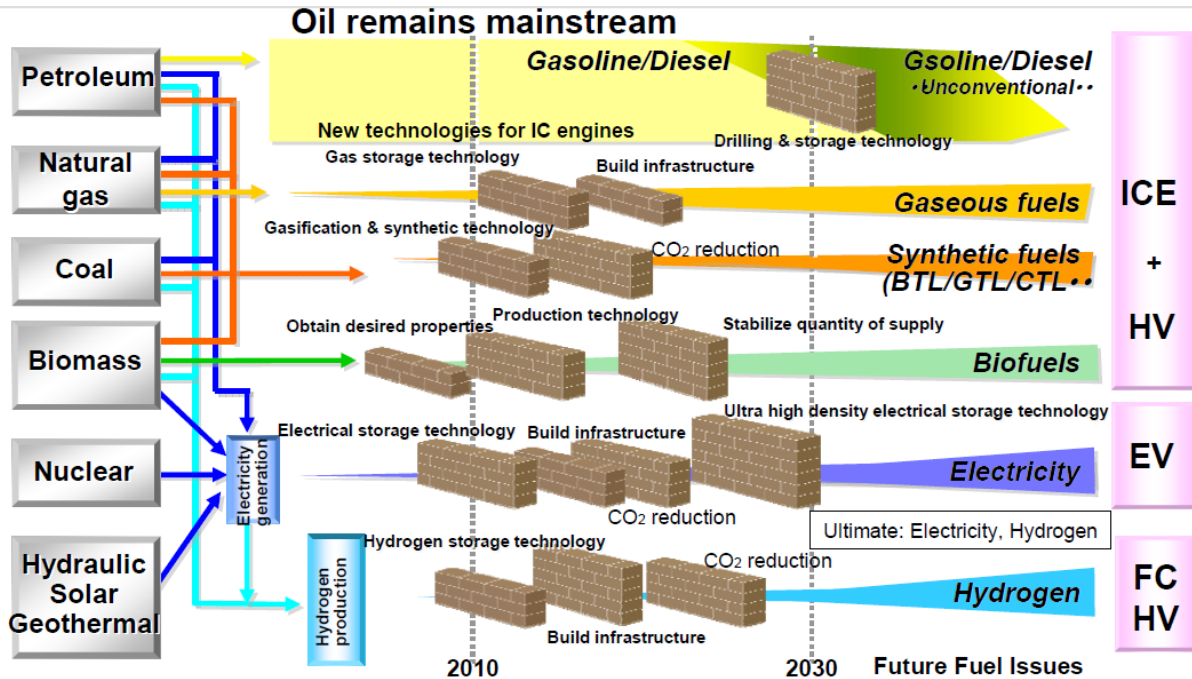
Tanaka (2011) on esittänyt vastaavanlaisen kaavion johon on lisätty haasteet eri teknologioiden osalta (kuva 10). Tanakan mukaan öljypohjaiset polttoaineet tulevat dominoimaan kunnes joudutaan siirtymään pääasiassa ei-perinteisiin öljylähteisiin. Polttomoottoreita kehitetään jatkuvasti.

Kaasumaisten polttoaineiden käyttöä rajoittavat sekä kaasun varastoinnin vaatima tila autossa että tarve erityiselle tankkausverkostolle. Synteettisten polttoaineiden osalta haasteet riippuvat käytetystä raaka-aineesta, biomassan (BTL) osalta haasteet liittyvät kaasutukseen ja synteetikaasun puhdistukseen, maakaasun (GTL) ja hiilen (CTL) osalta lähinnä hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseen.

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



Kuva 9. Primäärienergian lähteet, energiankantajat ja loppukäytön vaihtoehdot. (Hirose 2014)



Kuva 10. Eri teknologiapolkujen haasteet. (Tanaka 2011)

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

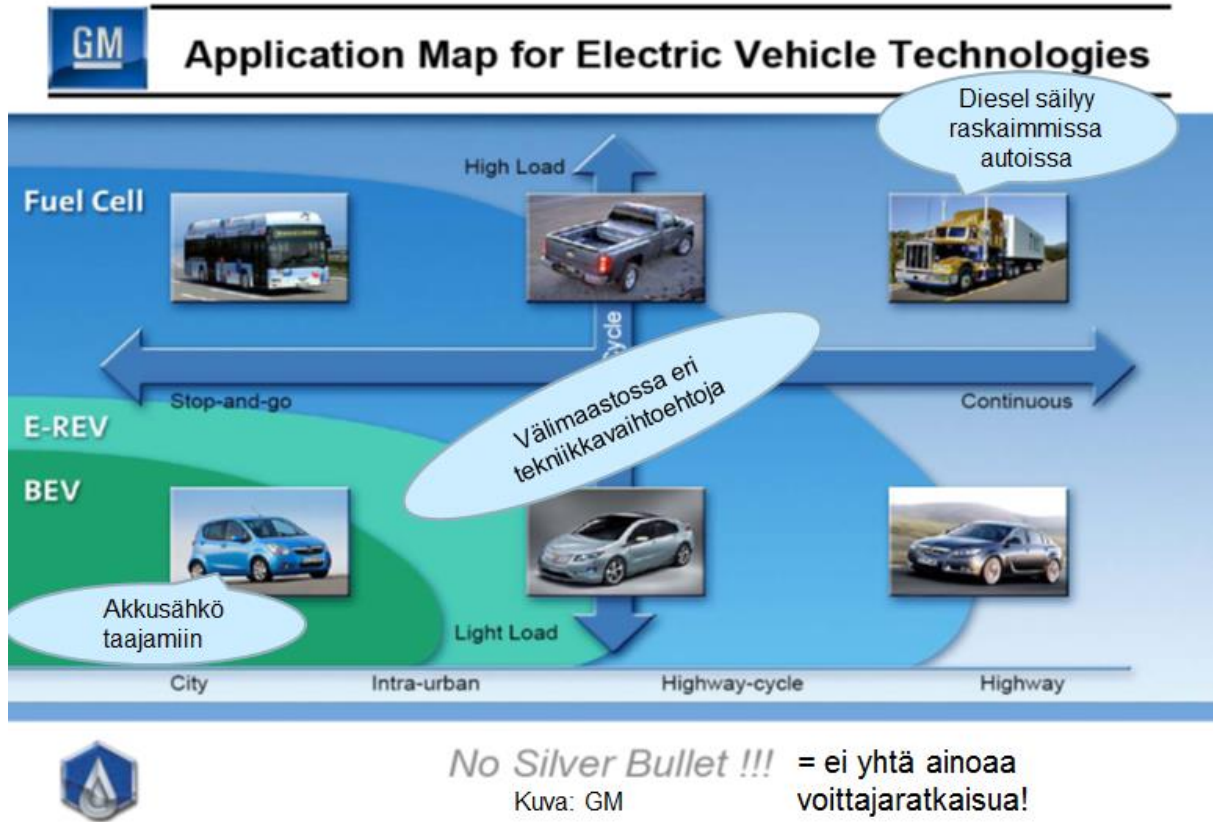
Polttokennoautojen osalta mainitaan niin ikään energian varastointi (kuitenkin niin että vedyn varastointi on helpompaa kuin sähkön varastointi), infrastruktuurin tarve (vielä suurempi haaste kuin sähköautojen osalta) ja sähkön tapaan hiilidioksidipäästöt, jos vety valmistetaan muusta uusiutuvasta energiasta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

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

Kuvassa 11 on tarkasteltu sähköistyksen mahdollisuuksia tieliikenteessä. Akkusähkö on parhaimmillaan taajamissa ja alhaisilla kuormilla. Raskaisiin kuorma-autoihin ja pitkille matkoille akkusähkö ei sovellu, välimaasto voisi soveltua polttokennoautoille.

Johdinbusseilla on pitkä historia. HSL selvitytti johdinautojen käyttöönottoa Helsingissä vuonna 2011 (Johdinautoliikenteen hankeselvitys 2011). Tuolloin päätöstä johdinautojen käyttöönotosta ei vielä tehty. Kaupunkibussien sähköistäminen kiinnostaa kuitenkin kaikkialla. Johtimiin perustuva pikalataus saattaa olla yksi tuloillaan oleva tekniikka, eli tulevaisuuden sähköbusseissa saattaa olla sekä akut että ajoittainen energian syöttö reitin varrella (kts. kuva 30).

Ruotsin ”Fossiloberoende fordonsflotta” –selvityksessä mainitaan maanteiden sähköistäminen. Mm. Siemens kehittää johdintekniikkaa myös kuorma-autoihin. Siemens on rakentanut 1,5 km:n pituisen koeradnan Berliinin pohjoispuolelle (kuva 12, Siemens 2012).



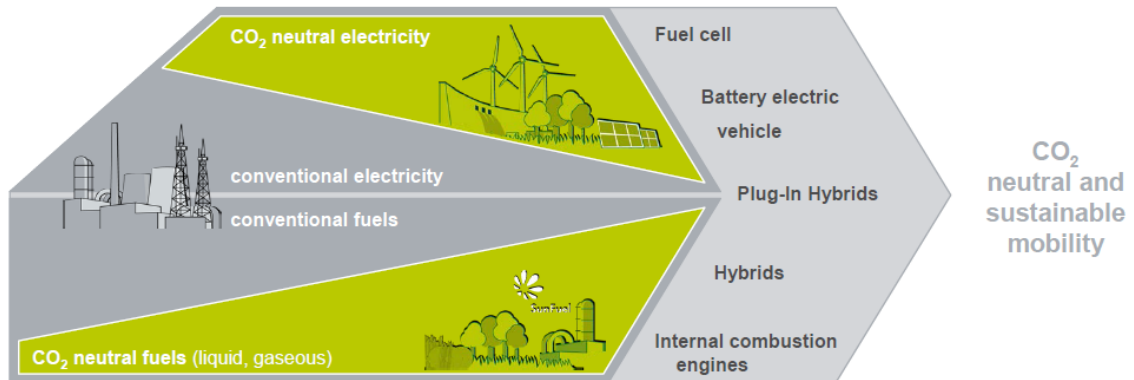
Kuva 11. Tielikenteen sähkösovellukset. (Wheeler 2010, täydennetty)



Kuva 12. Siemensin sähköistetyin maantien koerata. (Siemens 2012)

Pääraportin luvussa 4 Volkswagen mainitaan esimerkkinä autonvalmistajasta, jolla on tarjota useita käyttövoimavaihtoehtoja. Kuvassa 13 on esitetty Volkswagenin strategia rinnakkaisista voimalinjavaihtoehdoista, toisin sanoen perinteisiä polttomoottoriin perustuvia voimalinjaratkaisuja kehitetään rinnan sähköisten voimalinjaratkaisujen kanssa. Yhteistä molemmille on vaiheittainen siirtyminen hiilineutraaliin energiaan.

Volkswagen Powertrain and Fuels Strategy Coexistence of propulsion systems



- ⇒ Coexistence of conventional powertrains and electrified mobility
- ⇒ Decarbonisation of the energy carrier and higher powertrain efficiency
- ⇒ A portfolio of various drivetrains will fulfil the customer expectations

Kuva 13. Volkswagenin strategia rinnakkaisista voimalinjavaihtoehdoista. (Schmerbeck 2014)

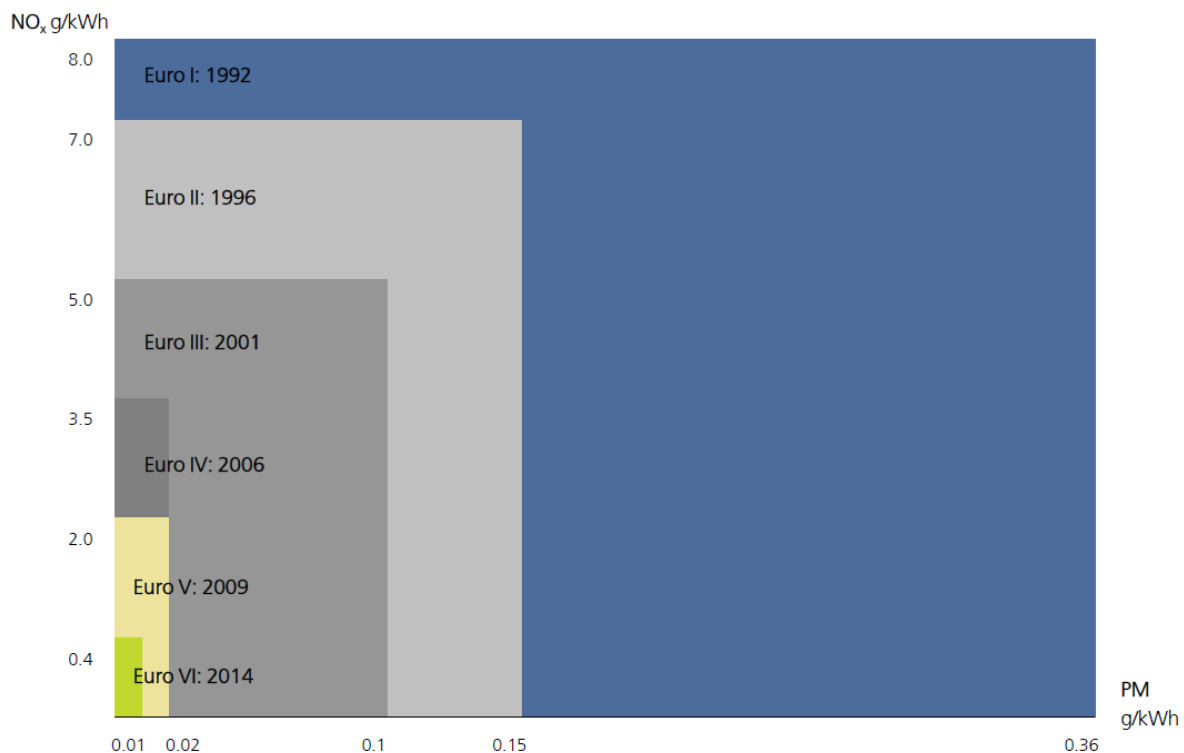
4. Perinteisen ajoneuvoteknologian kehityssuunnat

4.1 Polttomoottorien kehittyminen

Tulevina vuosikymmeninä polttomoottorilla tulee edelleen olemaan merkittävä asema tielikenteen voimanlähteenä, niin henkilöautoissa kuin raskaassa kalustossa.

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

Kuva 14 näyttää päästörajoitusten kehittymisen, esimerkki on raskaan kaluston moottoreille. Euro I vaatimukset astuivat voimaan 1992. Euro VI –määräyksiin mentäessä hiukkaspäästöjen raja-arvo on alentunut 97 % ja typenoksidipäästöjen raja-arvo 94 %. Useimmat valmistajat käyttävät pakokaasujen takaisinkierrätyksen (exhaust gas recirculation EGR), ureakatalyysaattorin (selective catalytic reduction SCR) ja hiukkassuodattimen (diesel particulate filter DPF) yhdistelmää.



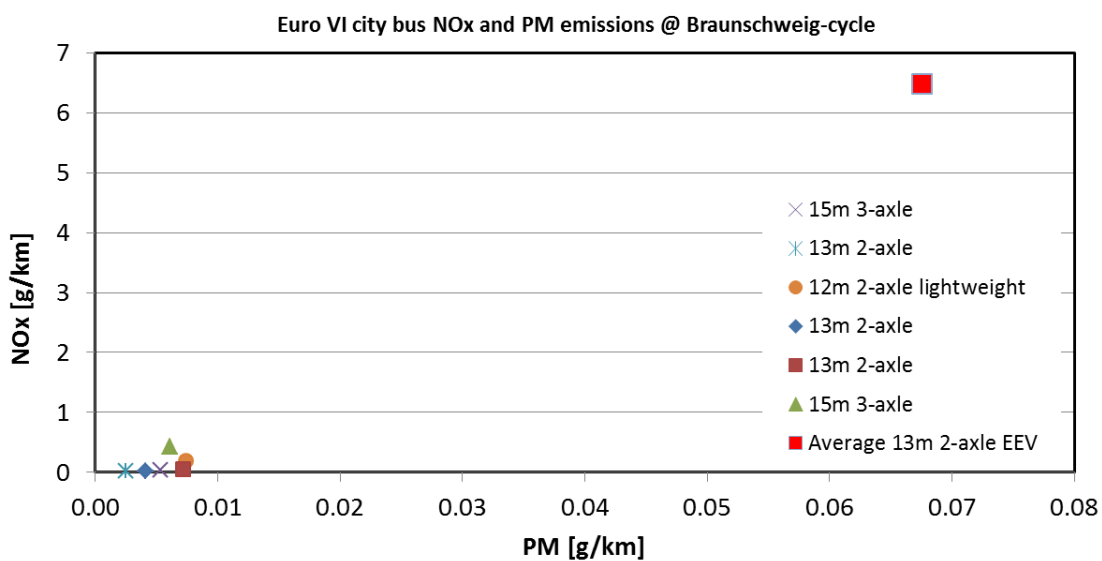
Kuva 14. Raskaan kaluston päästömääräysten kehittyminen. (Integer 2013)

VTT:llä on mitattu raskaiden ajoneuvojen suorituskykyä jo toistakymmentä vuotta. Euro I, II ja III tasoisten autojen todellinen suorituskyky vastaa sitä mitä päästöluokkien perusteella voisi päätellä. Euro IV, V ja EEV – autojen (EEV= ”Euro V plus”) päästöt sen sijaan olivat keskimäärin huomattavasti odotettua korkeammat. Uudet Euro VI autot, niin bussit kuin kuorma-autot, näyttäisivät kuitenkin toimivan erittäin hyvin.

Kuvassa 15 on Euro VI busseille mitattuja typenoksidi- ja hiukkaspäästöarvoja suhteessa EEV-autojen keskiarvoon. Kuvassa 16 on eri päästöluokkia edustavien bussien laskennallinen päästöhaitta ajokilometriä kohti. Tulokset perustuvat VTT:n mittaustuloksiin sekä puhtai-

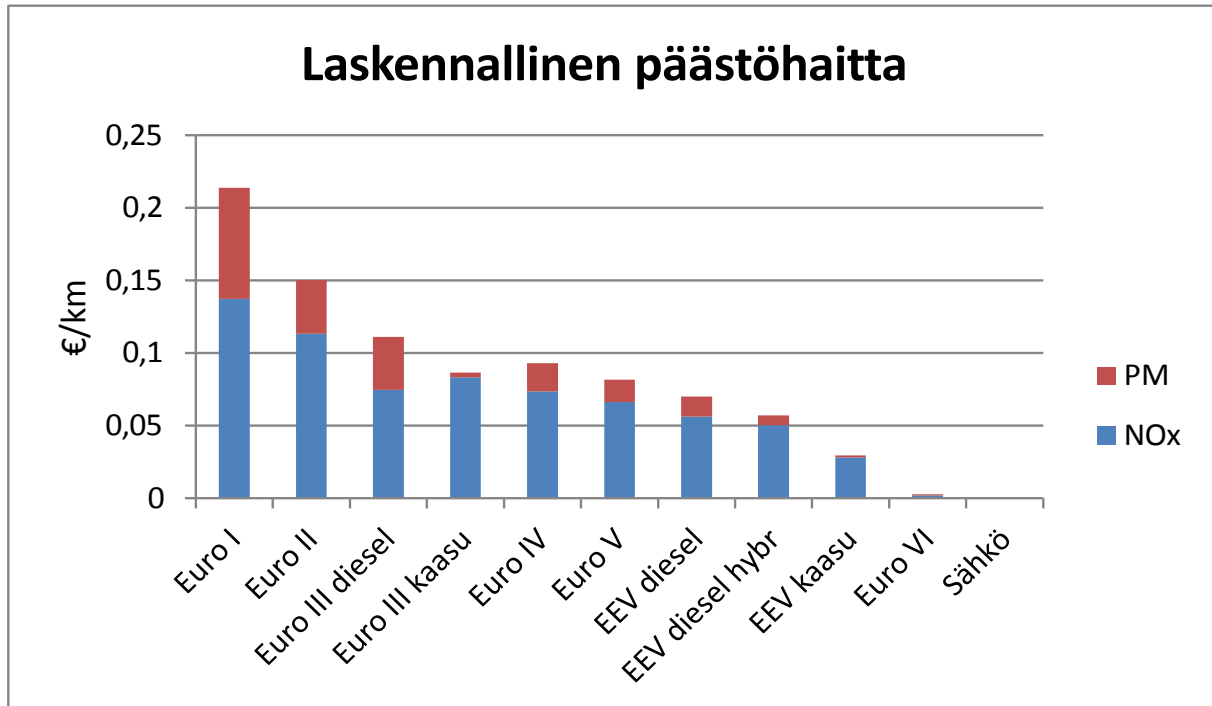
den ja energiatehokkaiden tieliikenteen moottoriajoneuvojen edistämistä koskevassa direktiivissä (2009/33/EY) annettuihin päästöjen laskennallisiin haitta-arvoihin. Euro VI bussien osalta laskennallinen haitta on niin alhainen, 0,3 senttiä/km, ettei se käytännössä eroa nollapäästöisestä sähköbussista.

Valitettavasti energiatehokkuudessa ei ole tapahtunut yhtä merkittäviä muutoksia, eikä niitä ole odotettavissakaan. Volvo (Lundgren 2014) arvioi 40-tonnisen puoliperävaunuyhdistelmän kuluttavan tasaisessa ajossa vajaa 30 l/100 km. Jotta tällainen yhdistelmä olisi ”2050 kelpoinen”, sen täytyisi fossiilisella dieselillä toimiessaan kuluttaa vain noin 8 l/100 km (kuva 17). Jos tähän mentäisiin pelkällä ajoneuvoteknisellä kehityksellä, tämä merkitsisi 3 % vuosittaisista alenemaa polttoaineen kulutuksessa, mikä on tekninen mahdollisuus. Lundgren arvioi mahdolliseksi säästöpotentiaaliksi 25 – 30 %, loppu pitää saavuttaa kehittämällä logistiikkajärjestelmän tehokkuutta ja hyödyntämällä uusiutuvia polttoaineita.

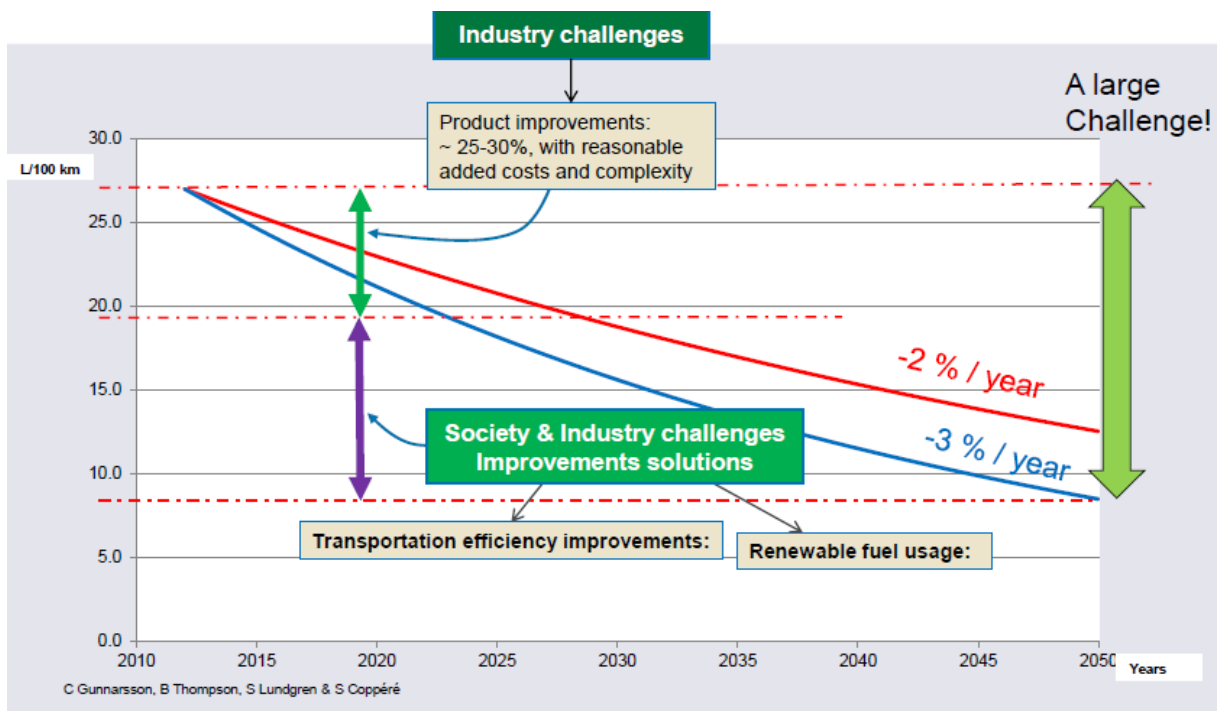


Kuva 15. Euro VI bussien typenoksidi- ja hiukkaspäästöt suhteessa EEV bussien keskiarvoon. VTT:n mittaustuloksia.

Bensiiniautoissa 90-luvun alussa käyttöön otettu kolmitoimikatalysaattoritekniikka laski säänneltyjä päästöjä todella merkittävästi (vastaavan luokan hyppäys raskaan kaluston osalta tapahtui siis vasta vuosina 2013 -2014). Euro 5 päästömääräykset toivat dieselhenkilöautoihin hiukkassuodattimet. Suoraruiskutustekniikan käyttöönotto bensiinimoottoreissa on johtanut siihen, että bensiinimoottoreista saattaa tulla enemmän hiukkaspäästöjä kuin suodattimella varustetuista dieselautoista. Niinpä suoraruiskutuksella varustetuille bensiiniautoille on hiukkaspäästöraja (mg/km) Euro 5 päästöluokasta alkaen, ja Euro 6 määräykseen sisältyy myös raja hiukkasten lukumäärälle (DieselNet). Henkilöautojen osalta Euro 6 päästönormi astuu täysmääräisesti voimaan syksyllä 2015, mutta hiukkasten lukumäärän rajoituksen osalta on valmistajilla ylimenoaikaa kolme vuotta (Komission asetus (EU) N:o 459/2012, §4). Syynä tähän myöhästyttämiseen olivat pitkät viiveet lukumäärämittauksen kehittämisessä, joihin vedoten autoteollisuus saattoi vaatia sopeutumisaikaa. Yhdysvalloissa suunnitellaan jo suoraruiskutteisten bensiinimoottorien varustamista hiukkassuodattimin (Johnson 2013).



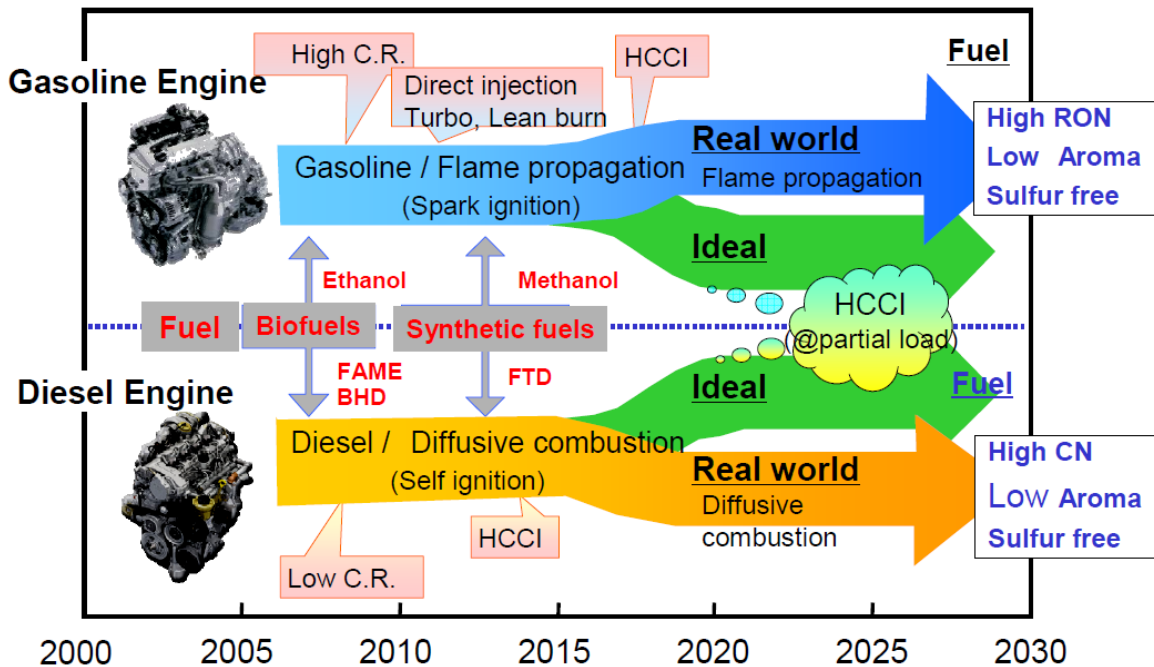
Kuva 16. Kaupunkibussien laskennallinen päästöhaitta. Perustuu VTT:n mittauksiin ja direktiivissä 2009/33/EY annettuihin päästöjen haitta-arvoihin.



Kuva 17. Haasteet kuorma-autokaluston polttoaineen kulutuksen/hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. (Lundgren 2014)

Bensiini (otto)- ja dieselmoottorit ovat jo monessa suhteessa lähestyneet toisiaan. Yhteistä on mm. turboahtaminen, polttoaineen suoraruiskutus ja pakokaasun puhdistuslaitteiden soveltaminen. Myös ns. "down-sizing", ts. moottorien fyysinen koon pienentäminen ja keski-

määräisen kuormitusasteen nostaminen polttoainetalouden parantamiseksi on käytössä mo- lemmissa moottorityypeissä. Uusista palamisjärjestelmistä, joissa yhdistyvät homogeeninen seos ja itsesytyminen (esim. controlled auto-ignition (CAI) ja homogenous charge compression ignition HCCI), toivotaan parannusta energiatehokkuuteen ja päästöjen hallintaan (kuva 18). Aiheesta lisää liitteessä 2.



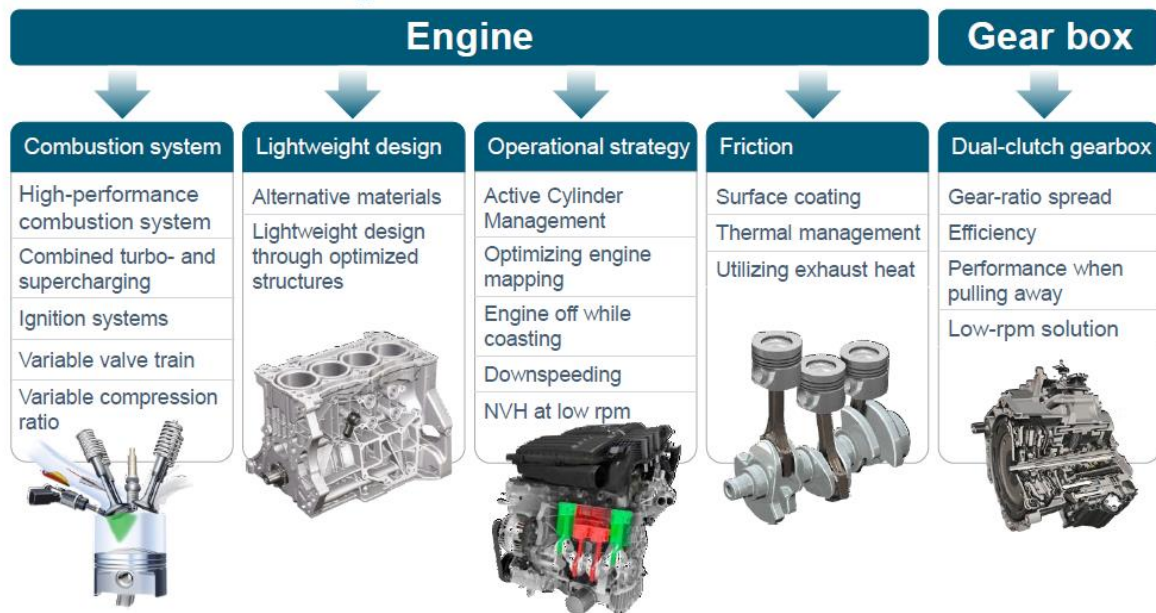
Kuva 18. Bensiini- ja dieselmoottorien kehityssuuntia. (Tanaka 2011)

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

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

Lisäksi todetaan, että polttomoottorin optimaalinen käyttö edellyttäisi täysin säädettävissä olevaa voimalinjaa. Käytännössä tämä tarkoittaa hybridisointia, mikä mahdollistaa polttomoottorin käyttämisen polttoaineen kulutuksen ja/tai päästöjen kannalta optimaalisella kuormalla. Kuvassa 19 on Volkswagenin käsitys kehityskohteista polttomoottorin hyötysuhteen parantamiseksi.

Samat kehityskohteet ovat periaatteessa relevantteja myös raskaan kaluston moottoreiden osalta. Raskaiden ajoneuvomoottoreiden maksimihyötysuhde lähentelee jo 50 %:a. Tanakan mukaan myös bensiinimoottorien hyötysuhde on parantumassa. Henkilöautoissa sekä bensiini- että dieselmoottoreille tavoitellaan vajaan 50 %:n maksimihyötysuhdetta vuoteen 2020 mennessä (Takana 2011).

Measures to improve CO₂ efficiency

Kuva 19. Kehityskohteen polttomoottorin hyötysuhteen parantamiseksi. (Schmerbeck 2014)

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

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

Down-sizing näkyy hyvin nyt tarjolla olevissa henkilöautomalleissa. Trendin aloitti Volkswagen ehdetuilla 1,2 ja 1,4 litran moottoreilla. Nyt mm. BMW, Ford, PSA (Citroen & Peugeot) ja Mini (BMW:n omistuksessa) tarjoavat kolmisylinterisillä moottoreilla varustettuja malleja. Ennätys lienee FIATilla, jolla on jopa vain 2-sylinterinen 0,9-litran bensiinimoottori tuotannossa. Varsin kehittyneellä, turboahtimen ja muuttuvan venttiilien ohjauksen yhdistävällä ”TwinAir”-kaasunvaihtotekniikalla moottori tuottaa kuitenkin 85 hp tehon (FIAT UK, 2015).

Uusia polttoaineita ja moottorikonsepteja on tarkasteltu tarkemmin liitteessä 2 ”Uudet polttoaineet ja moottorikonseptit”.

4.2 Hybridisointi

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

Hybridisoinnilla saavutettava säästö riippuu ajosyklistä. Kaupunkibussi on varsin otollinen hybridisoinnin kohde, ja polttoaineen säästö on tyypillisesti luokkaa 25 - 30 %. Bussin hybridisointi ei automaattisesti laske säänneltyjä päästöjä, ei varsinkaan typenoksidipäästöjä, joiden taso riippuu ensisijaisesti SCR järjestelmän lämpötilasta ja toiminnasta.

Volvo on ilmoittanut, ettei se enää jatkossa toimita perinteisellä voimalinjalla varustettuja matalalattaisia kaupunkibusseja. Perusmalli tulee olemaan rinnakkaishybridiversio. (Jobson 2013)

Toyota ilmoitti vuoden 2015 alussa että yhtiö oli vuoden 2014 mennessä myynyt yhteensä 7 miljoonaa hybridautoa. (Toyota 2015)

4.3 Muu ajoneuvotekninen kehitys

Muita keinoja moottori- ja voimalinjakehityksen lisäksi autojen energiatehokkuuden parantamiseksi ovat mm. auton omapainon, vierintävastuksen ja ilmanvastuksen pienentäminen. Auton painon merkitys korostuu kaupunkiajossa, ilmanvastuksen maantieajossa. Henkilöautojen osalta suorituskyvystä tinkiminen olisi helppo ja kustannustehokas ratkaisu energiatehokkuuden parantamiseksi.

Henkilöautojen valmistajat ovat melkein järjestään onnistuneet pudottamaan uusien automalien omapainoa paremman suunnittelun, suurlujuusterästen, erilaisten kevytmetallien ja jopa komposiittimateriaalien avulla. henkilöautossa 10 %:n painonvähennys alentaa polttoaineen kulutusta 6 – 7 %.

Raskaiden ajoneuvojen kohdalla tilanne on hieman toisenlainen. Moottoreita ei yleensä ylimitoiteta, koska talous ohjaa vahvasti ajoneuvovalintoja. Raskaille yli 44 tonnin yhdistelmille on itse asiassa olemassa minimitehon vaatimus, 5 kW per tonni, eli 60 tonnin yhdistelmän vetämiseen tarvitaan vähintään 300 kW:n teho ja 76 tonnin 380 kW:n teho (Trafi 2013). Omapainon vähentäminen kuorma-autojen osalta voi olla haasteellista, koska kuorman paino suhteessa ajoneuvon omaan painoon on suuri. Bussipuolelta löytyy esimerkkejä kevytrakenteisistä autoista joissa sekä kori että alusta on tehty alumiinista.

5. Polttoainevaihtoehdot

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

Tässä liitteessä ei sen tarkemmin käsitellä niitä polttoainevaihtoehtoja, jotka eivät edellytä muutoksia ajoneuvoihin. Tällaisia polttoaineita ovat eri biokomponentit käytettynä sellaisina pitoisuuksina, että valmis polttoaineseos täyttää polttoaineiden laatudirektiivin 2009/30/EY ja eurooppalaisten polttoainestandardien (EN 228 bensiinille ja EN 590 dieselpolttoaineelle) vaatimukset. Ns. drop-in polttoaineet eivät myöskään edellytä muutoksia ajoneuvokalustoon. Hyvä esimerkki drop-in polttoaineesta on TS 15940:2012 esistandardin mukainen parafiininen dieselpolttoaine. Tietyin edellytyksin raskaan kaluston ns. fleet-käytöissä on myös mahdollista käyttää 100 %:n perinteistä esterityyppistä (FAME) biodieseliä (EN14214).

Biopolttoaineita koskevia standardeja ja muita säädöksiä on tarkasteltu tarkemmin toisessa, erillisessä liitteessä ”Polttoainestandardit ja normit” (Liite 3).

Seuraavia polttoainevaihtoehtoja ei voi käyttää tavanomaisissa bensiini- ja dieselajoneuvoissa:

- Kaasumaiset polttoaineet
 - Metaani (maakaasu, puhdistettu biokaasu)
 - Nestekaasu (LPG)
 - Dimetyylieetteri (DME)
 - Vety

- Korkeaseosteinen etanoli
 - E85, ED95

Ym. polttoaineille tarkoitettuja ajoneuvoja sekä sähkö- ja polttokennoautoja tarkastellaan seuraavassa kappaleessa otsikon ”Vaihtoehdoiset ajoneuvot ja niiden tarjonta” –otsikon alla.

6. Vaihtoehtoiset ajoneuvot ja niiden tarjonta

6.1 Yleistä

Vaihtoehtoisuus sinällään ei välttämättä ole itseisarvo. Vaihtoehtoja punnittaessa ei pitäisi lukkiutua tiettyyn tai tiettyihin teknologiavaihtoehtoihin, vaan arviointien perustana tulisi olla tietyt suorituskykyvaatimukset tai selkeästi muotoillut tavoitteet tekniikkaneutraalisuus säilyttäen. Kaikkia rahoja ei myöskään kannata niin sanotusti laittaa ”yhden hevosen varaan”. Tämä oli myös yksi Ruotsin ”Fossiloberoende fordonsflotta” –selvityksen loppupäätelmistä.

Ruotsista löytyy myös esimerkkejä huonosti suunnitelluista kannustimista vaihtoehtoisille ajoneuvoille. Noin 10 vuotta sitten Ruotsissa alettiin myöntää kannustimia, mm. pysäköinti- ja veroetuisuuksia, ympäristöystävällisille henkilöautoille, silloisen ”Miljöbil” määritelmän mukaisille autoille. Henkilöautojen käyttäjille suunnatut kannustimet lisäsivät kaasuautojen ja erityisesti etanoliautojen (flex-fuel) kysyntää.

Miljöbil-määrittelyissä oli kuitenkin puutteita, koska määrittelyt perustuvat osittain pelkkään käyttövoimaan, eivätkä autojen todelliseen suorituskykyyn. VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut) suhtautui flex-fuel autoihin erittäin kriittisesti mm. siksi, ettei autoja tuolloin pakokaasusertifioitu E85-polttoaineella. Määrittelyt eivät myöskään suosineet energiatehokkaita autoja, koska polttoaineen kulutukselle asetetut rajat olivat väljät tai ne puuttuivat kokonaan (Nylund et al. 2006). Täydellinen pakokaasutestaus flex-fuel autoille, mukaan lukien matalan lämpötilan (-7 °C) pakokaasukoe E75 polttoaineella, on tullut vaatimuksena vasta Euro 6-määräysten myötä.

Sittemmin Ruotsin Miljöbil-määritelmää on muutettu useamman kerran. Nykyisessä järjestelmässä lasketaan auton omapainon ja käyttövoiman huomioiva CO₂ päästön referenssiarvo, ja tämän arvon alittava auto saa huojennuksen vuosittaisesta ajoneuvoverosta viiden vuoden ajan. Vaihtoehtoautoille sallitaan perinteisiä ajoneuvoja korkeammat CO₂ vertailuarvot. Päästöluokan tulee olla Euro 5 tai Euro 6. Sähköautoilla (täyssähköautot ja ladattavat hybridit) sähkön kulutus saa olla enintään 37 kWh/100 km. (Transportstyrelsen 2015)

Ruotsista löytyy Tukholman, Malmön ja Energystyrelsen:in ylläpitämä ympäristöystävällisten autojen miljöfordon.se –portaali (<http://www.miljofordon.se/>). Tästä portaalista voi hakea erilaisia vaihtoehtoautoja mutta myös energiatehokkaita perinteisiä autoja. Henkilöautojen osalta sivusto tunnistaa seuraavat tekniikkavaihtoehdot:

- Bensiini
- Diesel
- Hybridi (autonominen)
- Etanoli
- Kaasu
- Ladattava hybridi
- Täyssähkö

Kevyiden tavara-autojen osalta järjestelmä tunnistaa kaasu- ja sähköautot. Myös raskaista kuorma-autoista on olemassa luettelo, jossa kaikki eri vaihtoehdot (mukana mm. 100 %:n perinteinen biodiesel FAME, metaani, dual-fuel metaani/diesel, etanoli ED95 ja hybridi) ovat yhdellä ja samalla listalla.

Vaihtoehtopolttoaineautojen osalta käytetään yleisesti seuraavia termejä:

- Bi-fuel (auto pystyy toimimaan kahdella eri polttoaineella, tyypillisesti bensiini ja kaasu)
- Dual-fuel (auto käyttää samanaikaisesti kahta polttoainetta, tyypillisesti diesel ja kaasu, auto pystyy yleensä toimimaan myös pelkällä dieselillä)

- Flex-fuel tai Multifuel (auto joka voi käyttää mitä tahansa bensiinin ja korkeaseosetanolin kombinaatiota)¹
- Monofuel (auto pystyy toimimaan vain tietyllä vaihtoehtoisella polttoaineella, esim. DME, metaani, lisäaineistettu dieseletanoli)

6.2 Etanoliautot

6.2.1 Yleistä

Etanoli soveltuu periaatteessa hyvin ottomoottorin polttoaineeksi. Etanolia käytetään yleisesti bensiinin seoskomponenttina, ja etanoli onkin maailman yleisin vaihtoehtoinen polttoaine. Euroopassa bensiinin etanolipitoisuus on enintään 10 til-%, Yhdysvalloissa 15 % ja Brasiliassa se tulee nousemaan 25 %:sta 27 %:iin (Reuters 2015).

Bensiinimoottori saadaan melko vähäisin muutoksin toimimaan myös korkeaseosetanolilla (E85). Korkeaseosetanolissa on aina tietty määrä hiilivetyjä tai muita polttoaineen höyrynpainetta nostavia komponentteja kylmäkäynnistyksen varmistamiseksi². Suomessa St1 on yhteistyössä VTT:n kanssa kehittänyt kylmiin olosuhteisiin optimoidun RE85-polttoaineen (Laurikko et al. 2013).

Flex-fuel auto pystyy toimimaan millä tahansa bensiinin ja korkeaseosetanolin kombinaatiolla. Tärkeimmät muutokset bensiiniautoon verrattuna ovat:

- Muutettu polttoaineen ohjaus- ja syöttöjärjestelmä joka pystyy tunnistamaan käytössä olevan polttoaineen ja joka pystyy syöttämään tarpeeksi polttoainetta (etanolin tilavuuspohjainen lämpöarvo on n. 35 % pienempi bensiinin verrattuna)
- Etanolia kestävät materiaalit koko polttoainejärjestelmässä
- Tiedetyt turvallisuutta parantavat tekniset ratkaisut (mm. polttoaineen täyttöaukon liekin-sammutin, polttoainejärjestelmän komponenttien sähköinen eristys)

Kuvassa 20 on esitetty flex-fuel etanoliautossa tarvittavat modifikaatiot. Valmistajan tekemänä näiden muutosten kustannusvaikutus on melko marginaalinen.

Euroopassa flex-fuel autojen toiminta korkeaseosetanolilla tuli pakokaasulainsäädännön piiriin vasta Euro 5 päästömääräysten myötä. Euro 5 määräykset edellyttävät flex-fuel etanoliauton testausta korkeaseosetanolilla vain lämpimässä (noin +23 °C). Vasta Euro 6 määräykset edellyttävät flex-fuel etanoliautojen täydellistä testausta kahdella polttoaineella, mukaan lukien matalan lämpötilan eli -7 °C:een päästökokeen hiilimonoksidille ja palamattomille hiilivedyille. Koska etanoli höyrystyy bensiiniä huonommin, tämä -7 °C testi saattaa olla flex-fuel etanoliautolle haasteellinen vaikka siinä käytetäänkin ”talvilaatuista” polttoainetta eli E75 laatuja. Ainakin Volkswagen on kuitenkin onnistunut sertifioimaan Euro 6 -tasoisia flex-fuel autoja.

Ruotsissa jälkikonvertointi E85 polttoaineelle on ollut mahdollista vuodesta 2008 lähtien. Vaatimuksena on, että muunnoksessa käytetään tyyppihyväksyttyä muunnossarjaa. miljöfordon.se portaalissa huomautetaan, että auton moottori ja polttoainejärjestelmä saattavat vaa-

¹ Periaatteessa flex fuel-auto voi olla myös dieselmoottoriauto, sillä EU-asetus 692/2008 määrittelee flex fuel vehiclen (FFV) seuraavasti:

13. ‘flex fuel vehicle’ means a vehicle with one fuel storage system that can run on different mixtures of two or more fuels;

14. ‘flex fuel ethanol vehicle’ means a flex fuel vehicle that can run on petrol or a mixture of petrol and ethanol up to an 85 % ethanol blend (E85);

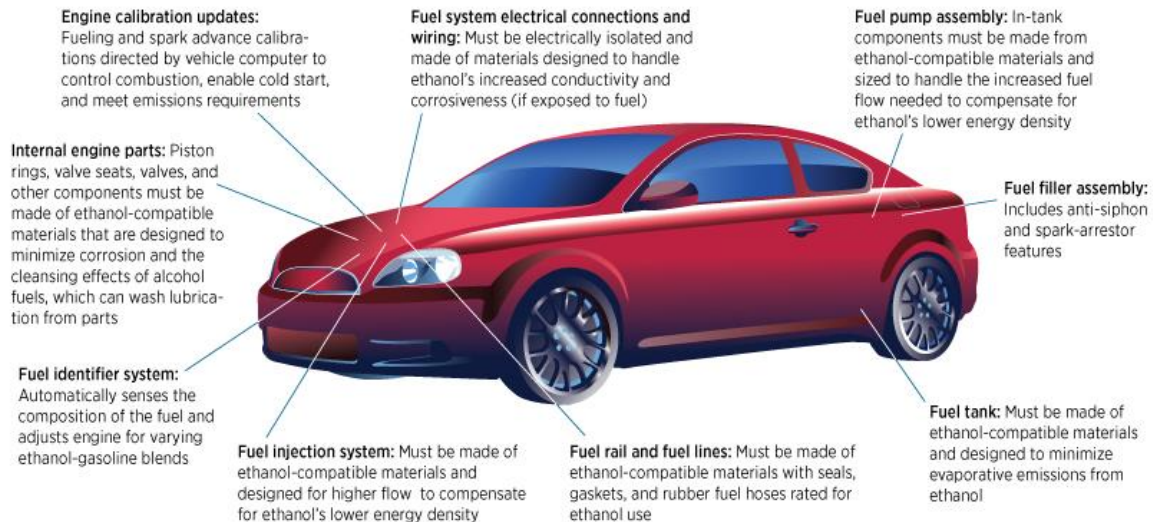
15. ‘flex fuel biodiesel vehicle’ means a flex fuel vehicle that can run on mineral diesel or a mixture of mineral diesel and biodiesel.

² Hiilivetylisäys parantaa myös turvallisuutta, koska se tekee polttoaineen palamisliekin näkyväksi. Puhdas etanolihan palaa aivan värittömällä liekillä, jolloin esim. kolaritilanteessa maahan valuneen polttoaineen palamista ei ole helppo havaita.

tia muutoksia. Sivustolla kehoitetaan varmistamaan, että auton polttoainejärjestelmän alkupe-
räiset materiaalit kestävät etanolipolttoainetta tai vaihtoehtoisesti että muutostarpeet selvi-
tään.

Suomessa liikenne- ja viestintäministeriö pyrkii mahdollistamaan vanhempien (2006-2007 ja
sitä ennen käyttöön otettujen) autojen E85 jälkikonvertoinnin. Syksyllä 2014 laaditussa muis-
tiossa ehdotetaan seuraavaa (Rautavirta 2014):

Special Components of a Flex Fuel Vehicle



Kuva 20. Flex-fuel autossa tarvittavat muutokset. (Alternative Fuels Data Center)

- Asetetaan tavoitteeksi 2017 rekisteriin merkittyjen bensiinikäyttöisten korkeaseose-
etanolille soveltuvien autojen määräksi 50 000
- Laaditaan tarvittavat säädösmuutokset, joilla helpotetaan osoittamista muutoskatsas-
tuksessa sellaisten etanolille soveltuvien enintään Euro 3-päästötason autojen vaati-
musten mukaisuuden osoittamiseksi, joihin on asennettu muunnoslaitteisto, jonka
on selvitetty yleisesti täyttävän Euro 3-tason tai uudemmat päästövaatimukset ja jonka
on asentanut tehtävään valmistajan valtuuttama tai muuten päteväksi todettu asenta-
ja
- Helpotettuja menettelyitä ei sovellettaisi Euro 4-tason ja sitä uudempiin, eikä muihin
kuin E10 yhteensopiviin ja lohkolämmittimellä varustettuihin autoihin.
- Uudempiin ajoneuvoihin ja muihin kuin ennakkotestattuihin laitteisiin sovellettaisiin
jatkossakin ajoneuvo- tai mallisarjakohtaista osoittamisvelvollisuutta

Alkoholi ei sovellu tavanomaisen dieselmoottorin polttoaineeksi, koska korkean oktaaniluvun
omaava alkoholi ei syty puristussytytteisesti. Aikaisemmin, 1980 ja 1990 luvuilla tutkittiin mm.
hehkutulpilla ja kaksoisruiskutusjärjestelmillä varustettuja alkoholimoottoreita. Detroit Dieselil-
lä oli jonkun aikaa tuotannossa kaksitahtinen hehkutulpilla varustettu Allison 92 –sarjan alko-
holimoottori sekä etanolille että metanolille (Norton 1997, Toepel et al. 1983).

Ainoa varsinaiseen kaupalliseen käyttöön yltänyt raskaan kaluston alkoholimoottori on Sca-
nian etanolimoottori, joka on ollut eri kehitysversioina markkinoilla vuodesta 1989. Polttoai-
neessa käytetään syttyvyyttä parantavaa lisäaineistusta. Lisäksi itse moottoriin on tehty tiet-
tyjä modifikaatioita (korotettu puristussuhde, lisätty polttoaineensyötön määrä, tietyt materi-
aalimuutokset). Suomessa on ollut koekäytössä kolme etanolikuorma-autoa vuodesta 2011

lähtien, ja kaksi etanolibussia aloitti liikennöinnin pääkaupunkiseudulla syksyllä 2013 (www.st1.fi).

Scanian etanolimoottori yltää likimain samaan hyötysuhteeseen kuin tavanomainen dieselmoottori. Polttoaineen ominaisuuksista johtuen hiukkaspäästöt ovat etanolilla selvästi alhaisemmat kuin perinteisellä dieselpolttoaineella Euro V ja EEV tasoisten moottorien osalta (Nylund et al. 2012). Nytemmin Scaniaalta on tarjolla myös Euro VI -etanolimoottori.

Etanolin lisäksi aikaisemmin oli kiinnostusta myös metanoliin liikennepolttoaineena. Yhdysvalloissa oli edellä mainitun Detroit Diesel metanolimoottorin lisäksi 90-luvulla myös flex-fuel metanoliautoja, ja kaksi tällaista autoa (Dodge Spirit ja Volkswagen Jetta) oli jopa VTT:n kenttätesteissä Suomessa, jossa niillä ajettiin viiden vuoden aikana 200 000 km ilman merkittävämpiä ongelmia. Metanoli on kuitenkin etanolia haastavampi polttoainevaihtoehto, niin toksisuutensa kuin materiaali vaikutustensa takia.

Teknisessä mielessä olisi edelleen mahdollista rakentaa metanolikäyttöisiä flex-fuel autoja tai raskaan kaluston metanolimoottoreita. Esteenä on kuitenkin eurooppalainen lainsäädäntö, joka tuntee ja sallii metanolin ainoastaan bensiinin seoskomponenttina 3 til.-%:n pitoisuuteen asti. Ei siis ole olemassa referenssipolttoaineita tai hyväksymismenettelyjä metanolimoottoreille. Metanolia käytetään laajemmin bensiinin seoskomponenttina mm. Kiinassa ja Israelissa.

Koska metanolin valmistus synteetisikaasusta on tehokasta, metanoliin on edelleen mielenkiintoa myös Euroopassa. Todennäköisin sovelluskohde on kuitenkin meriliikenne, jossa ei ole metanolin käyttöä estäviä säännöksiä. Eräiden arvioiden mukaan metanoli voisi jopa olla kustannustehokkaampi vaihtoehto rikkioksidipäästöjen vähentämiseen kuin nesteytetty maakaasu LNG (Stefenson 2014).

6.2.2 Etanoliautojen tarjonta

Haettaessa etanolikäyttöisiä henkilöautoja miljöfordon.se –portaalista löytyy 32 erilaista mallia. Merkkejä on kuitenkin vain kolme, Audi, Volkswagen ja Volvo. Automallejakin on loppujen lopuksi varsin rajoitetusti:

- Audi A4 (8 rinnakkaismallia)
- Volkswagen Golf (6 rinnakkaismallia)
- Volvo S60 & V60 (12 rinnakkaismallia)
- Volvo V70 (6 rinnakkaismallia)

Audeille ilmoitettu päästoluokka on Euro 5, Volkswageneille Euro 6 ja Volvoille Euro 5. Kun Euro 6 päästömääräykset astuvat lopullisesti voimaan syksyllä 2015, nähtäväksi jää supistuuko flex-fuel autojen tarjonta entisestään.

Volkswagen Passatista oli tarjolla Suomessakin varsin suosittu flex-fuel versio. Kun malli uudistui loppuvuodesta 2014, flex-fuel malli poistui ainakin toistaiseksi valikoimista. Koska saman merkin rinnakkaismallissa (Golf) on kuitenkin saatavissa 1.4-litrainen flex-fuel moottori Euro 6b-hyväksymisellä, on oletettavaa, että se tulee uudelleen saataville myös muissa malleissa, kuten Passat.

Nykyinen EU:n CO₂ laskentatapa henkilöautojen keskimääräiselle CO₂ päästölle antaa pienen bonuksen flex-fuel/E85 autoille: CO₂ päästön laskennassa flex-fuel autojen CO₂ päästöä alennetaan 5 % niiden maiden osalta, joissa vähintään 30 % polttoaineiden jakeluasemista tarjoaa E85 polttoainetta. Sen sijaan maakaasuauto hyötyy automaattisesti metaanin edullisesta hiili-vetysuhteesta, pakoputkesta mitattu CO₂ päästö laskee n. 20 % bensiinikäyttöön verrattuna. Alle 50 g CO₂/km päästäville autoille, käytännössä sähköautoille ja ladattaville hybrideille, on voimassa ns. supercredit laskentasäännöt (Wilde & Kroon 2013). Tämä tar-

koittaa sitä, ettei autonvalmistajille ole käytännössä kannustimia flex-fuel autojen tuottamiseen, toisin kuin kaasu- ja sähköautojen tuottamiseen. Tämä myös heijastuu autojen tarjontaan.

Keveiden tavara-autojen luokasta ei löydy yhtään etanoliautoa.

USA:ssa tilanne on toinen, Alternative Fuels Data Center:in listalta löytyy peräti 168 flex-fuel mallia, joukossa mukana myös keveitä tavara-autoja (Alternative Fuels Data Center). Sikä-läisessä järjestelmässä kannustimena on ns. CAFE-kulutus, jolla säädelään kunkin valmistajan tuotannon keskimääräistä polttoaineen kulutusta. CAFE-kulutusta laskettaessa FFV-autojen kulutukseksi lasketaan vain 15% kokonaiskulutuksesta, eli etanoliosuus jätetään kokonaan huomioimatta. Siihen, että E85-polttoaineen myynti ei kuitenkaan ole enää moneen vuoteen seurannut autojen kokonaismäärää, on alettu kiinnittää huomiota. Nykyisestä mallivuodesta 2015 lähtien tämä etuus poistui FFV-autoilta, ja jatkossa sitä voidaan soveltaa vain, jos E85-käyttö voidaan osoittaa (Fraas et al. 2014). Tämä on kuitenkin ollut selkeä kannustin, ja niinpä USA:ssa on siis tarjontaa ja kysyntää etanoliautoille, mutta Euroopassa ei juurikaan.

Kuten yllä mainittiin, Scania on ainoa raskaiden etanoliautojen toimittaja. Taulukossa 3 on esitelty Scanian Euro VI sertifioidut vaihtoehtopolttoainemoottorit. 9-litraisesta moottorista on olemassa etanoliversio ja kaksi kaasuersiota. Etanoliversion teho on 280 hv, kaasuersioiden tehot ovat 280 ja 320 hv. Nämä moottoritehot ovat riittäviä busseihin ja keskiraskaisiin kuorma-autoihin, esimerkiksi jakelukuorma-autoihin ja jäteautoihin. Taulukosta nähdään myös, että Scanialla on perinteiselle FAME biodieselille sertifioituja moottoreita teholuokassa 320 – 490 hv.

Taulukko 3. Scanian vaihtoehtopolttoainemoottorit. (Scania 2015)

Biogas and Natural gas		
Volume (litres)	Max power (hp)	Max torque (Nm)
9	280	1350
9	320	1500
Biodiesel		
Volume (litres)	Max power (hp)	Max torque (Nm)
9	320	1600
9	360	1700
13	450	2350
13	490	2550
Bioethanol		
Volume (litres)	Max power (hp)	Max torque (Nm)
9	280	1200

6.3 Kaasuautot

6.3.1 Yleistä

Useat kaasut, metaani, nestekaasu, jopa vety, soveltuvat käytettäväksi kipinäsytytysmoottoreissa, vaan ei normaalirakenteisissa dieselmooottoreissa.

Bensiinimoottori on suhteellisen helppo muuttaa kaasukäyttöiseksi. Useimmiten tämä tehdään niin, että bensiinijärjestelmän rinnalle asennetaan kaasujärjestelmä. Auto voi tällöin käyttää joko kaasua tai bensiiniä, eli kyse on bi-fuel autosta. Bi-fuel auton suuri etu on siinä, että kaasun mahdollisesti loppuessa matkaa voidaan jatkaa bensiinillä.

Jos moottori tehdään pelkästään metaanilla toimivaksi, moottori pystytään tekemään hieman bensiinimoottoria energiatehokkaammaksi, koska metaani sallii normaalia korkeamman puristussuhteen käytön. Autonvalmistaja voi myös tehdä bi-fuel moottorin niin, että se optimoidaan metaanille, ja että bensiinillä toimittaessa rajoitetaan moottorin suorituskykyä. Näin on toiminut mm. Opel. Opel Zafira-mallin bensiinisäiliön koko on vain 14 litraa, sillä EU-säännösten mukaan autolle riittää pelkästään kaasulla tehty pakokaasusertifiointi, jos siinä on enintään 15 litran bensiinisäiliö (EY 2008).

Kuva 21 näyttää Opel Zafira maakaasuauton kaasusäiliöiden sijoituksen auton pohjan alle. Ratkaisu ei käytännössä verota matkustamo- ja tavaratilaa. Kaasusäiliöiden kapasiteetti on 25 kg maakaasua, ja tämä antaa Opelin ilmoituksen mukaan 530 km:n toimintamatkan (Opel 2015).

Maakaasu on maailmalla varsin yleinen liikennepolttoaine, ja vuoden 2012 lopulla maailmassa oli noin 17 miljoonaa maakaasuautoa (kuva 22). Suurin osa näistä on kuitenkin yksinkertaisella tekniikalla jälkikonvertoituja autoja, päämarkkina-alueiden ollessa Aasia ja Etelä-Amerikka.



Kuva 21. Kaasusäiliöiden sijoitus Opel Zafira maakaasuautossa. (Opel 2015)

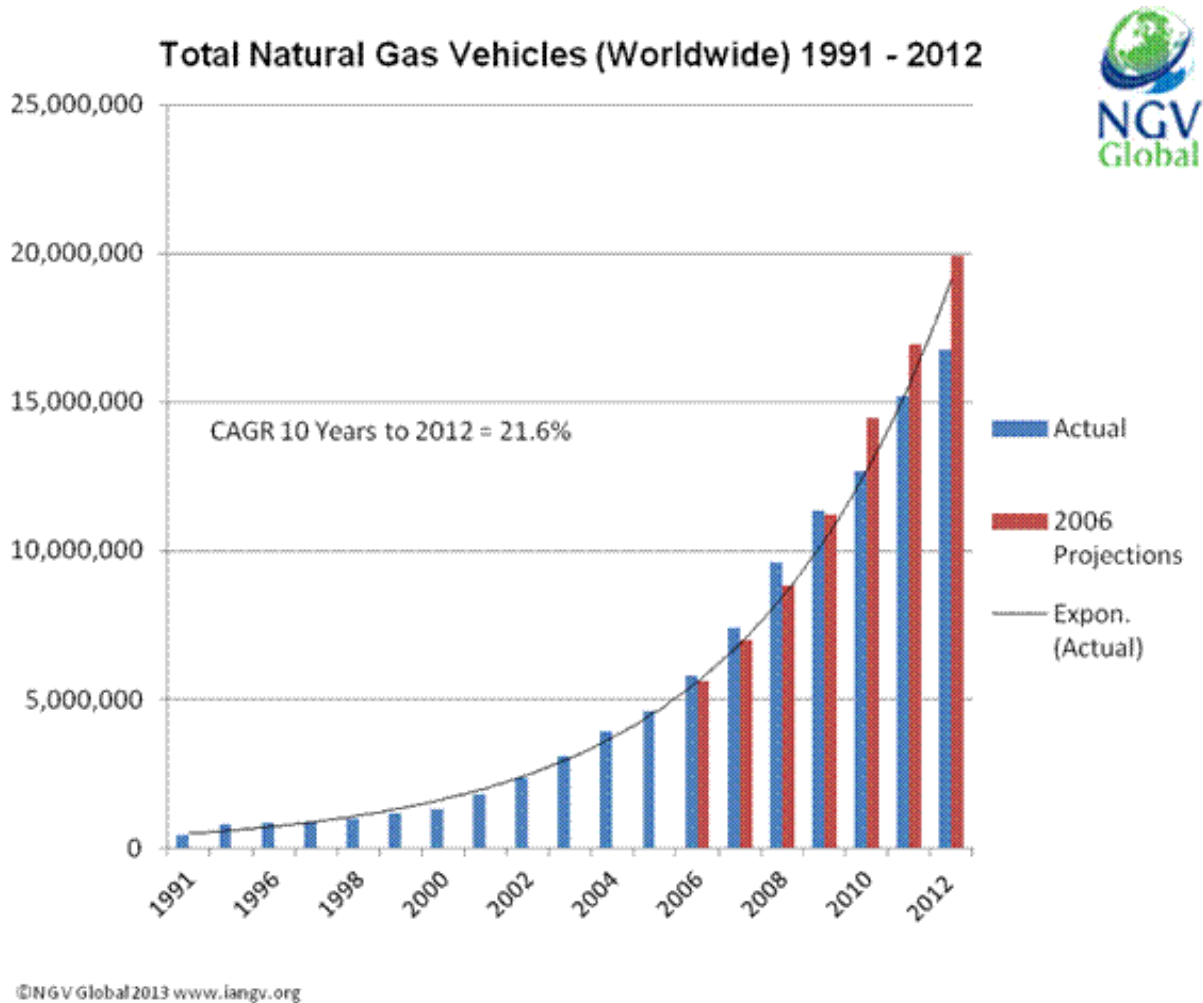
Maailmassa on myös useita miljoonia nestekaasuautoja, ja nestekaasu (LPG) on varsin suosittu taksien polttoaine maailmalla. Suomessa nestekaasua ei käytetä liikennepolttoaineena.

Kaasuautoja on siis tarjolla sekä tehdasvalmisteisina että jälkiasennettuina. Myös jälkiasennukset on tarkkaan säädely erilaisin määräyksin ja asetuksin, joten olemassa olevien bensiiniautojen muuttaminen kaasukäyttöiseksi on mahdollinen toimintamalli. Kaasujärjestelmiä saavat asentaa ainoastaan tehtävään koulutetut ja asennustutkinnon suorittaneet henkilöt.

Lisäksi kaasulaitteiden komponenteilla tulee olla E110-hyväksyntä ja asennussarjalla E115-hyväksyntä. Kaasulaitteiston asennuksen jälkeen on tehtävä vielä muutoskatsastus. (Gasum 2015)

Parikymmentä vuotta sitten raskaan dieselmoottorin korvaaminen kipinäsytytteisellä kaasumoottorilla alensi lähipäästöjä, etenkin hiukkaspäästöjä, merkittävästi. Ero on pakokaasuväimusten kiristyessä pikkuhiljaa kaventunut. EEV-tasoisissa autoissa ero oli vielä havaittavissa, mutta Euro VI päästövaatimuksien myötä se katoaa (kuvat 15 ja 16).

Korvattaessa bensiiniä maakaasulla moottorin hyötysuhde pysyy ennallaan. Bensiinin poltto tuottaa 73 g CO₂/MJ ja maakaasun (metaanin) poltto 55 g CO₂/MJ (JEC WTW 2014). Näin ollen pakoputkesta mitattu hiilidioksidipäästö alenee noin 20 % metaaniin siirryttäessä.



Kuva 22. Maakaasuautojen lukumäärän kehitys. (IANGV 2013)

Koko polttoaineketjun ekvivalenttinen hiilidioksidipäästö ei välttämättä alene samassa suhteessa. Pitkät maakaasun kuljetusetäisyydet, putkistojen metaanivuodot ja kaasun paineistuksen tarvitsema energia voivat aiheuttaa sen, että todellinen hyöty pienenee.

Raskaiden kaasuautojen osalta tilanne on CO₂ päästöjen suhteen huonompi. Kipinäsytytysmoottori (ottomoottori) kuluttaa jopa 35 % enemmän energiaa kuin dieselmoottori. Maakaasulla pakoputkesta mitattu hiilidioksidipäästö on samaa tasoa kuin dieselillä, ja koko polttoaineketjun ekvivalenttinen hiilidioksidipäästö jopa korkeampi kuin dieselillä.

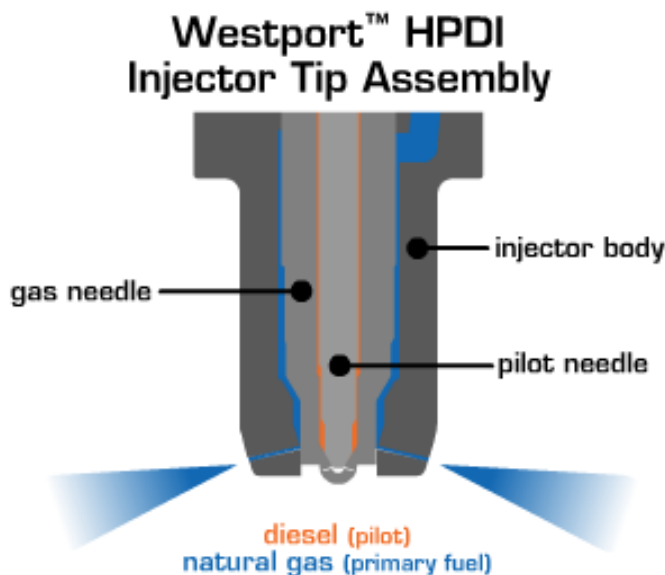
Kipinäsytytteisten kaasumootoreiden osalta lähes kaikki valmistajat ovat siirtyneet käyttämään stoikiometrista palamista ($\lambda=1$) yhdistettynä kolmitoimikatalysaattoriin. Tämän teknolo-

gian etuina ovat erittäin alhaiset säännellyt päästöt, ja Euro VI päästötaso on helppo saavuttaa, myös palamattoman metaanin osalta.

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

Volvolla oli tarjolla kaksi dual-fuel kuorma-autoa (Raatikainen 2011): keskiraskas FL/FE-malli 7-litran moottorilla (kaasu paineistettuna, CNG) ja raskas FM-malli 13-litraisella moottorilla (kaasu nesteytettynä, LNG). Viisi Volvo FL dual-fuel on koekäytössä kolmella auto-operaattorilla (Posti, PRRS Yhtiöt, Stara) pääkaupunkiseudulla. Volvo on todennut, ettei imusarjaan kaasua suihkuttava dual-fuel tekniikka sovellu kaupunkibusseihin, koska busseille tyypillisessä ajossa korvausaste jää matalaksi. Sittenmin on myös käynyt ilmi, ettei imusarjaan kaasua syöttävällä dual-fuel tekniikalla pystytä täyttämään Euro VI -päästövaatimuksia. Ongelma on korkeat palamattoman metaanin päästöt.

Seuraava kehitysvaihe on dual-fuel -moottori, jossa myös kaasu syötetään suoraan palotilaan. Kanadalainen teknologiayhtiö Westport Innovations on kehittänyt ns. HPDI-tekniikan, jossa sekä sytytykseen käytettävä diesel että kaasu syötetään palotilaan saman suuttimen kautta (kuva 23). Tekniikka on monimutkaisempi kuin perinteiden dual-fuel tekniikka, mutta etuina ovat mm. nakutuksen välttäminen, korkeampi kaasun korvausaste ja täydellisemmän palamisen ansiosta pienemmät metaanipäästöt.



Kuva 23. Westportin yhdistetty dieselpolttoaineen ja kaasun HPDI ruiskutus-suutin. (Westport 2013)

Westport oli jo tuotteistanut 15-liraiseen Cummins ISX-moottoriin perustuvan HPDI-moottorin. HPDI-moottori tarjoaa periaatteessa dieseliä vastaavat suoritusarvot, ja sitä käytetään useissa sadoissa rekkavetureissa USA:ssa ja Kanadassa. Riittävän toimintamatkan takaamiseksi kaasu on nestemuodossa (LNG). Pohjois-Amerikan liuskekaasuboomi vaikuttaa siihen, että tämän tyyppisillä tuotteilla on kysyntää.

Loppuvuodesta 2013 Westport kuitenkin lopetti HPDI-moottorin toimitukset, ilmeisesti tekniikkaongelmien takia. Tällä hetkellä Westportin verkkosivut esittelevät yhtiön teknologiatoimittajana, ja kertovat myös uudesta HPDI kehitysversiosta, HPDI 2.0 (Westport 2014).

Volvon kanssa lokakuussa 2014 käydyissä keskusteluissa Volvo ilmoitti kehittävänsä Euro VI tasoista HPDI-moottoria yhteistyössä Westportin kanssa. Volvo ei kuitenkaan suostunut ilmoittamaan, koska moottori mahdollisesti voisi olla markkinoilla (Volvo 2014). Arvio on, että julkistamiseen kuluu vielä pari vuotta.

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

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

Vuosina 2010 – 2012 Ruotsissa toteutettiin kenttäkoe 14 raskaalla FH-autolla (Volvo 2010). Kesäkuussa 2013 Volvo ilmoitti aloittavansa DME-kuorma-autojen myynnin USA:ssa vuonna 2015 (kuva 24, Volvo 2013). Päästövähennysmahdollisuuksien lisäksi lisääntynyt maakaasun tarjonta vaikuttaa myötävaikuttavasti DME:n kiinnostavuuteen Pohjois-Amerikassa.

Hieman yllättäen Volvo ilmoitti tammikuussa 2015 lopettavansa DME tekniikan kehitystyön Euroopan markkinoille, tarkoittaen sitä ettei Volvolta ole tulossa Euro VI-tasoista DME-autoa (Lindgren 2015).



Kuva 24. Volvon DME-rekkaveturi Pohjois-Amerikan markkinoille. (Volvo 2013)

6.3.2 Kaasuautojen tarjonta

Euroopassa kaasuautojen tarjonta on selvästi runsaampaa kuin etanoliautojen tarjonta. Ruotsalainen miljofordon.se luettelee 64 kaasukäyttöistä henkilöautoa. Automerkeistä edustettuina ovat:

- Audi

- Fiat
- Ford
- Mercedes-Benz
- Opel
- Seat
- Skoda
- Subaru
- Volkswagen
- Volvo

Useat listan autot ovat myynnissä myös Suomessa. Suomessa yksi myydyimmistä henkilö-automalleista on Skoda Octavia (kuva 25). Bensiinimoottorilla varustettu Octavia Combi 1.4 TSI Ambition –malli maksaa tällä hetkellä 26.406 €, ja vastaava maakaasoversio Ambition 26.957 €, eli vain noin 500 € enemmän (www.skoda.fi).

Kuvassa 21 olevan Opel Zafiran kohdalla hintaero on merkittävästi suurempi, noin 6.000 € (www.opel.fi).

Keveiden tavara-autojen osalta miljöfordon.se luettelee 14 erilaista mallia, valmistajina Fiat, Mercedes-Benz, Opel ja Volkswagen.

Lähes kaikilla bussinvalmistajalla on tarjolla maakaasubusseja, lukuun ottamatta Volvoa, joka vannoo sähköistyksen nimeen.

Kuten edellä olevasta kappaleesta käy ilmi, yhtään Euro VI päästömääräykset täyttävää dual-fuel kaasumoottoria ei toistaiseksi ole tarjolla. Sen sijaan myös kuorma-autoihin on tarjolla kipinäsytytteisiä, Euro VI sertifioituja kaasumoottoreita.



Kuva 25. Skoda Octavia Combi 1.4 TSI G-TEC. (www.skoda.fi)

Ivecolla on tarjolla 7,8 litrainen Cursor 8 Natural Power-moottori Stralis-autoon teholuokassa 270 - 330 hv, ja tarjolla on myös kaasumoottoreita pienempiin Eurocarco ja Daily malleihin (Iveco). Mercedes-Benzillä on 7,7-litrainen M 936 G-kaasumoottori, jonka suurin teho on 302 hv (Mercedes-Benz). Kuten edellä mainittiin, Scanialla on kaksi 9-litraista kaasumoottoria,

tehoiltaan 280 ja 320 hv. Scanian huhutaan kehittävän kipinäsytytteistä kaasumoottoria suurempaan teholuokkaan, mahdollisesti 13-litraisen moottorin pohjalle (Gustfasson 2015).

MAN toimittaa kaasumoottoreita ainoastaan busseihin. Volvo on luopunut omista kipinäsytytteistä kaasumoottoreista, mutta tarjoaa edelleen mm. Ruotsin markkinoille Cummins Westport moottoreilla varustettuja jäteautoja (Volvo 2014).

Merkittävin raskaiden kaasumoottoreiden valmistaja tällä hetkellä onkin Cummins Westport, joka on suuren yhdysvaltalaisen Cummins moottorivalmistajan ja kanadalaisen Westport Innovations teknologiayhtiön 50:50 periaatteella omistama yhteisyritys. Yhtiö toimittaa kipinäsytytteisiä kaasumoottoreita ympäri maailmaa.

Cummins Westport toimittaa tällä hetkellä neljää eri kaasumoottorityyppiä (Cummins Westport):

- ISX 12 G: 11,9 litraa, maksimiteho 400 hv (298 kW), maksimi vääntömomentti 1966 Nm, (ainoastaan Pohjois-Amerikan markkinoille)
- ISL G: 8.9 litraa, maksimiteho 320 hv (239 kW), maksimi vääntömomentti 1356 Nm
- C Gas Plus: 8,3 litraa, maksimiteho 280 hv (209 kW), maksimi vääntömomentti 1152 Nm
- B Gas Plus: 5,9 litraa, maksimiteho 230 hv (172 kW), maksimi vääntömomentti 678 Nm

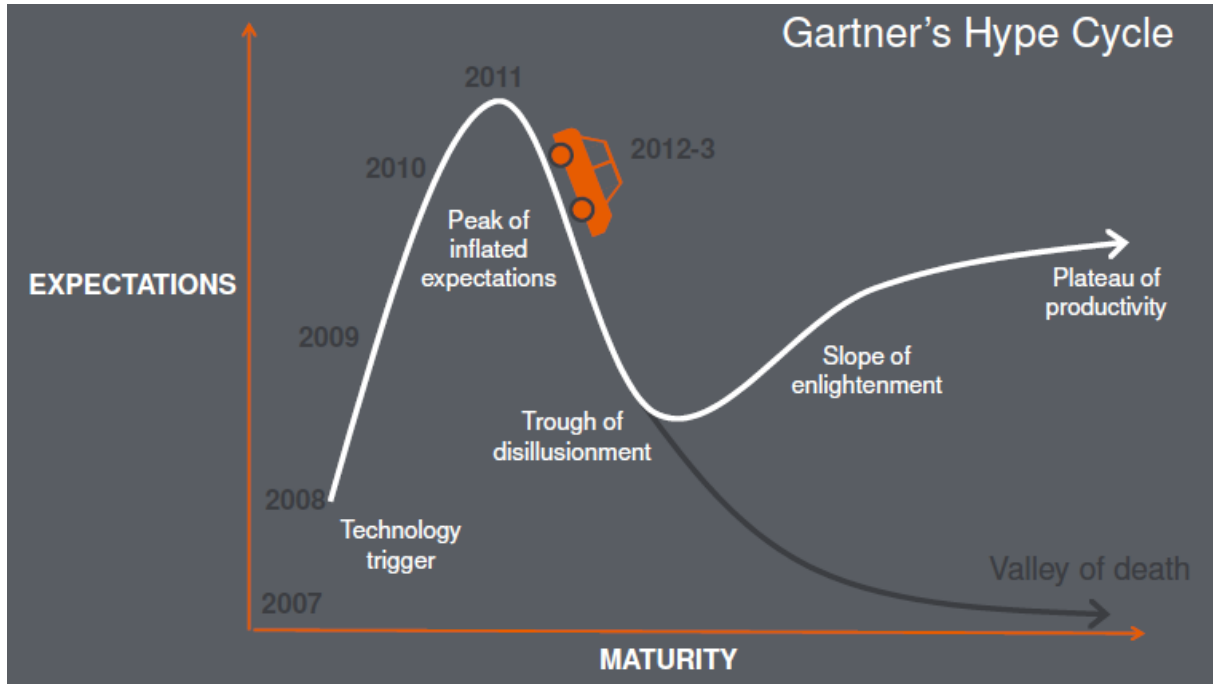
6.4 Sähköautot

6.4.1 Yleistä

Sähköautojen kaupallinen tarjonta on laajentunut merkittävästi vuodesta 2012. Useat merkittävät autonvalmistajat kykenevät nyt tarjoamaan sähköautoja, niin täyssähköautoja kuin laddattavia hybridejä. Bussien sähköistys näyttäisi etenevän kovaa vauhtia. HSL ilmoitti hiljattain avaavansa pelin muuttamalla toimintamalliaan ja tilaamalla itse 12 kotimaista pikaladattavaa Linkker-bussia, jotka luovutetaan eri liikennöitsijöiden käyttöön (VTT 2015). Koska koko bussikalusto edustaa vain n. 4 % Suomen tieliikenteen energian kulutuksesta, ei kaupunkibussien sähköistamisellä kuitenkaan ole merkitystä koko maan CO₂ päästöjen kannalta.

Sähköautoissa on myös koettu takaiskuja, sillä kuluttajat eivät ole ottaneet sähköautoja omikseen niin nopeasti kuin monet tahot olivat uskoneet tai toivoneet. Suomessa takaiskuja olivat mm. European Batteries akkutehtaan konkurssi kesällä 2013, ja Valmet Automotiven kannalta Think ja Fisker Karma sähköautojen tuotannon lyhyt kaari.

Kuvassa 26 on havainnollistettu sähköautoihin kohdistettuja odotuksia. Kuvan mukaan ylimitoitettut odotukset olivat kuumimmillaan 2011. Tämän jälkeen odotuksiin on tullut realismia, ja nähtäväksi jää, tekevätkö sähköautot todellisen läpimurron.



Kuva 26. Sähköautoihin kohdistetut odotukset. (Beeton 2013)

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

Taulukkoon 4 on koottu eri sähköautojen (henkilöautojen) tietoja.

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

Malli	Myyntiin (vuosiluku)	Tyyppi	Akun koko (kWh)	Sähkön kulutus (kWh/km)	Toimintamatka sähköllä (km)
Audi A3 e-tron	2014	PHEV	9	0,114	50
BMW i3	2013	BEV	18.8	0,129	160 – 190
Ford Focus EV*	2013	BEV	23	0,15	162
Mitsubishi i-MiEV	2009	BEV	16	0,135	150
Nissan Leaf*	2010	BEV	24	0,15	199
Opel Ampera*	2011	EREV	16	0,24	40 – 80
Renault Fluence	2010	BEV	22	?	200
Tesla S*	2013	BEV	85	0,17	483
Toyota Prius PHEV*	2012	PHEV	4,4	0,26	25
Volkswagen e-up!	2013	BEV	18,7	0,117	120 – 160
Volkswagen Golf GTE	2014	PHEV	8,7	0,114	50
Volkswagen e-Golf	2014	BEV	24,2	0,127	190
Volvo V60*	2013	PHEV	?	0,28	50

Eri autonvalmistajat lähestyvät sähköautoja eri suunnista. Audin, Volkswagenin ja Volvon PHEV-autoissa painotus on selvästi suorituskyvyssä. Volvo V60 plug-in version verkkosivulla sanotaan (<http://www.volvocars.com/fi/campaigns/v60-plugin-hybrid/Pages/default.aspx>):

”Painamalla POWER –painiketta saat käyttöösi sivistyneen, mutta samalla äärimmäisen tehokkaan urheilullisen auton, jossa yhdistyvät 215+70 hv moottoritehot ja 440+200 Nm vääntömomentti. 0-100 km/t kiihdytys vie vain 6,1 sekuntia ja autolla voi parhaimmillaan saavuttaa 230 km/t ajonopeuden.”

Toyota Prius PHEV –autossa on pieni akku, alle 5 kWh, ja ilmoitettu toimintamatka on vaatimattomat 25 km. Opel Amperassa on iso akku, 16 kWh, ja ilmoitettu toimintamatka sähköllä on 40 – 80 km.

Kuvassa 27 oleva BMW i3 on esimerkki kompaktista, vasta vasten sähkökäyttöiseksi tehdystä autosta. Volkswagen teki merkittävän avauksen 2014 tuomalla markkinoille suositusta Golf-mallista sekä täyssähköversion että ladattavan hybridin. Lisäksi Volkswagenilla on täyssähköversio pienestä up!-mallista.

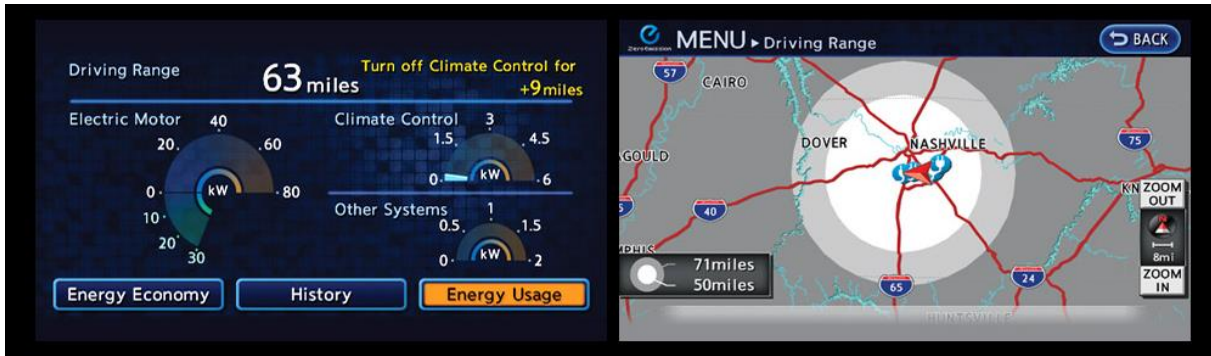


Kuva 27. BMW i3. (www.bmw.com)

Toimintamatka on täyssähköautolle varsin kriittinen suure. Akun tyhjentyessä tien päällä ei ole muuta vaihtoehtoa kuin kutsua hinausauto. Ilmoitettuihin toimintamatkoihin sähköllä kantaa suhtautua varauksella. Eri valmistajien ilmoitukset vaihtelevat suuresti, ja valmistajien ilmoittamiin lukuihin on käytännössä mahdotonta päästä.

ECE säännösten mukaan sähköauton toimintamatka määritellään toistamalla ns. NEDC-sykliä (myös polttomoottoriautojen sertifiointissa käytetty ajosykli) niin kauan kunnes auto ei enää saavuta 50 km/h nopeutta. Lisäksi testi suoritetaan ilman valoja tai lisälaitteiden käyttöä (ECE R-101). Yhdysvalloissa on käytössä poikkeava, EPA:n (Environmental Protection Agency) määrittelemä mittausmenetelmä.

Kuvassa 28 on Nissan Leafin varsin kehittynyt informaatiojärjestelmä. Näytössä on esillä voimalinjan, ilmastointilaitteiston ja muiden apulaitteiden hetkellinen teho sekä ennuste jäljellä olevasta ajomatkasta. Jäljellä oleva ajomatka näytetään myös ympyränä navigaattorin näytössä.



Kuva 28. Nissan Leafin informaatiojärjestelmä. (www.nissan.com)

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

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

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

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

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

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

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

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

6.4.2 Sähköautojen lataus

Sähköautojen tullessa markkinoille henkilöautojen lataus tapahtuu aluksi pääasiassa ns. hitaalla latauksella 16 A:n pistorasioista. Syöttöteho on tällöin n. 3,7 kW, ja kaikki sähköautojen akkutyytit sietävät latauksen tällä teholla. Tosin, jos käytetään tavanomaista pistorasiaa, auton latauslaite saattaa rajoittaa latausvirran 10 A:iin tai jopa alle.

Suomessa latauksessa voidaan tietyin modifikaation hyödyntää olemassa olevia lohkolämmityspistorasioita. Laajamittainen sähköautojen käyttöönotto ja tasapuolinen sähköautojen käytön mahdollistaminen edellyttävät kuitenkin julkisen latausjärjestelmän rakentamista, mukaan lukien tietty määrä ns. pikalatausasemia. Suomessa mm. ABC ketju on ryhtynyt rakentamaan pikalatauspisteitä. Tällä hetkellä (helmikuu 2015) näitä on 20 kappaletta (www.abcasemat.fi). Ajantasainen luettelo sähköautojen latauspisteistä löytyy ositteesta www.sähköinenliikenne.fi.








Sähköautojen latauspalveluita tarjoava Virtapiste aloitti virallisesti toimintansa helmikuussa 2015. Virtapisteverkosto käsittää tällä hetkellä 60 latauspistettä 13 paikkakunnalla eri puolilla Suomea. Palvelun uusi mobiilisovellus kertoo sähköautoilijalle reaaliajassa latauspisteiden varaustilanteen ja lisäksi sillä voi varata, käynnistää, lopettaa sekä maksaa latauksen. Maksaminen tapahtuu ns. pre-paid periaatteella. Virtapisteessä on mukana yhteensä 18 energia-yhtiötä (<https://www.virta.fi/>).

Lataustekniikan kehittymisen hidasteena on ollut lukuisa joukko erilaisia latauspistokestandardeja ja maakohtaisia turvallisuusmääräyksiä. Kuvassa 29 on esitetty eri latausvaihtoehtoja ja pistoketyyppejä sähköautoille.

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

Mode 1:

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

Level 1	Normal charging (up to 3.7kW / AC)		
	<ul style="list-style-type: none"> > 230V, 16A, 1-phase (Plugs: Schuko/CEE blue/Yazaki AC) > Charges a 40kWh battery in about 11 hours > Charging when parking for a long time (at home/workplace) 	Schuko	CEE blue
Level 2	Fast Charging (up to 44kW / AC)		
	<ul style="list-style-type: none"> > 400V, 32A, 3-phases (Plugs: CEE red/Marechal) > 400V, 63A, 3 phases (Plug: Type 2) > 110V-500V, 32A, single- or polyphase (Plug: Type 3) > Charges a 40 kWh battery in about 1 hour > Public charging (e.g. parking areas, parking garages) 	Type 1 (Yazaki)	CEE red
Level 3	Ultra fast charging (up to 50 kW / DC and higher)		
	<ul style="list-style-type: none"> > 400V, 120A DC (Plug: Yazaki JARI Level III – CHAdeMO) > Charges a 40 kWh battery in about 30 minutes > Very expensive charging stations with rectifiers > Charging where high ranges are needed (e.g. freeways) 	Type 2	Type 3
			
		Yazaki Jari Level III (DC)	

Kuva 29. Eri latausvaihtoehdot ja esimerkkejä pistokkeista. (RWE 2010)

Mode 2:

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

Mode 3:

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

Mode 4:

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

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

Yksinkertaisimmillaan syöttönä on 230 V yksivaiheliihtäntä, jossa on joko 10 tai 16 A:n sulake (kuvan 6.1 Level 1 ja IEC Mode 1). Syöttötehoksi tulee tällöin 2,3 tai 3,7 kW. Täyssähköauton akun koko on tyypillisesti 15 – 30 kWh, joten 16 A:n sulakkeella täysin purkautuneen akun lataus kestää suuruusluokkaisesti 4 – 8 tuntia. Akkujen sietämä latausvirta vaihtelee suuresti C-arvon³ ollessa haarukassa 0,5 – 10. Arvo 0.5C tarkoittaa 2 tunnin latausaikaa, arvo 10C tarkoittaa 6 minuutin latausaikaa.

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

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

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

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

Sähköautojen määrän lisääntyessä lataukseen tarvitaan älykästä ohjausta, muuten sähköautot lisäävät sähköverkon kuormituspiikkejä. Koska sähköautot kuitenkin yleistyvät hitaasti, tulee kestämään vuosia ja jopa vuosikymmeniä ennen kuin sähköautoilla on merkitystä tarvittavan sähkön tuotantokapasiteetin kannalta. Nylund (2011) arvioi, että jos koko Suomen henkilöautokanta (2,5 miljoonaa) olisi sähköautoja, näiden autojen tarvitsema sähkömäärä olisi 11,4 % vuoden 2010 sähkön kulutuksesta.

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

Sähköbussien kohdalla tilanne on toisenlainen. Sähköbussi poikkeaa merkittävästi niin sähköhenkilöautosta kuin dieselbussista, ja sitä on tarkasteltava kokonaisuuden kannalta. Sähköbussit tulevat olemaan haaste myös sähköverkon osalta. Lataustehot voivat suurimmillaan olla 500 kW bussia kohti, ja jos samaan aikaan varikolla tai terminaalissa pitäisi ladata 10 bussia, tarvittava paikallinen teho on jo 5 MW. Kun bussi pikaladataan, pikalataus vaatii useimmiten fyysisen paikan, missä lataus tehdään.

Kuvassa 30 on esitetty vaihtoehtoisia akku- ja latausratkaisuja. Yksinkertaisin muttei välttämättä kokonaistaloudellisin vaihtoehto on bussin varustaminen niin suurilla akuilla, että se pystyy toimimaan koko ajovuoron yhdellä latauksella. Akun kokoa voidaan arvioida seuraavasti:

- tyypillisessä bussisyklissä akulta otettava energia on noin 1,0 kWh/km
- akkujärjestelmä painaa pyöreästi 10 kg/kWh

- akun kapasiteetista voidaan hyödyntää luokkaa 80 %
- 300 km:n ajoon tarvitaan akku, jonka nimelliskapasiteetti on 375 kWh (tehollinen 300 kWh), ja joka painaa lähes 4000 kg

Latausaika vaihtelee ja näin ollen myös akkujen rasitus vaihtelee suuresti. Kertalatauksessa latausnopeus on luokkaa 0,2C, tarkoittaa että lataus kestää noin 5 tuntia. Reitillä tapahtuvassa latauksessa latausnopeus on Sauerin et al:n mukaan luokkaa 50C, mikä aikana tarkoittaa noin 1 minuuttia. Mikä tahansa akkukemia ei kestä näin rajua latausta. Kotimainen Linkker on päätenyt lataukseen päätepysäkeillä, ja Linkkerin autoissa tullaan käyttämään litium-titanaattiakkuja (<http://www.linkkerbus.com/>).

Lataustehon siirrossa on kaksi päävaihtoehtoa:

- kosketuksellinen (konduktiivinen)
- induktiivinen

Kosketuksellinen lataus hoidetaan yksinkertaisimmillaan manuaalisesti kytkettävällä kaapelilla. Hyötyajoneuvojen osalta tämä tulee lähinnä kyseeseen varikolla yön yli tapahtuvassa latauksessa. Reitillä tai päätepysäkillä tapahtuva kosketuksellinen lataus on pakko automatisoida. Siemens on kehittänyt pantografiin perustuvan järjestelmän (vrt. kuva 12), jollaista kokeillaan mm. Wienissä (Holl 2013).

Esimerkkinä
12-metrinen bussi



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

Kuva 30. Bussien vaihtoehtoisia akku- ja latausratkaisuja. (Sauer et al. 2013)

Kuvan 30 toisessa pikkukuvassa vasemmalta näkyy ranskalaisten kehittämä WATT-latausjärjestelmä. Vaikka kuvassa 30 tässä kohdin on otsikko "lataus päätepysäkeillä", WATT-järjestelmä on kuitenkin tarkoitettua asennettavaksi joka pysäkille. Erikoiseksi järjestelmän tekee se, että siihen kuuluu pysäkkikohtainen superkondensaattoreihin perustuva energiavara-asto. Järjestelmä tasaa kuormapiikkejä sähköverkon suuntaan. (Michelin 2013)

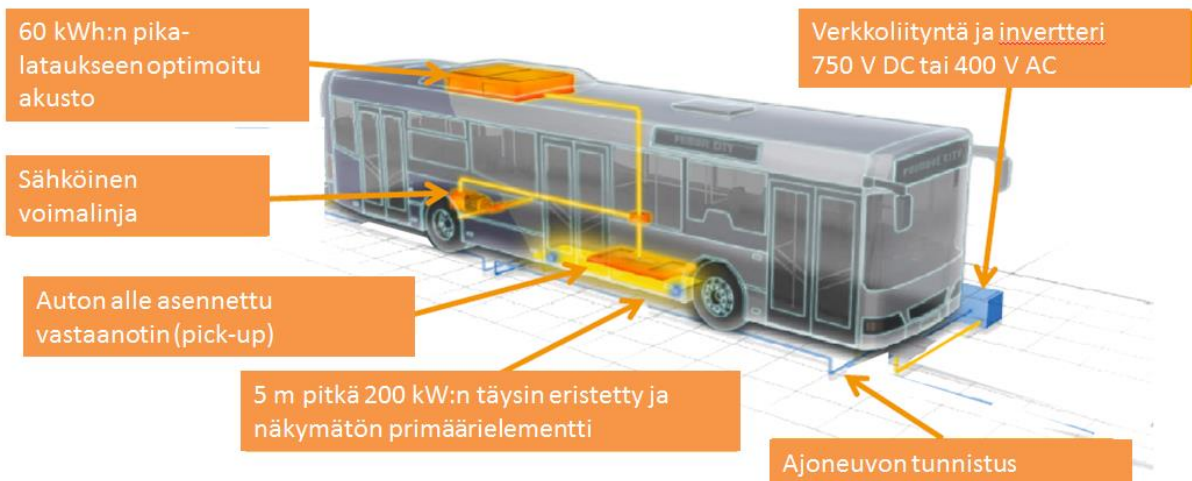
Ainakin kanadalainen Bombardier (Köbel 2013) ja saksalainen Conductix-Wampfler (Wechlin 2013) kehittävät induktiivisia latausjärjestelmiä. Kuvassa 31 on Bombardierin järjestelmä. Järjestelmän tehonsiirtokyky on 200 kW. Maahan upotetun "lähettimen" pituus on 5 metriä,

autoon asennetun ”vastaanottimen” koko on 0,9 * 2,2 m². Bombardierin mukaan järjestelmä toimii myös lumisissa ja jäisissä olosuhteissa. Ilmeistä on kuitenkin, että tehohäviöt ovat suuremmat kuin kosketuksellisissa järjestelmissä. Suomessa induktiivista latausta on tutkimus Metropolia ammattikorkeakoulu.

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

6.4.3 Sähköautojen lukumäärän kehittyminen

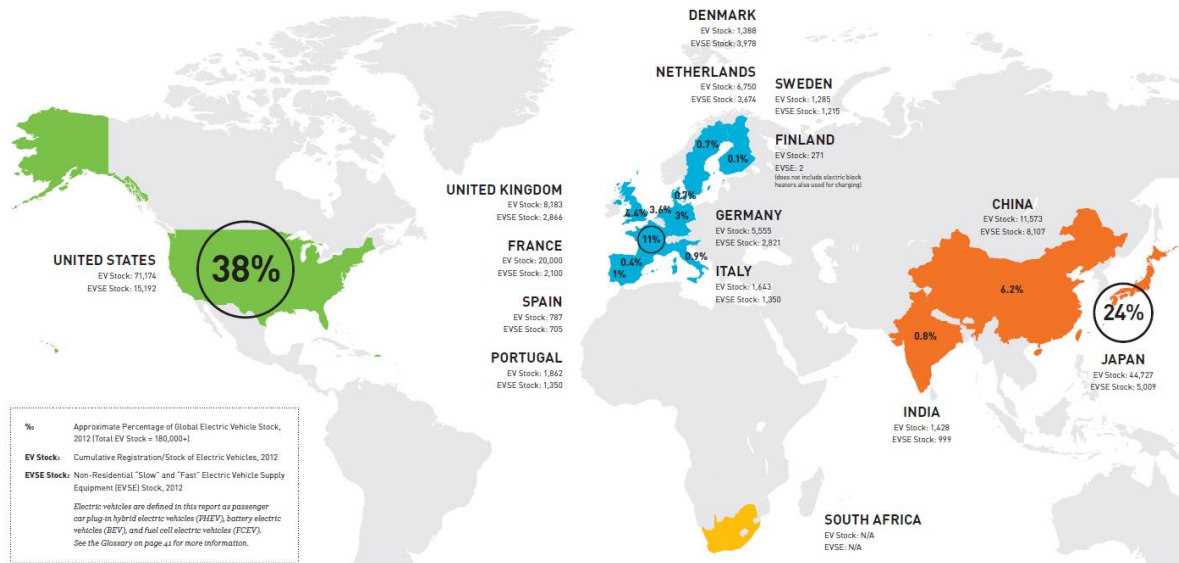
Electric Vehicle Initiative (EVI) on Clean Energy Ministerial'in (CEM) aloitteesta syntynyt kansainvälinen yhteenliittymä sähköisen liikenteen edistämiseksi. Myös Suomi on EVI:n jäsen. Käytännössä EVI:n toimintaa vetää IEA. EVI on tuottanut erittäin hyviä tilastoja maailman sähköautokannasta. Uusimmat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



Kuva 31. Bombardierin induktiivinen latausjärjestelmä. (Köbel 2013)

Kuvassa 32 on maailman sähköautokanta vuoden 2012 lopussa. Maailman sähköautokanta ylitti 180.000 yksikköä (sisältää sekä täyssähköautot että ladattavat hybridit). Suurimmat kannat löytyvät USA:sta ja Japanista. Suomen sähköautokannaksi on merkitty 271 ja pikalatausasemien lukumääräksi 2.

Kuvassa 33 on esitetty sähköautojen myynti maittain vuonna 2012. Kuva on jaettu kahteen osaan, yläosassa ladattavat hybridit ja alaosassa täyssähköautot. Mielenkiintoista kyllä niin osuudet menevät melkein tasan, noin 55.000 ladattavaa hybridiä ja noin 57.000 täyssähköautoa. Vuoden 2012 myynti oli siis yhteensä noin 112.000 autoa, eli yli 60 % sähköautokannasta. Tämä kuvaa hyvin kehityksen nopeutta tällä hetkellä. Toisaalta, suhteutettuna vuoden 2012 autojen kokonaisynttiin, arviolta noin 81 miljoonaa yksikköä, sähköautojen myynti on täysin marginaalista, 0,14 %.



Kuva 32. Maailman sähköautokanta vuoden 2012 lopulla (EVI 2013)

Figure 6a. 2012 World PHEV Sales, by Country

Source: EVI, MarkLines Database.

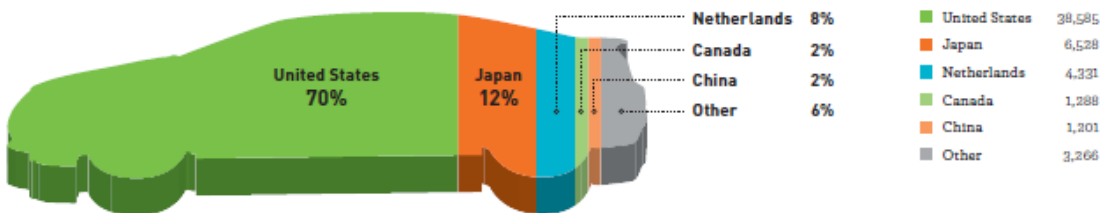
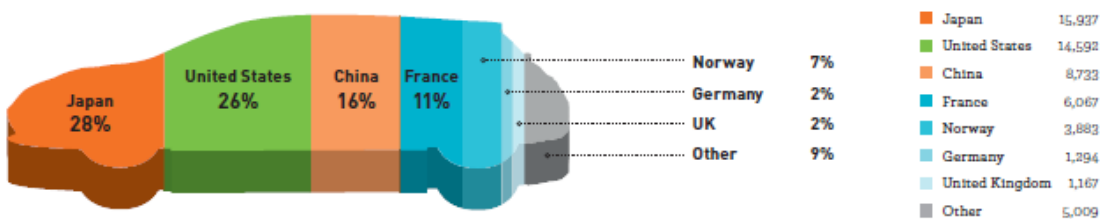


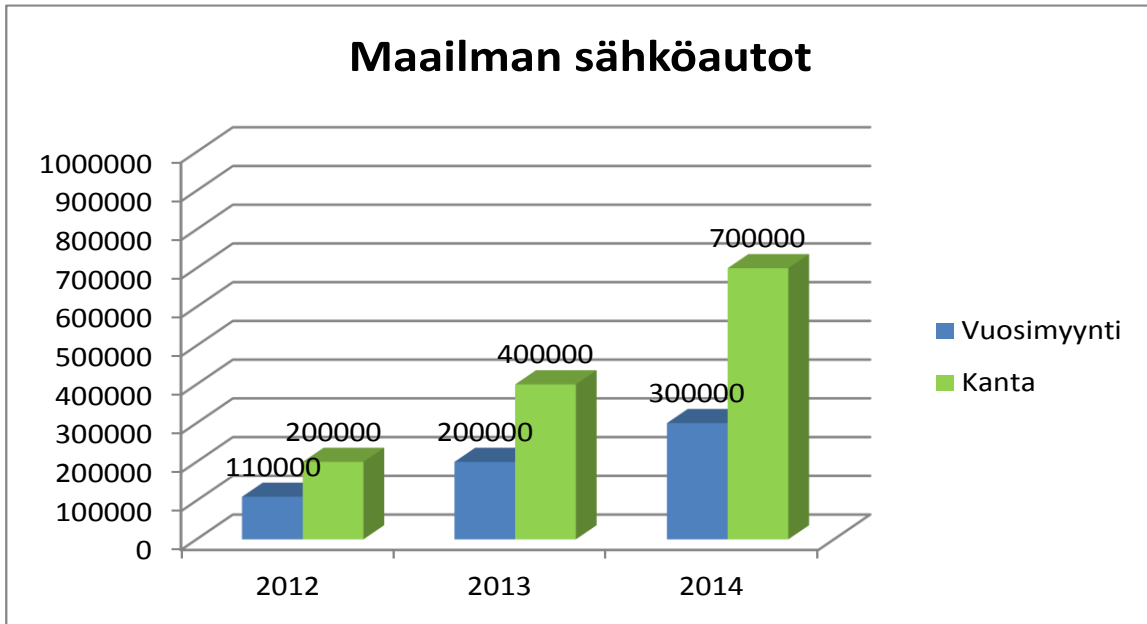
Figure 6b. 2012 World BEV Sales, by Country

Source: EVI, MarkLines Database.



Kuva 33. Sähköautojen myynti 2012. (EVI 2012)

Vaikka Global EV Outlook'in päivitys on kesken, IEA sihteeristö suostui tammikuussa 2015 antamaan arvon päivitetyistä kokonaisluvuista. IEA:n mukaan maailman sähköautokanta vuoden lopussa oli noin 700.000 autoa, ja vuoden 2014 sähköautomyynti noin 300.000 autoa (kuva 34, data Trigg 2015). Koska maailmassa myydään vuosittain yli 80 miljoonaa autoa, on sähköautojen suhteellinen osuus myynnistä kovasta kasvusta huolimatta kuitenkin toistaiseksi vain luokkaa 4 promillea.



Kuva 34. Maailman sähköautot. (lähtötiedot: Tali Trigg/IEA 2015)

Suomessa rekisteröitiin vuonna 2014 106.000 uutta henkilöautoa. Näistä täyssähköautoja oli 183 kpl ja ladattavia hybridejä 256 (Trafi 2015). Sähköautojen yhteenlasketuksi myyntiosuudeksi tulee näin ollen niin ikään 4 promillea. Vuoden 2014 lopulla Suomessa oli yhteensä 913 ladattavaa ajoneuvoa. Näistä täyssähköautoja oli 360 kappaletta ja ladattavia hybridejä 553. Mielenkiintoinen ilmiö oli Tesla S supersähköauton (kuva 35, hinnat alkaen 85.990 €) nousu myydyimmäksi täyssähköautoksi 94 auton määrällä. Toiseksi myydyin täyssähköauto oli tavanomaisempi Nissan Leaf 77 auton määrällä.



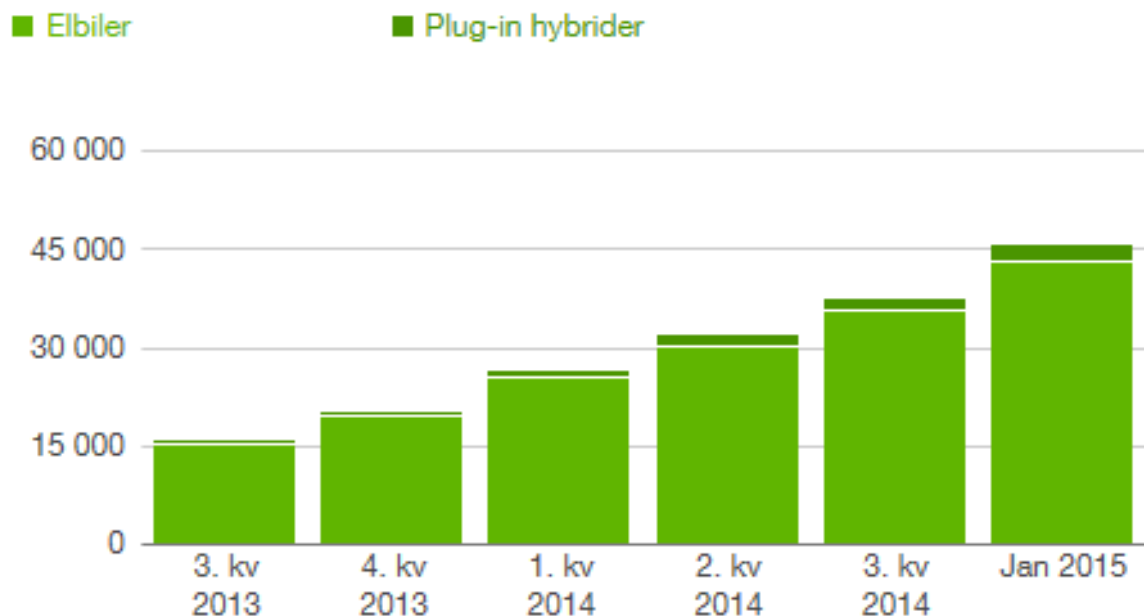
Kuva 35. Tesla S täyssähköauto. (<http://www.auto-outlet.fi/Tesla/>)

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

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

Kannustimet ovat johtaneet siihen, että sähköautot, sekä Nissan Leaf että Tesla S, ovat ajoittain olleet henkilöautojen myyntitilaston kärjessä. Kuvassa 36 on Norjan sähköautokanta. Tammikuussa 2015 Norjassa oli 45.000 ladattavaa autoa, suurin osa täyssähköautoja koska kannustimet on suunnattu niihin. Nissan Leafin osuus ladattavien autojen kannasta on 39 % ja Teslan 14 % (<http://www.elbil.no/>).

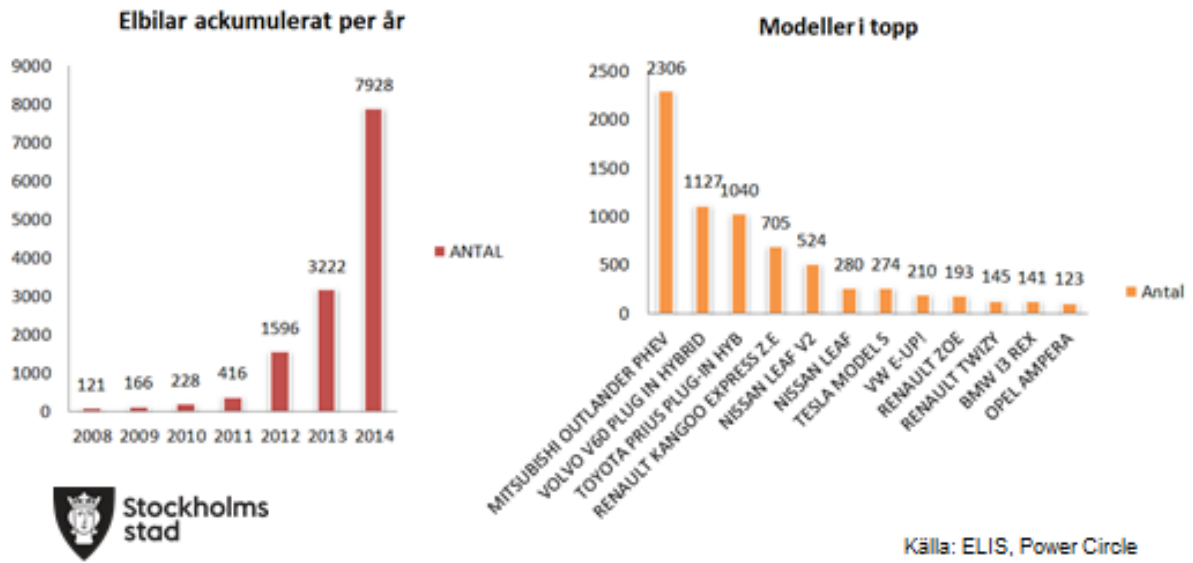
Registrerte biler



Kuva 36. Norjan sähköautokannan kehittyminen. (<http://www.elbil.no/>)

Norjassa voimakkaat sähköautokannustimet ovat johtaneet myös ei-toivottuun kehitykseen: henkilöautojen määrän lisääntymiseen ja joukkoliikenteen käytön vähentymiseen (Holtmark & Skonhoft 2014).

Ruotsissa taas ladattavat hybridit dominoivat (kuva 37). Ruotsissa oli vuoden 2014 lopulla vajaa 8000 ladattavaa autoa. Kolme suosituinta automallia on ladattavia hybridejä. Ensimmäinen täyssähköauto, pienehkö tavara-auto Renault Kangoo Express on vasta neljännellä sijalla.



Kuva 37. Ruotsin sähköautot. (Sunnerstedt 2015)

UUSI TÄYSIN SÄHKÖINEN JA TÄYSIN MUUNNELTAVA NISSAN e-NV200

Alkaen
33 244,57€

▶ TUTUSTU MERKITTÄVIMPIIN OMINAISUUKSIIN



Kuva 38. Nissan e-NV200. http://www.nissan.fi/FI/fi/vehicle/electric-vehicles/e-nv200.html?cid=psmb8FniZ9U_dc

miljofodon.se ei tunnista Nissania hieman isompaa Mercedes-Benz Vito E-CELL sähköpakettiautoa (kuva 39). Auton toimintamatkaksi ilmoitetaan NEDC testin mukaisesti 130 km.



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

6.4.4 Sähköautojen tarjonta

Sähköautojen melko runsas tarjonta käy osittain ilmi edellisistä kappaleista. Täyssähköautojen osalta miljöfordon.se luettelee 20 eri mallia kahdeksalta valmistajalta:

- BMW i3
- Citroen C-Zero
- Mitsubishi i-MieV (kaksi mallia)
- Nissan e-NV200/Evalia (kolme mallia)
- Nissan Leaf (kolme mallia)
- Peugeot i-On
- Renault ZOE (kaksi mallia)
- Tesla S (kuusi mallia)
- Volkswagen e-up!

Citroen C-Zero, Mitsubishi i-Miev ja Peugeot i-On on yksi ja sama auto eri nimellä markkinoituna.

Ladattavia hybridejä on melkein sama määrä, 21 kpl:

- Audi A3 (neljä mallia)
- BMW i3
- BMW i8
- Mercedes-Benz S
- Mitsubishi Outlander (neljä mallia)
- Opel Ampera
- Porsche 918 Spyder (kaksi mallia)
- Porsche Cayenne
- Porsche Panamera
- Toyota Prius (kolme mallia)
- Volvo V 60 (kaksi mallia)

Jostakin syystä listoilta puuttuu e-Golf ja Golf GTE, eli niiden myynti ei ehkä ole vielä alkanut Ruotsissa.

Haku sähköisistä keveistä tavara-autoista tuottaa kahdeksan tulosta. Autoja on todellisuudessa kolme, kaksi pientä umpikoriautoa Citroen Berlingo ja Renault Kangoo, ja sitten henkilöautojen listalla mainittu hieman tilavampi Nissan e-NV200 (kuva 38). Jostakin syystä listalle on laitettu myös Volkswagen e-up!.

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



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

Balqon puolestaan on yhdysvaltalainen sähköautoihin keskittynyt erikoisajoneuvojen valmistaja. Valikoimaan kuuluvat lähinnä terminaalitraktoreiksi luonnehdittavat Nautilus XE20 ja XE30 –mallit sekä raskas Mule 150 –kuorma-auto kokonaispainoltaan 24 tonnia (kuva 41). Mule 150:n kantavuus on 7 tonnia. Järeästi rakennetussa autossa on vetävä teli. Moottorin teho on 300 hv (220 kW), ja autossa on kuusiportainen automaattivaihteisto riittävän vetokyvyn ja nopeuden takaamiseksi. Akuston koko on peräti 280 kWh, ja toimintamatkaksi ilmoitetaan 240 km tyhjällä autolla ja 150 km täyteen kuormatulla autolla. Spesifikaatioidensa perusteella Mule 150 voisi sopia esim. jäteauton alustaksi.

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

Volvo on ilmoittanut että se luopuu perinteisillä voimalinjalla varustetuista täysmatalista kau- punkibusseista. Jatkossa on tarjolla hybridejä, ladattavia hybridejä ja hieman myöhemmin myös täyssähköisiä busseja (kuva 42).

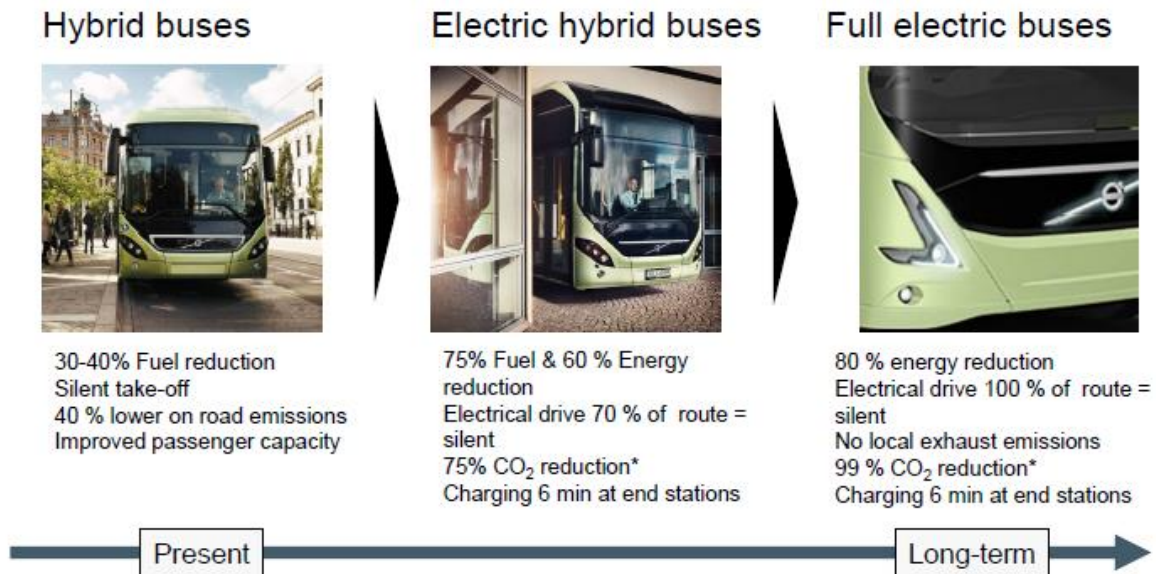
Kiinalaisia valmistajia ovat mm. BYD (ehkä kiinalaisista tunnetuin), Foton, Shandong, Sunwin (Volvo osakkaana), Zhontong ja Yutong. Eurabus puolestaan on saksalais-kiinalainen yh- teisyritys, Ebusco hollantilais-kiinalainen. (Ojamo 2012)

Euroopassa suurista autonvalmistajista sähköbussien puolesta on liputtanut lähinnä Volvo. Pienempiä riippumattomia valmistajia ovat mm. Solaris, VDL, Hess, Rampini ja Cegelec.



Balqon Mule 150

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

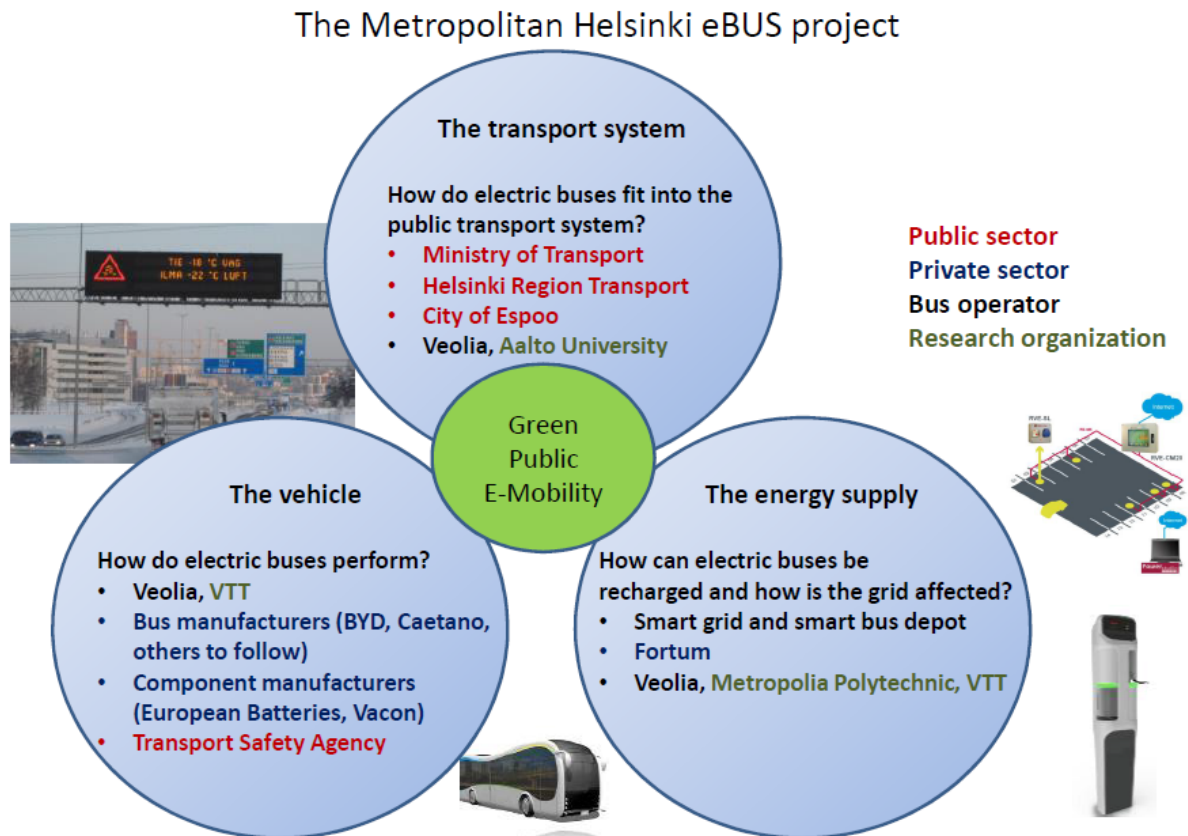


Kuva 42. Volvon täysmatalat kaupunkibussit. (Volvo 2014)

Suomessa Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus Tekes käynnisti vuonna 2011 ohjelman ”EVE – Sähköisten ajoneuvojen järjestelmät 2011–2015”⁴. Ohjelma edistää sähköisiin ajoneuvoihin ja työkoneisiin liittyvän liiketoiminnan kehittymistä. Ohjelmassa on yhteensä viisi ns. testiympäristöä, joista yksi on VTT:n koordinoima hyötyajoneuvoihin keskittyvä Electric Commercial Vehicles (ECV). ECV-kokonaisuuteen kuuluu useampia osahankkeita, joista tässä yhteydessä mainittakoon sähköbussihanke eBus ja sähkövarastoihin liittyvä eStorage-hanke (<http://www.ecv.fi>).

⁴ <http://www.tekes.fi/ohjelmat-ja-palvelut/ohjelmat-ja-verkostot/eve/>

eBus-hankkeen rakenne ja toimijat on esitetty kuvassa 43. Hanketta rahoittavat Tekesin lisäksi liikenne- ja viestintäministeriö, Helsingin seudun liikenne ja Espoon kaupunki. Toimijoina ovat autojen operoinnin osalta Veolia Transport Finland (nytemmin Transdev Finland), tutkimuksen osalta VTT, Aalto Yliopisto ja Metropolia ammattikorkeakoulu. Muita partnereita ovat mm. liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, komponenttivalmistajat ja latauksen osalta Fortum.



Kuva 43. eBus-hankeen rakenne ja toimijat. (Nylund 2013)

eBus-hankkeella pyritään varautumaan sähköbussilla toteutettavaan metron syöttöliikenteeseen. Veolia operoi sähköbussuja Espoon sisäisellä linjalla 11, jonka on päätelty simuloivan tulevaa syöttöliikennettä kohtuullisen hyvin. Tarkoituksena on vertailla usean eri valmistajan autoja toisiinsa. Liikennöinti alkoi syksyllä 2012 Caetano-merkkisellä portugalilaisella bussilla. Caetanossa on kuitenkin ollut paljon teknisiä ongelmia, ja siksi liikennöintimäärät ovat jääneet vähäisiksi. Muita autoja ovat hollantilais-kiinalainen Ebusco, kiinalainen BYD ja hollantilainen VDL. Kuvassa 44 on Caetano ja HSL:n väreihin maalattu Ebusco Veolian (Transdevin) Suomenojan varikolla (missä myös tapahtuu bussien lataus).

eBus-hankkeessa VTT:n tehtäviin kuuluu bussien seuranta. Lisäksi VTT on yhteistyössä Metropolian kanssa rakentanut Kabusin kevytrakenteiseen kaupunkibussiin perustuvan koebussin, ns. testimuulin. Testimuulia käytetään mm. sähköisen voimansiirron eri komponenttien testaukseen. eBus hankkeen ja testimuulin pohjalta on nyt syntynyt kotimainen sähköbussivalmistaja Linkker. Kuten kohdassa 6.4.1 mainittiin, HSL on tilannut yhteensä 12 Linkker-bussia ajoon Espoossa ja Helsingissä.



Kuva 44. Ebusco, BYD ja VDL- sähköbussit Veolian (Transdevin) varikolla. Kuva VTT.

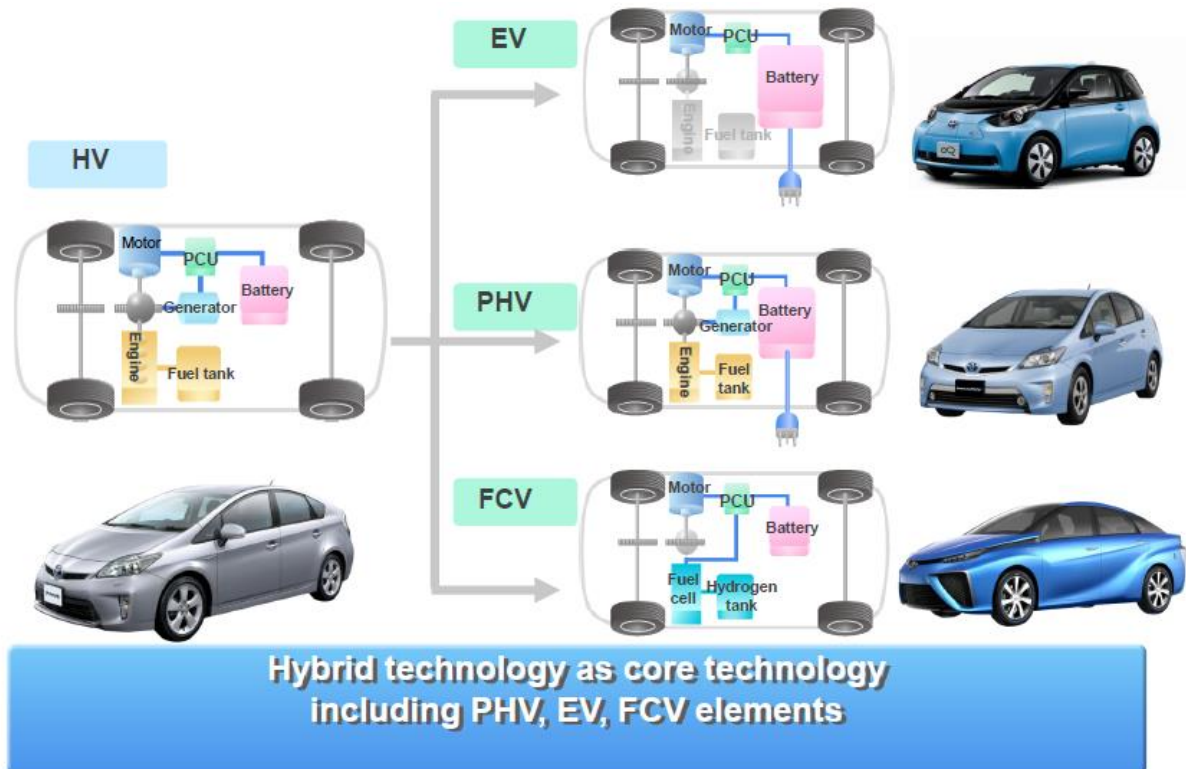
6.5 Polttokennoajoneuvot

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

Polttokenno muuttaa vedyn ja ilman hapen saasteettomasti sähköksi ja vedeksi. Polttokennoauto onkin eräällä tavalla sähköautojen alaryhmä, koska ajo tapahtuu sähköä avulla (kuva 45). Polttokennoautossa kemiallinen energia on varastoituneena vetyyn, ja sähköä tuottamassa on polttokenno. Myös polttokennoautossa järjestelmään kuuluu akusto, joka mahdollistaa jarrutusenergian talteenoton ja järjestelmän toiminnan tasaamisen.

Polttokennoauton etuja täyssähköautoon verrattuna on pitempi toimintamatka (henkilöautoissa tyypillisesti noin 500 km) ja nopeampi tankkaus (luokkaa 3 minuuttia). Lisäksi tullaan toimeen akulla, jonka koko vastaa tavanomaisen hybridauton akkua. Polttomoottoriautoon verrattuna etuihin kuuluu saasteettomuuden lisäksi korkea hyötysuhde, varsinkin osakuormalla. Koko energiaketjun hyötysuhde ja hiilidioksidipäästöt riippuvat kuitenkin siitä, miten vety on tuotettu. Tässä tarkastelussa ei polttokennotekniikka välttämättä ole ylivoimainen muihin tekniikoihin verrattuna. Taulukossa 8 on eri tekniikoiden vertailu. Hirose (2014) painottaa että sähkö- ja polttokennoautojen ilmastovaikutukset riippuvat täysin siitä, miten energia on tuotettu (haarukka ”poor-to-excellent”).

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



Kuva 45. Polttokennoauton vertailu sähköautoon ja ladattavaan hybridiin. (Hirose 2014)

Taulukko 8. Eri vaihtoehtotekniikoiden vertailu. (Hirose 2014)

	Electricity EV	Hydrogen FCV	Biofuel Internal combustion engines	Natural gas Internal combustion engines
Well-to-wheel CO ₂	Poor to Excellent	Poor to Excellent	Poor to Excellent	Good
Supply volume	Excellent	Excellent	Poor	Good
Cruising range	Poor	Excellent	Excellent	Good
Fueling/charging time	Poor	Excellent	Excellent	Excellent
Dedicated infrastructure	Good	Poor	Excellent	Good

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

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

”Tällä hetkellä kehityksen kärjessä kulkee korealainen Hyundai, jonka ix35 (Tuscon) polttokennoauton rajoitettu koetuotanto on käynnistynyt (kuva 46). Polttokennoautot halutaan tuoda markkinoille Euroopassa vuonna 2015 ja USA:ssa vuonna 2020. Hyundain lisäksi GM, Ford ja Daimler ovat ilmoittaneet tarjoavansa polttokennoautoja Euroopan markkinoille 2015. Toyota puolestaan esittelee sarjatuotantoon tarkoitettua polttokennoautonsa Tokion autonäytelyssä syksyllä 2013.

Daimler on liittynyt H2Mobility-nimiseen konsortioon, jossa muita osapuolia ovat Air Liquide, Intelligent Energy, Linde, OMV, Shell ja Total. H2Mobilityn tavoitteena on aikaansaada 400 vedyn tankkausasemaa Saksaan vuoteen 2023 mennessä.”

Toyotan ”Mirai” polttokennoauton (kuva 47) esittely viivästyi hieman, sillä auto esiteltiin virallisesti kesäkuussa 2014. Toyotan mukaan myynti alkaa Japanissa huhtikuussa 2015, ja Euroopassa ja USA:ssa ”vuoden 2015 aikana”. Japanissa hinnaksi on ilmoitettu n. 7 miljoonaa yeniä, eli noin 55.000 €, joka ilmeisesti on subventoitu hinta, koska Saksassa sille on eri lähteiden mukaan määritetty (verottomaksi) hinnaksi 60 – 66 k€⁵. Muut myyntimaat Euroopassa ovat aluksi UK ja Tanska³.

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



Kuva 46. Hyundai ix35 polttokennoauto. (Hyundai 2013)

⁵ http://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Mirai;
<http://insideevs.com/european-sales-toyota-mirai-begin-september/>



Kuva 47. Toyotan Mirai polttokennoauto. (Hirose 2014)

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

Tulevaisuutta on vaikea ennustaa. On kuitenkin hyvin mahdollista, että polttokennoautoihin kohdistuu nyt vastaava ylioptimistinen innostus kuin sähköautoihin joitakin vuosia sitten. Toisaalta niitä hypetettiin ensimmäisen kerran jo 2000-luvun alussa, jolloin mm. Mercedes lupasi autoja kuluttajille jo vuonna 2004. Siihen tuli kuitenkin ”aikalisä”, mutta valmistajat kuitenkin jatkoivat R&D panostuksiaan merkittävällä tasolla.

Lokakuussa 2014 Wienissä Itävallassa pidetyn ”A3PS Eco Mobility 2014” konferenssin paneelikeskusteluun osallistuivat mm. Toyotan Katsuhiko Hirose ja Shellin Oliver Bishop. Kysymykseen koska polttokennoautoista voisi tulla valtavirtaa edustavaa tekniikkaa Hirose vastasi ”joskus vuonna 2035 – 2040”.

Shell operoi tällä hetkellä kuutta vetytankkausasemaa (Bishop 2014). Kysymykseen miten Shell näkee vedyn tulevaisuuden liikennepolttoaineena Bishop vastasi ”vuoteen 2025 mennessä tiedämme, tuleeko vedystä merkittävä liikennepolttoaine”.

7. Esimerkkejä eri ajoneuvotekniikoiden päästöistä ja energian kulutuksesta

7.1 Yleistä

Seuraavassa esitetään esimerkkejä eri tekniikoiden päästöistä ja energian kulutuksesta. Kuten kohdassa 4.1 mainittiin, uudet polttomootoriautot (Euro 6, Euro VI) ovat säänneltyjen päästöjen osalta lähestymässä nollapäästöisyyttä, ainakin vanhoihin autoihin verrattuna. Vuoden 2030 tilanteessa on todennäköistä, että eurooppalaisten kaupunkien ilmanlaatuongelmat ovat siirtyneet historiaan. Päästöjen rajoittamisessa CO₂-päästöjen merkitys kohoaa.

Oikea tapa tarkastella CO₂-päästöjä olisi sekä energian tuotannon että sen käytön päästöjen huomiointi. Nyt kaikki CO₂-päästörajoitukset koskevat loppukäyttöä, eli auton pakoputkesta mitattua CO₂-päästöä. Tämä menettely suosii sähköautoja mutta on epäoikeudenmukainen biopolttoaineita käyttäville autoille. Toisaalta, liikenteen CO₂ tasetta laskettaessa biopolttoaineet, sähkö ja vety lasketaan nollapäästöiseksi, huomioimatta energian tuottamisesta syntyvät päästöt.

7.2 Koko energiaketjun CO₂-päästöt (well-to-wheel)

Tarkastelu tehdään henkilöauton perusteella, mutta tarkastelu (suhteellisena) on periaatteessa yleispätevä mille tahansa ajoneuvokategorialle.

Volkswagenilla on tällä hetkellä tarjolla laajin vaihtoehtoisten ajoneuvojen mallisto. Suositusta C-segmentin Golf-mallista löytyy seuraavat vaihtoehdot:

- Bensiini (useita vaihtoehtoja)
- Diesel (useita vaihtoehtoja)
- Korkeaseosetanoli (flex-fuel)
- Maakaasu (bi-fuel CNG)
- Ladattava hybridi (PHEV)
- Täyssähköauto (BEV)

Ainoat puuttuvat vaihtoehdot ovat autonominen hybridi (ei-ladattava) ja polttokennoauto.

Taulukkoon 9 on koottu tarjolla olevien autojen polttoaineen/energiankulutustietoja ja CO₂ päästöluvut. Taulukkoon on valittu sellaiset mallivaihtoehdot, joiden tehot ovat mahdollisimman lähellä toisiaan (81 – 92 kW). Ladattava hybridi poikkeaa tässä suhteessa muista, koska sen yhteenlaskettu teho on peräti 150 kW.

Taulukko 9. Eri Volkswagen Golf mallien energiankulutus ja CO₂-päästö. Lähde [http://www.volkswagen.fi/vv-auto/vw_cars.nsf/\(vw5_t\)?open&m=5G1](http://www.volkswagen.fi/vv-auto/vw_cars.nsf/(vw5_t)?open&m=5G1), luettu 28.2.2015.

	Bensiini	Diesel	Flex-fuel	CNG	PHEV	BEV
Moottori	1,4	1,6	1,4	1,4	1,4 + sähkö	sähkö
Teho (kW)	90	81	92	81	150	85
CO ₂ (g/km)	116	85	116	94	35	0
Pa-kulutus						
l/100 km	5	3,2	7,1		1,5	
kg/100 km				3,5		
kWh/100 km					11,4	12,7
Energia MJ/km	1,60	1,15	1,61	1,68	0,89	0,46
FFV/PHEV energiaosuudet						
Bensiini			0,34		0,48	
Muu			1,27		0,41	

Valmistajan ilmoittamien suoritusarvojen perusteella laskettiin kunkin automallin kasvihuonekaasupäästöt laskettuna koko energiaketjun (well-to-wheel) yli. Laskenta tehtiin seuraavasti:

- Laskennan lähtökohtana valmistajan ilmoittama energiankulutus
 - Flex-fuel autolle oletettu etanolin tilavuusosuudeksi 85 %, loppuosa bensiiniä
 - PHEV autolla bensiinin ja sähkön yhdistelmä
- Fossiilille vaihtoehdoille (bensiini, diesel, maakaasu) polttoaineketjun alkupään päästö ja polton päästö JEC Well-to-Wheels 2014 lukujen perusteella (JEC WTW 2014)
 - Maakaasun osalta putkikuljetuksen pituudeksi arvioitiin 4000 km
- Biopolttoaineille elinkaaren päästövähennys fossiiliseen vaihtoehtoon verrattuna uusiutuvan energian edistämistä koskevan direktiivin 2009/28/EY perusteella
 - Etanoli vehnästä (prosessipolttoainetta ei määritetty) 16 %
 - Etanoli sokerijuurikkaasta 52 %
 - Etanoli sokeriruosta 71 %
 - Etanoli vehnän oljesta 85 %
 - Vetykäsittely kasviöljy palmuöljystä (prosessia ei määritetty) 26 %
 - Vetykäsittely kasviöljy palmuöljystä (prosessi, jossa metaani otetaan talteen öljynpuristamalla) 65 %
 - Biodiesel kasvi- tai eläinöljyjätteestä 83 %
 - Fischer-Tropsch diesel jätepuusta 95 %
 - Biokaasu orgaanisesta yhdyskuntajätteestä paineistettua maakaasua vastaava 73 %
- Sähkön osalta käytettiin seuraavia lukuja:
 - Uusiutuva sähkö 0 g CO₂/kWh
 - Keskimääräinen suomalainen sähkö 210 g CO₂/kWh (Motiva 2012)
 - Marginaalisähkö 600 g CO₂/kWh (Motiva 2012)
 - Siirtohäviöt 5 %

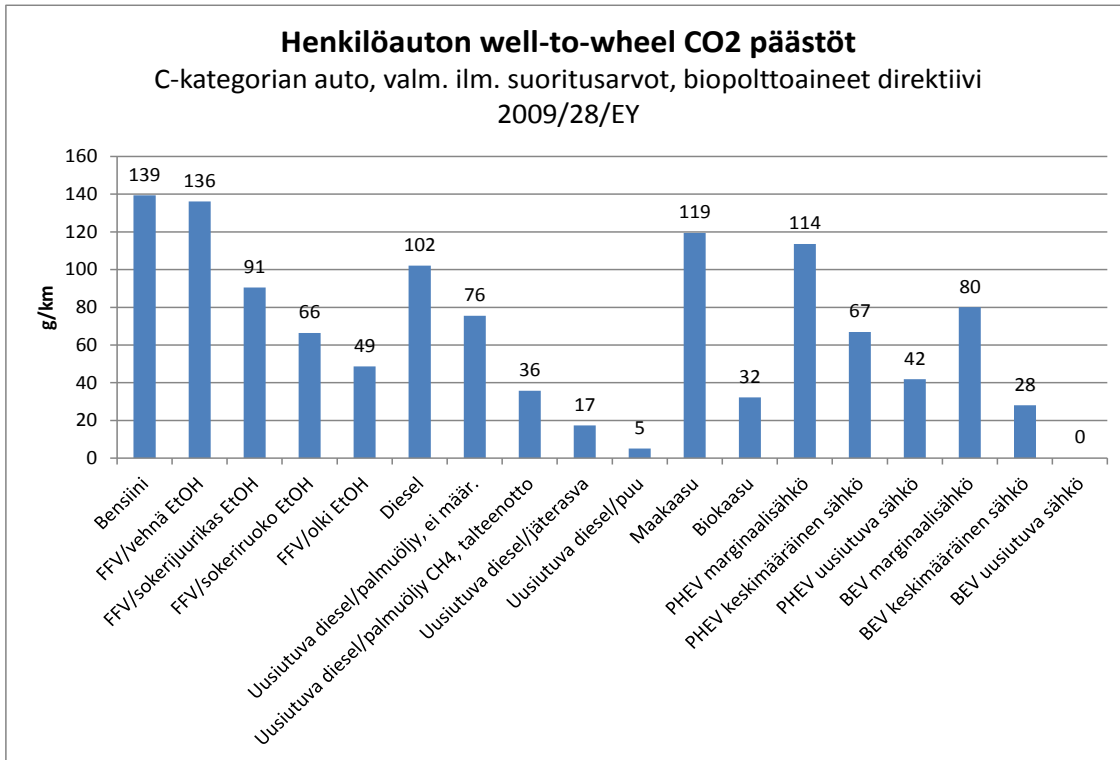
Laskennan tulokset on esitetty kuvassa 48. Bensiini antaa korkeimman luvun, 139 g CO₂/km. Dieselillä luku on 102 g/km, ja maakaasulla melko tarkkaan näiden lukujen puolella välissä, eli 119 g/km.

Täyssähköauton osalta uusiutuvalla sähköllä luku on tietenkin nolla, keskimääräisellä sähköllä 28 g/km ja marginaalisähköllä 80 g/km. Ladattava hybridi on marginaalisähköllä tavallista dieselautoa huonompi.

Biopolttoaineilla luvuissa on suurta vaihtelua. Alimmillaan luku on 5 g/km (synteettinen Fischer-Tropsch diesel jätepuusta eli BTL) ja korkeimmillaan 136 g/km (E85 polttoaine jossa etanoli on tehty vehnästä, prosessipolttoainetta ei määritetty). Useampi biopolttoainevaihtoehto antaa kuitenkin luvun joka on alle 50 g/km. Direktiivin 2009/28/EY ns. tuplalaskettavilla biopolttoaineilla päästään samaan suurusluokkaan kokonaispäästöjen osalta kuin sähköautolla keskimääräisellä suomalaisella sähköllä.

Liikenteen taseessa sekä sähkö että biopolttoaineet lasketaan nollapäästöisiksi. On kuitenkin hyvä mieltää, että myös polttoaineiden/energian tuotannosta syntyy päästöjä. Paras ja objektiivisin tarkastelutapa olisi arvioida koko energiaketjun (well-to-wheel) päästöjä.

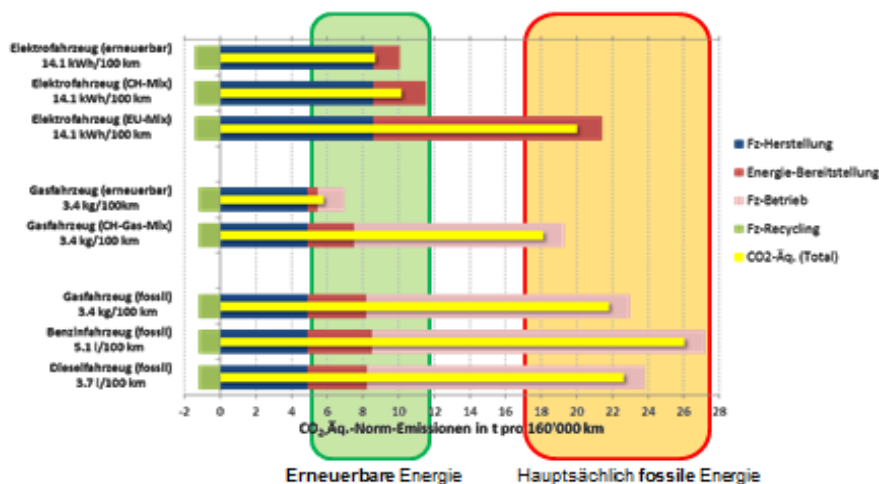
Kuvassa 49 elinkaaritarkastelu on ulotettu kattamaan myös ajoneuvojen valmistus ja kierrätys. Viesti on selvä, elinkaaren CO₂ päästöihin vaikuttavat ensisijaisesti käytetty energia, ei niinkään ajoneuvo itse.



Kuva 48. Eri tekniikkavaihtoehtojen CO₂ päästöt koko polttoaineketjun yli.

CO₂-life cycle emissions

The fuels are crucial – not the vehicles



Source: TU München (2014): Elektro EU-Mix/erneuerbarer Strom & Diesel;
Empa (2012): Erdgas/Biogas & Benzin



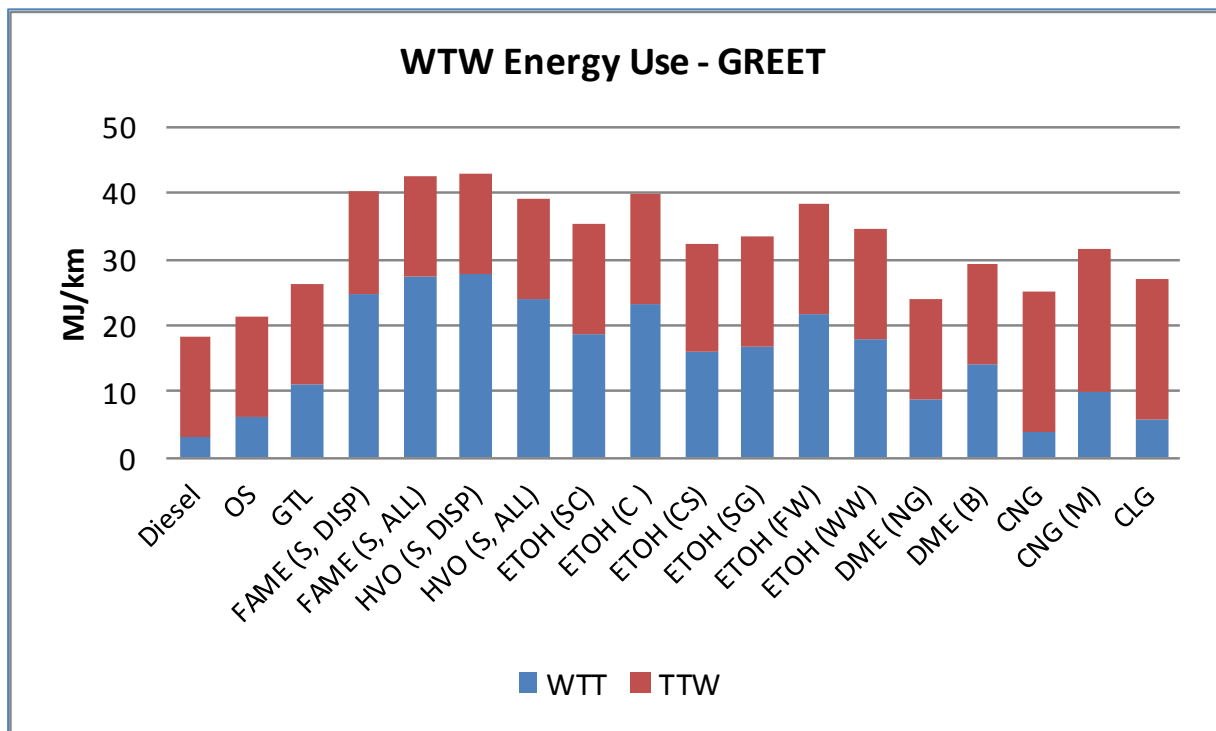
Kuva 49. Elinkaaren CO₂ päästöt huomioiden myös ajoneuvojen valmistus ja kierrätys. Erneuerbare Energie= uusiutuva energia, Hauptsächlich fossile Energie= pääosin fossiilinen energia. (Bach 2015)

7.3 Koko polttoaineketjun energian käyttö

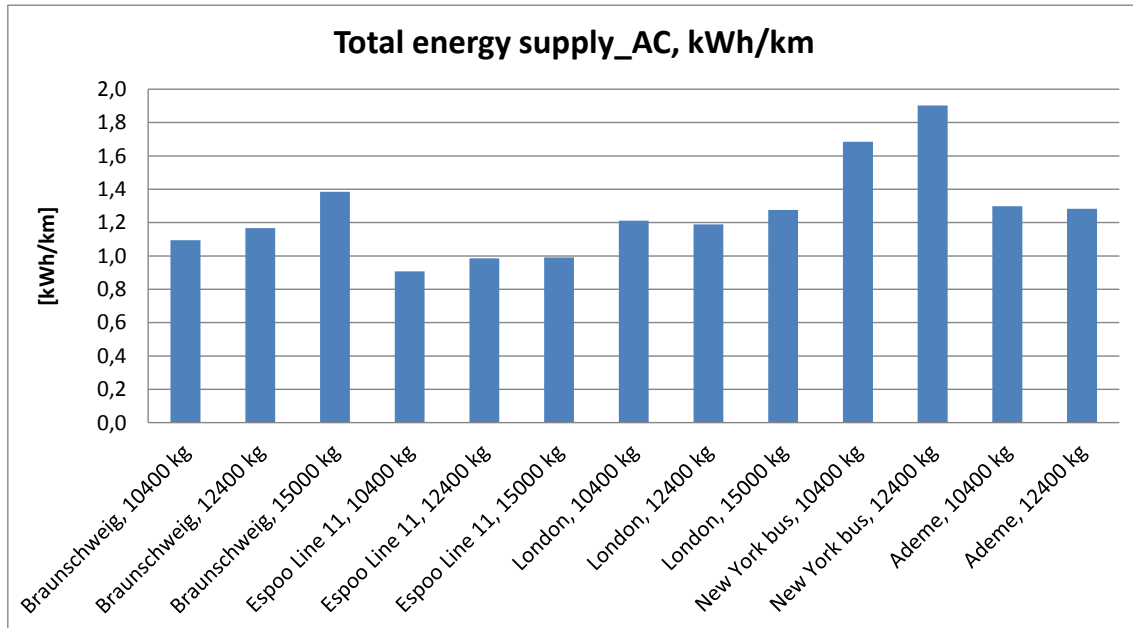
VTT raportoi vuonna 2012 laajan IEA:n “Advanced Motor Fuels” ja “Bioenergy” tutkimusso-
pimuksille tehdyn tutkimuksen “Fuel and technology options for buses. Overall energy effi-
ciency and emission performance (IEA Bus)”. Tutkimuksessa selvitettiin eri polttoaine- ja
voimalaitetekniikoiden (nestemäiset biopolttoaineet, kaasumaiset polttoaineet, hybridit) suori-
tuskykyä. Hankkeessa ei mitattu sähköbussuja, mutta näitä on mitattu VTT:n eBus-hankkeen
puitteissa.

Kuvassa 50 on esimerkki tavanomaisella voimalinjalla varustettujen bussien kokonaisener-
giankulutuksesta eri polttoainevaihtoehdoilla. Esimerkkitarkastelu on tehty Argonne National
Laboratoryn ”GREET” mallilla. Kokonaisenergiankulutus on pienimmillään perinteisellä die-
selipolttoaineella, suurimmillaan nestemäisillä dieseliä korvaavilla tuotteilla.

Kuvassa 51 on eBus-hankkeen puitteissa tehtyjä mittauksia ajoneuvon painon ja ajosyklin
vaikutuksista sähköbussin energian kulutukseen.



Kuva 50. Esimerkki tavanomaisella voimalinjalla varustettujen bussien kokonaisenergianku-
lutuksesta eri polttoainevaihtoehdoilla. Well-to-tank –tarkastelu GREET-mallilla. (Nylund &
Koponen 2012)



Kuva 51. Sähköbussin energian kulutus eri painoilla ja ajosykleillä. Luvut kuvaavat verkosta otettua tehoa ja pitävät sisällään latauksen aiheuttamat häviöt. (Nylund 2013)

Yhdistelemällä IEA Bus –hankkeen tuloksia ja sähköbussimittauksia voidaan tehdä mielenkiintoisia johtopäätöksiä. Taulukossa 10 on arvioitu kokonaisenergian kulutusta eri tekniikka-vaihtoehdoille. Vaihtoehdot ovat:

- dieselbussi perinteisellä voimalinjalla ja dieselhybridi
 - polttoaineena perinteinen diesel ja BTL
- kaasubussi maakaasulla ja biokaasulla
- sähköbussi eri sähkön tuotantovaihtoehdoilla
 - uusiutuva sähkö
 - maakaasulla tuotettu sähkö
 - biokaasulla tuotettu sähkö
 - kiinteästä biomassasta tuotettu sähkö

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

Taulukko 10. Kokonaisenergian käyttö eri tekniikkavaihtoehdoilla. Laskelmat on tehty Braunschweig-ajosyklille. (Nylund 2013)

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

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

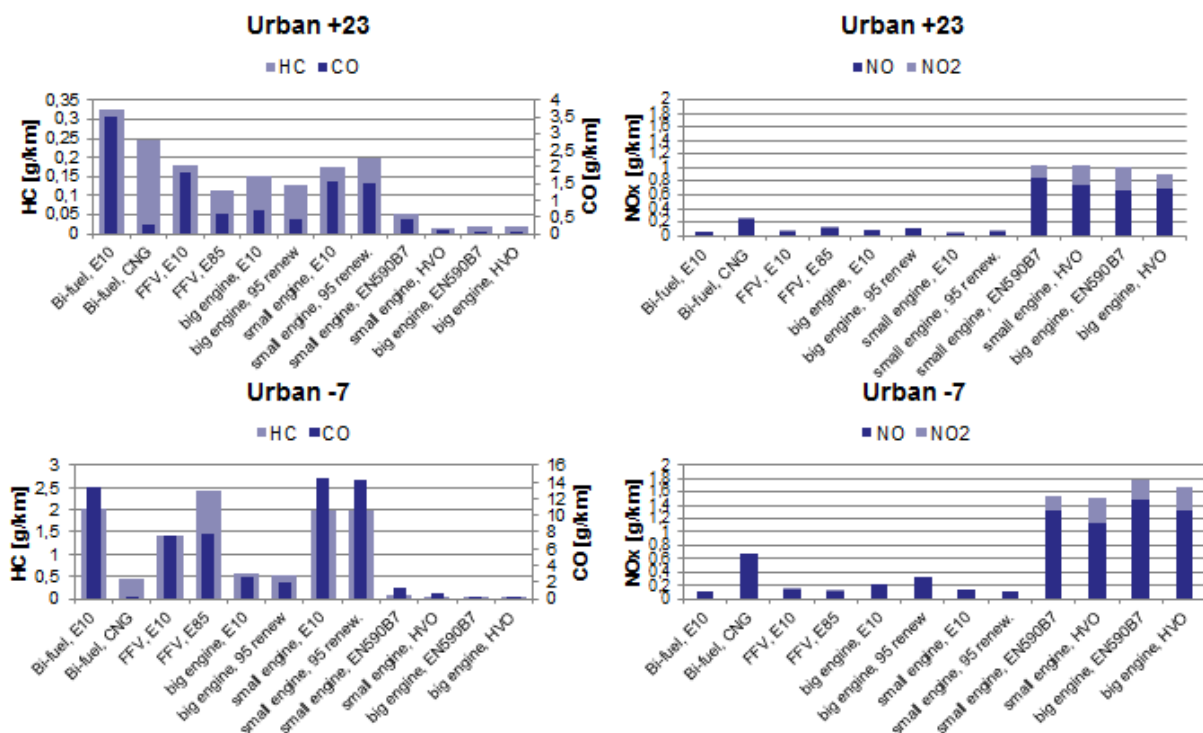
Kokonaisenergian kulutuksen haarukka on 5 MJ/km (uusiutuva sähkö) – 42 MJ/km (biokaasu kaasuautoissa). Sähköistys on useimmiten energiatehokkain vaihtoehto. Hybridi tavanomaisella dieselpolttoaineella pääsee samalle tasolle kuin sähköbussi maakaasusta tai kiinteästä biomassasta tuotetulla sähköllä. Uusiutuvia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

Viesti on se, että energiatehokkuuden kannalta kannattaisi valita sähkövaihtoehto aina kun se on mahdollista. Teknisistä ja kustannussyistä sähköistäminen ei kuitenkaan onnistu läheskään kaikissa sovelluskohteissa, joten jatkossa tarvitaan sekä sähköä että biopolttoainetta.

7.4 Henkilöautojen säännellyt päästöt ja energian kulutus

VTT:n johdolla toteutetussa IEA Advanced Motor Fuels -ohjelman hankkeessa ”Comparison and full fuel-cycle evaluation of passenger car powerplant options” (Annex 43 ”CARPO”) tutkittiin henkilöautojen eri polttoaine- ja tekniikkavaihtoehtojen suorituskykyä. Myös tämä tutkimus tehtiin ”platformiperiaatteella”, eli osallistuneet laboratoriot valitsivat kukin yhden automallin, josta oli mahdollisimman monta eri versiota. VTT:llä mitattiin eurooppalaisen perheautokokoluokan eri versiota. Autoilla oli Euro 5 -päästoluokitus. Vaihtoehdot olivat benssiini (kaksi moottorikokoa), diesel (kaksi moottorikokoa), korkeaseosetanoli ja maakaasu (bi-fuel). Lisäksi mukana oli täyssähköauto, joka tosin ei ollut tehdasvalmisteinen, vaan muunnossähköauto.

Kuvassa 52 on polttomoottorilla varustettujen autojen säännellyt kaasumaiset päästöt.

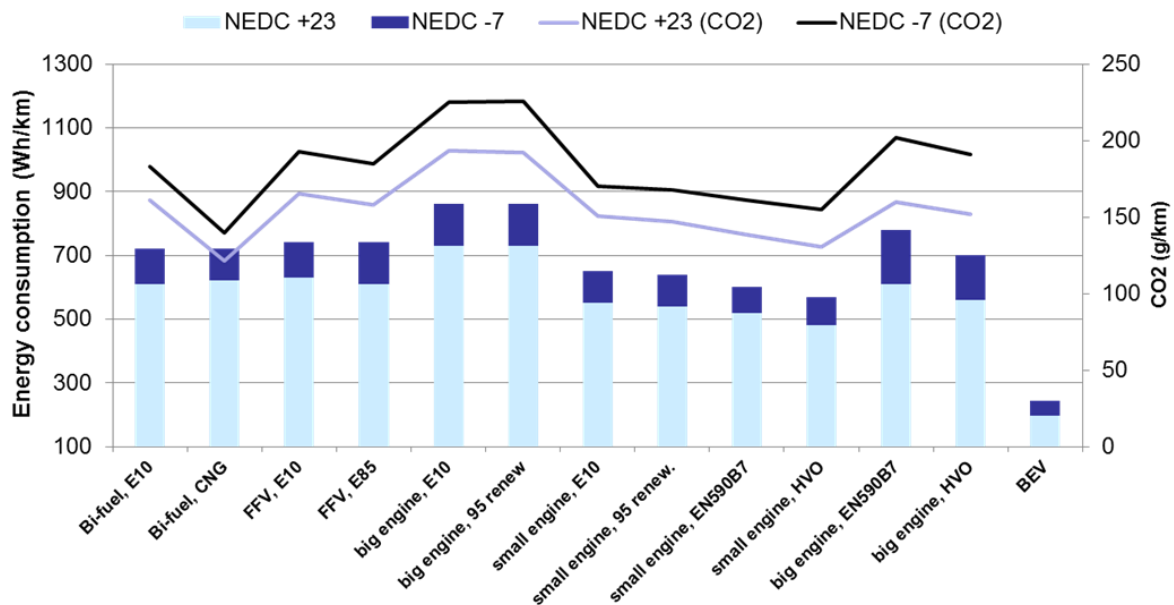


Kuva 52. Saman autotyypin eri voimalaitteivaihtoehtojen säännellyt kaasumaiset päästöt. Todellinen kaupunkiajosytkli. Testilämpötilat +23 ja -7 °C. (Nuottimäki 2012)

Nuottimäki (2012) sisältää seuraavat johtopäätökset:

- Bensiini
 - + Kompromissi energiatehokkuuden ja päästöjen välillä
 - + Pienempitehoinen moottori muita ottomoottoreita energiatehokkaampi
- Diesel
 - + Energiatehokas vaihtoehto
 - + Pienet CO ja HC päästöt
 - Suuret NO_x ja NO₂ päästöt etenkin kaupunkiajossa
- Flex-fuel (etanoli)
 - NO_x päästöt moottori- ja maantieajossa muita ottomoottoreita suuremmat
- Maakaasu (bi-fuel)
 - + Ottomoottoreista pienimmät pakoputkesta mitatut CO₂ päästöt (samalla energiatehokkuudella)
 - Kylmässä kaupunkiajossa kohonneet NO_x ja CO päästöt kaasulla ajettaessa

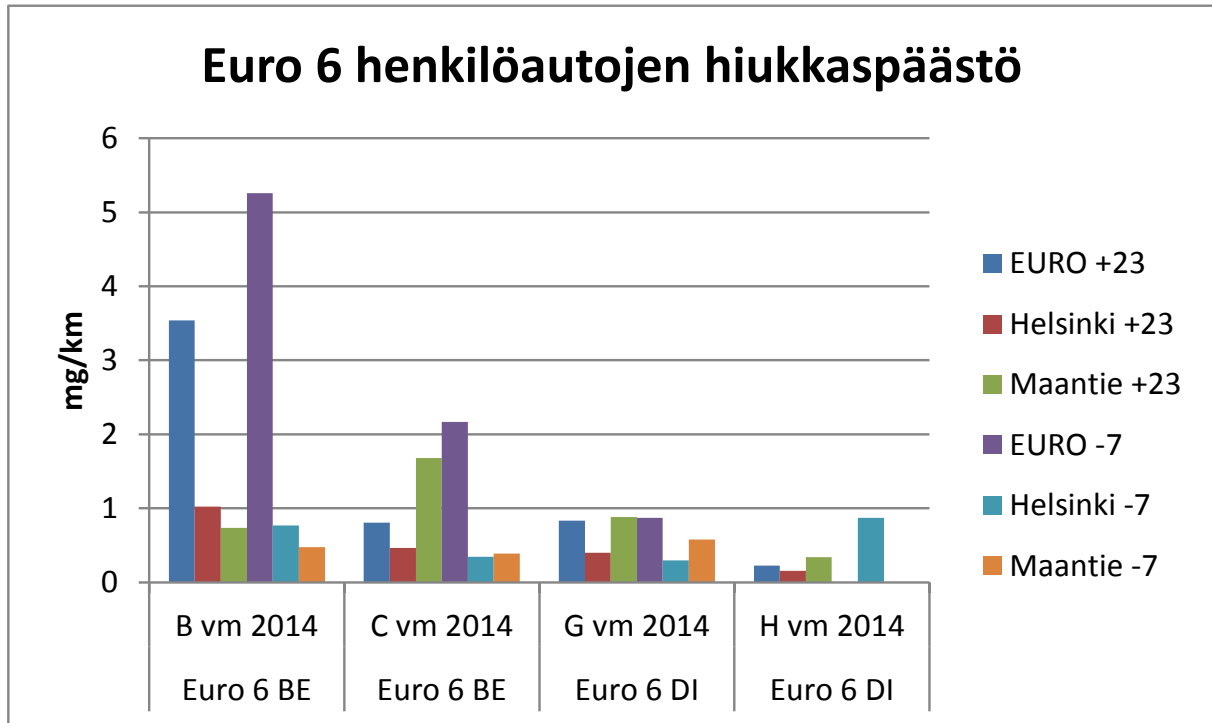
Kuvassa 53 on autojen energian kulutus ja CO₂ päästö (pakoputkesta mitattu). Energian kulutus on alimmillaan noin 0,2 kWh/km (sähköauto lämpimässä) ja ylimmillään noin 0,85 kWh/km (isolla moottorilla varustettu bensiiniauto kylmässä). Polttomoottorilla varustettujen autojen CO₂ päästö on n. 120 – 220 g/km, tekniikasta ja lämpötilasta riippuen. Tässä tapauksessa alin CO₂ päästö saavutettiin maakaasulla lämpimässä, korkein isolla bensiinimoottorilla kylmässä.



Kuva 53. Henkilöauton eri tekniikkavaihtoehtojen energian kulutus ja CO₂-päästöt NEDC-kokeessa. (Nuottimäki 2012)

Dieselautoissa on Euro 5 luokasta lähtien varsinainen hiukkassuodatin. Niinpä bensiini- ja dieselautojen hiukkaspäästöt ovat likimäärin samalla tasolla. Suoraruiskutuksella varustetuille bensiinimoottoreille on olemassa hiukkaspäästöraja (massaraja), joka on sama kuin dieselautolla. Dieselautojen hiukkaslukumäärää on rajoitettu Euro 5 määräysten toisesta vaiheesta (5b) alkaen, suoraruiskutuksella varustetuille bensiiniautoille lukumääräraja tulee Euro 6 määräysten myötä (kts. myös 4.1).

Kuvassa 54 on esimerkkejä VTT:n Euro 6 sertifioiduille henkilöautoille (benssiini ja diesel) mittaamista hiukkaspäästöarvoista. Tietyissä tilanteissa benssiiniautoista tulee enemmän hiukkasmassaa kuin dieselautoista.



Kuva 54. Esimerkkejä VTT:n Euro 6 henkilöautoille mittaamista hiukkaspäästöistä.

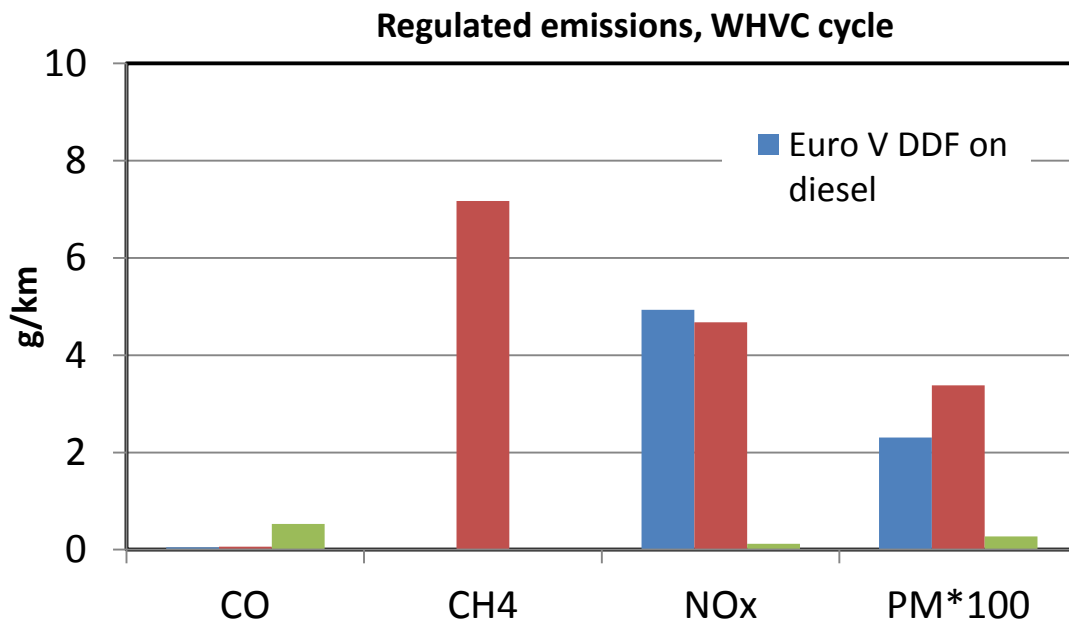
7.5 Kuorma-autojen säännellyt päästöt ja energian kulutus

Bussien päästökehitystä käsiteltiin kohdassa 4.1, jossa todettiin että uudet Euro VI tasoiset raskaat ajoneuvot, sekä bussit että kuorma-autot toimivat erittäin hyvin. Kohdassa 6.3.1 mainitun dual-fuel kaasuautokokeilun yhteydessä on koeautojen lisäksi mitattu myös vertailuajoneuvoja.

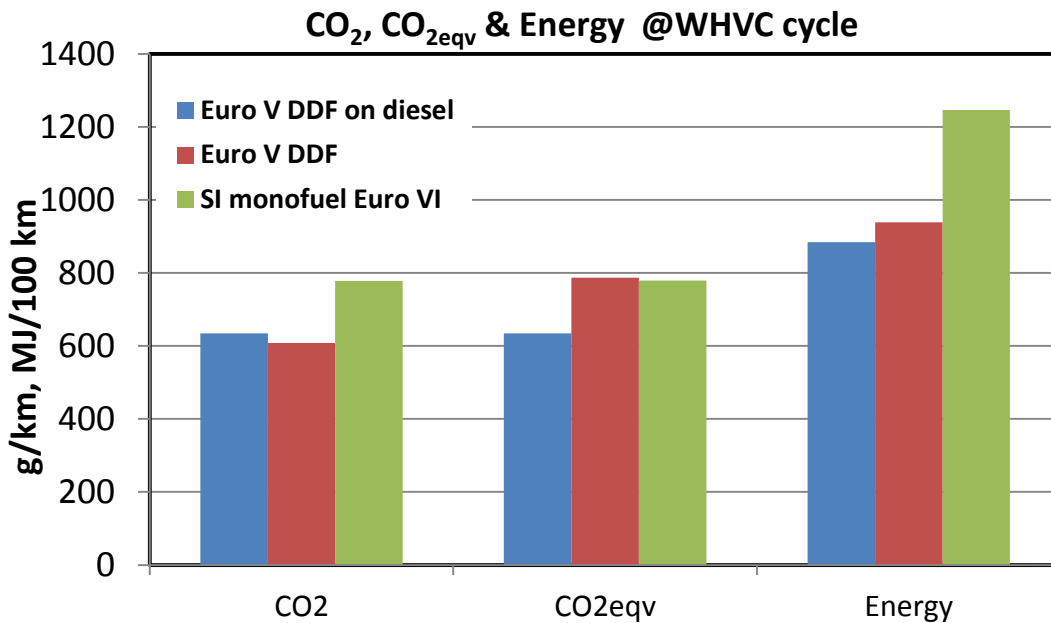
Kuvassa 55 on Euro V –tasoisien dual-fuel auton säännellyt päästöt pelkällä dieselillä ja dual-fuel käytössä verrattuna kipinäsytytteisen Euro VI tasoisen kaasuauton päästöihin. Mittaus-syklinä on World Harmonized Vehicle Cycle (WHVC). Kipinäsytytysmoottorilla varustettu Euro VI auto on erittäin vähäpäästöinen. Kuvasta näkyy selvästi DDF tekniikan pahin ongelma, korkea palamattoman metaanin päästö.

Kuvassa 56 on vastaavasti energian kulutus sekä pakoputkesta mitattu CO₂ ja CO_{2ekv} päästöt. CO_{2ekv} päästössä on huomioitu palamaton metaani.

Kipinäsytytteinen VI kaasuauto kuluttaa peräti 40 % enemmän energiaa verrattuna DDF auttoon pelkällä dieselpolttoaineella ajettaessa. Dual-fuel käyttö puolestaan lisäsi energian kulu-tusta 6 % pelkkään dieselkäyttöön verrattuna. CO_{2ekv} päästö on sekä DDF käytössä että pelkällä kaasulla korkeampi kuin dieselkäytössä: DDF käytössä korkeasta metaanipäästöstä ja kipinäsytytteisellä kaasumoottorilla huonosta hyötysuhteesta johtuen.



Kuva 55. DDF kaasukuorma-auton (Euro V) ja kipinäsytytysmoottorilla varustetun kaasuauton (Euro VI) säännellyt päästöt.



Kuva 56. DDF kaasukuorma-auton (Euro V) ja kipinäsytytysmoottorilla varustetun kaasuauton (Euro VI) CO₂ ja CO_{2eqv} päästöt sekä energian kulutus.

8. Esimerkkejä autojen hinnoista

Kohdassa 7.2 mainitut Volkswagen Golf -mallit on kaikki hinnoiteltu Suomessa. Taulukossa 10 on likimain vastaavien autojen verottomat ja verolliset hinnat. Täydellinen hintavertailu kohdan 7.2 autojen perusteella ei onnistu, koska autoissa on eroja lisävarusteissa, eikä kaikkia vaihteistomalleja löydy kaikkiin autoihin. Polttomoottoriautojen varustelu on Comfortline, ja hinnat on nelioviselle manuaalivaihteistolla varustetulle autolle, koska flex-fuel -mallia ei löydy automaattivaihteistolla. Tässä vertailussa vaihtoehtoautot kärsivät hieman siitä, että niissä on bensiini- ja dieselautojen perusversioihin nähden enemmän tehoa.

Taulukko 11. Volkswagen Golf autojen hintavertailu. Lähde [http://www.volkswagen.fi/vv-auto/vw_cars.nsf/\(vw5_h\)?open&m=5G1](http://www.volkswagen.fi/vv-auto/vw_cars.nsf/(vw5_h)?open&m=5G1), luettu 28.2.2015.

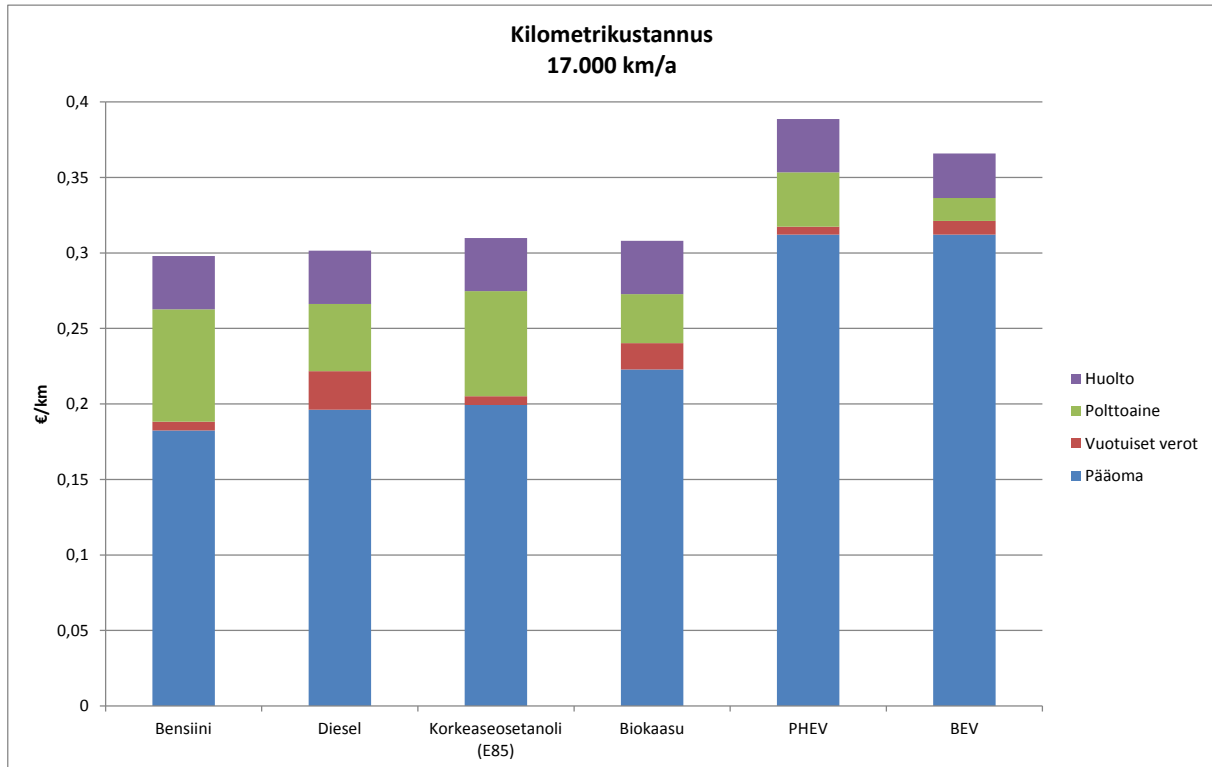
Malli	Veroton hinta €	%	Autovero €	Kokonais-hinta €	Hinnan ero halvimpaan €	%
1.2 TSI bensiini 77 kW	19650	100	4297	23947	0	100
1.6 TDI diesel 77 kW	21760	111	3985	25745	1798	108
1.4 TSI MultiFuel 92 kW	21390	109	4774	26164	2217	109
1.4 TGI maakaasu 81 kW	25050	127	4198	29248	5301	122
GTE plug-in 150 kW	37920	193	3052	40972	17025	171
e-Golf sähkö 85 kW	39050	199	1925	40979	17032	171

Täyssähköauton veroton hinta on kaksinkertainen bensiiniautoon verrattuna. CO₂-perusteisesta autoverosta johtuen sähköauton autovero on alle puolet bensiini- tai dieselauton autoverosta. Kokonaishinnan osalta bensiini, diesel ja flex-fuel mahtuvat n. 2000 €:n haarrukseen. Kaasuauto on noin 4000 € em. keskiarvoa kalliimpi. Sähköversiot ovat omassa luokassaan yli 40.000 €:n hinnalla.

Eri mallien hintojen ja taulukossa 10 olevien kulutuslukujen perusteella laskettiin kilometrikustannus eri vaihtoehdoille. Laskenta tehtiin seuraavasti:

- Annuiteettimenetelmä
- Pitoaika kaikille autoille 10 vuotta, jäännösarvo 0 €
 - Tämä ei ota huomioon sitä että sähköautojen akusto joudutaan mahdollisesti vaihtamaan kertaalleen
- Laskentakorko 5 %
- Vuotuinen ajosuorite kaikille autoille 17.000 km
- Vuosittaiset verot (ajoneuvovero, käyttövoimaverot) huomioitu
- Arvio vuosittaisista huoltokustannuksista 600 € polttomoottorilla varustetuille autoille ja 400 € täyssähköautolle
- Polttoaineiden hinnat (verolliset pumppuhinnat) 23.3.2015 Espoossa:
 - Bensiini 1,49 €/l
 - Diesel 1,39 €/l
 - E85 0,98 €/l
 - Biokaasu 0,93 €/kg (maakaasu 0,85 €/kg)
- Sähkön hintana on käytetty 0,12 €/kWh (kotilataus, pikalatauksen sähköhintaa korkeampi)

Kuluttajan näkemä kilometrikustannus on näytetty kuvassa 57.



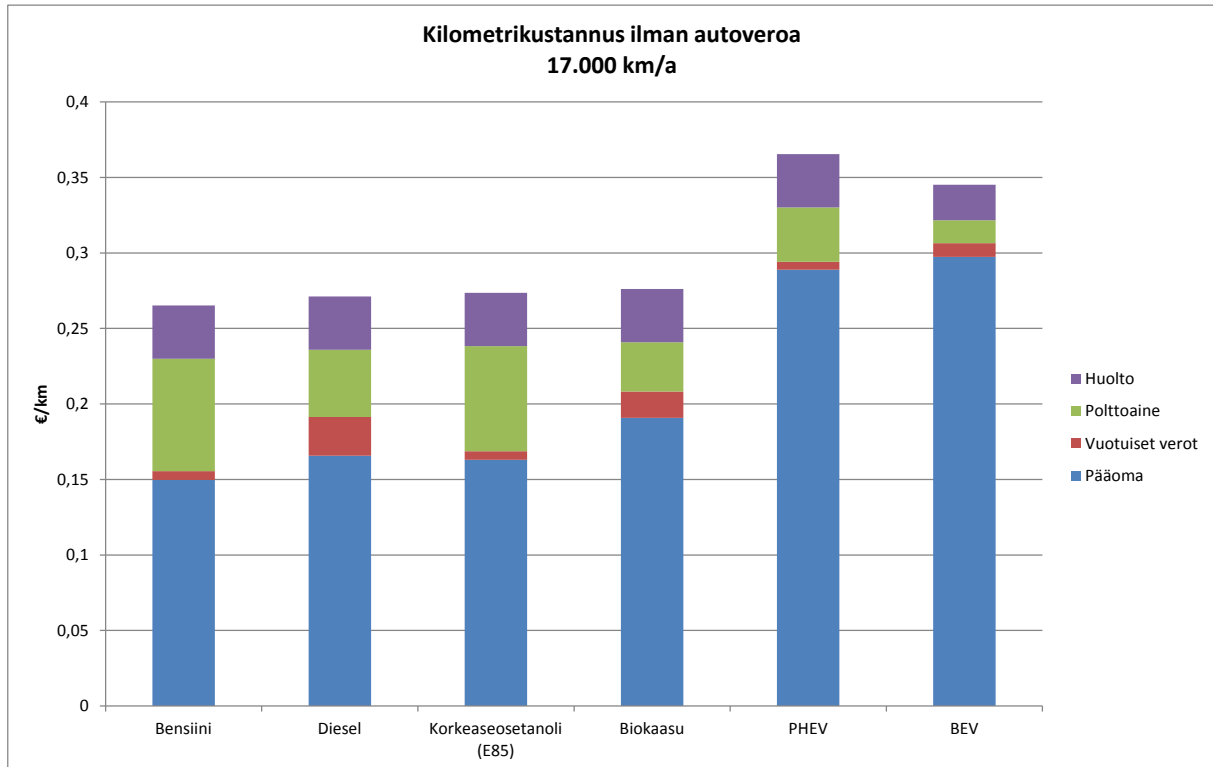
Kuva 57. Kilometrikustannus eri tekniikoilla. Esimerkkiautona Volkswagen Golf. Nykytilanteen polttoainehinnat ja verot.

Kuvasta käy ilmi, että bensiini, diesel, korkeaseosetanoli ja biokaasu antavat likimain saman kilometrikustannuksen, noin 0,3 €/km. Tässä tulee huomioida, ettei biokaasusta tällä hetkellä kanneta lainkaan energiaveroa, ja että biokaasun verotus saattaa siltä osin muuttua lähitulevaisuudessa.

Kallein vaihtoehto on ladattava hybridi, kilometrikustannuksen ollessa 0,39 €/km. Tämä johtuu ainakin osittain siitä, että Volkswagen on halunnut tehdä ladattavasta hybridistä hyvin suorituskykyisen GT-sarjan auton. Täyssähköauton kilometrikustannus on 0,36 €/km. Sähköautot ovat siis kuluttajan näkökulmasta perinteisiä autoja kalliimpia (20 – 30 % bensiiniautoon verrattuna), siitäkkin huolimatta että verotus (energiaverot, vuotuiset verot ja autovero) suosii sähköautoja.

Kuvassa 58 on kilometrikustannus siinä tapauksessa, ettei auton oston yhteydessä kannettaisi autoveroa. Tällöin tilanne muuttuu sähköautoille vieläkin epäedullisemmaksi, lisäkustannus bensiiniautoon verrattuna on 30 – 38 %.

Selvityksen optimiskenaariota muodostettaessa huomioitiin, etteivät sähköautot ole tällä hetkellä kustannustehokkaita kuluttajan tai kansantalouden kannalta. Niinpä kalustoskenaariossa sähköautojen lukumäärää kasvatetaan voimakkaasti vasta vuoden 2020 jälkeen, sillä oletuksella että tuotantomäärien kasvaessa sekä kustannustehokkuus että suorituskyky (toimintamatka) paranevat merkittävästi.



Kuva 58. Kilometrikustannus eri tekniikoilla. Esimerkkiautona Volkswagen Golf. Nykytilanteen polttoainehinnat, vuotuiset verot mutta ei autoveroa.

Viitteet

Alternative Fuels Data Center. Flexible Fuel Vehicles.

http://www.afdc.energy.gov/vehicles/flexible_fuel.html

Automotive World. (2013). H₂ announcements bring FCEVs closer to reality.

<http://www.automotiveworld.com/analysis/comment-h2-announcements-bring-fcevs-closer-to-reality/>

Bach, C. (2015). Chemical energy storage and conversion for mobility. IEA End Use Working Party Workshop. EMPA Academy, Dubendorf, Switzerland. 3 March 2015.

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

Bishop, O. (2014). The challenges of future mobility: Hydrogen a solution? A3PS Conference "Eco Mobility 2014". Vienna, 20 – 21 October, 2014.

http://www.a3ps.at/site/sites/default/files/conferences/2014/papers/01_shell_bishop.pdf

COM(2013) 17 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions . Clean Power for Transport: A European alternative fuels strategy. Brussels, 24.1.2013.

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

Cummins Westport. Cummins Westport Natural Gas Engines.

<http://www.cumminswestport.com/models>

DieselNet. Emission Standards. Europe. European Union.

<https://www.dieselnets.com/standards/eu/>

Dulac, J, Global land transport infrastructure requirements - Estimating road and railway infrastructure capacity and costs to 2050. Information paper, International Energy Agency (IEA), IEA Publications 2013.

http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TransportInfrastructureInsights_FINAL_WEB.pdf

EBTP. (2008). Strategic Research Agenda & Strategy Deployment Document. January 2008. European Biofuels Technology Platform.

http://www.biofuelstp.eu/srasdd/080111_sra_sdd_web_res.pdf

ECE R-101. Addendum 100: Regulation No. 101, Revision 3. Date of entry into force: 27 January 2013. Uniform provisions concerning the approval of passenger cars powered by an internal combustion engine only, or powered by a hybrid electric power train with regard to the measurement of the emission of carbon dioxide and fuel consumption and/or the measurement of electric energy consumption and electric range, and of categories M1 and N1 vehicles powered by an electric power train only with regard to the measurement of electric energy consumption and electric range.

<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/updates/R101r3e.pdf>

EN 228. CSN EN 228. Automotive fuels - Unleaded petrol - Requirements and test methods

<http://www.en-standard.eu/csn-en-228-automotive-fuels-unleaded-petrol-requirements-and-test-methods/?gclid=CJKq8v7licQCFcoLcwodM1gAmg>

EN 590. CSN EN 590. Automotive fuels - Diesel - Requirements and test methods
<http://www.en-standard.eu/csn-en-590-automotive-fuels-diesel-requirements-and-test-methods/?gclid=CPybjKrmicQCFUnncgod5IEABw>

EN 14214. ÖNORM. Edition: 2014-04-01. Liquid petroleum products — Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications — Requirements and test methods.
<https://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=283EB41080C13AD3EE28B937EBC5A826?preview=&dokey=518916&selectedLocale=en>

ERTRAC. (2011). ERTRAC Research and Innovation Roadmaps. Implementation of the ERTRAC Strategic Research Agenda 2010. The European Road Transport Research Advisory Council (ERTRAC).
http://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id7/ertrac-researchinnovation-roadmaps_60.pdf

ERTRAC. (2014). Energy carriers for powertrains for a clean and efficient mobility. Version: 1.0. Date: 27.02.2014. The European Road Transport Research Advisory Council (ERTRAC). http://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id32/2014-03-12_Roadmap_Energy_Carriers_for_Powertrains.pdf

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

EY 2008, Komission asetus (EY) N:o 692/2008; 2. artikla, kohta 10.

FIAT UK (2014) <http://www.fiat.co.uk/fiat-500/engines-technical-info>; haettu 11.3.2015.

Fossiloberoende. (2013). Fossilfrihet på väg. Miljö- och energidepartementet. SOU 2013:84. Utgiven 16 december 2013. <http://www.regeringen.se/sb/d/17075/a/230739>

[Arthur G. Fraas, Winston Harrington, and Richard D. Morgenstern, Cheaper Fuels for the Light-Duty Fleet - Opportunities and Barriers. Discussion paper, September 2013; revised January 2014. RFF DP 13-28-REV. Resources for the Future, 2014, 87 p.](#)

Gasum. (2015). Puhtaampi liikenne. Jälkiasennukset. <http://www.gasum.fi/Puhtaampi-liikenne/Ajoneuvot/Jalkiasennukset/>

Green Car Congress.(2009). Automakers Issue Joint Statement in Support of Commercial Introduction of Fuel Cell Vehicles from 2015 Onward.
<http://www.greencarcongress.com/2009/09/automakers-fcv-20090909.html>

Gustafsson, M. (2015). Neuvottelu kaasukuorma-autoista ICA:lla. Solna, Ruotsi, 20.1.2015.

Hirose, K. (2014). Toyota's Effort Towards Sustainable Mobility. A3PS Conference "Eco Mobility 2014". Vienna, 20 – 21 October, 2014.
http://www.a3ps.at/site/sites/default/files/conferences/2014/papers/04_toyota_hirose.pdf

Holl, E. (2013). Citybus of the Future. 4th VDV Academy Conference Electric Buses – Market of the Future!? February 18 and 19, 2013 in Berlin.

Holtmark & Skonhoft (2014). Bjart Holtmark, Anders Skonhoft; The Norwegian support and subsidy policy of electric cars. Should it be adopted by other countries? In Environmental Science & Policy, Vol. 42 (2014), pp. 160 – 168.

IANGV. (2013). More Than 16.7 million NGVs Operating Globally. NGV Global.
<http://www.iangv.org/>

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

IEA. (2014). Key World Energy Statistics. International Energy Agency (IEA). Paris, 2014.
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf>

IEA ETP. (2014). Energy Technology Perspectives 2014 – Harnessing Electricity's Potential. International Energy Agency (IEA). Paris, 2014.
http://www.iea.org/newsroomandevents/pressreleases/2014/may/name_51005.en.html

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

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

JEC WTW. (2014). Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. WELL-to-WHEELS Report. Version 4a, January 2014. European Commission. Joint Research Centre. Institute for Energy and Transport.
http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/wtw_report_v4a_march_2014_final.pdf

Jobson, E. (2013). Volvo 7900 Hybrid Range Euro 6. Green Highway.
<http://media.greenhighway.nu/2013/05/Edward-Jobson-Volvo-Buses.pdf>

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

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

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

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

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

Laurikko, Juhani, Nylund, Nils-Olof, Aakko-Saksa, Päivi. 2013. High-volume ethanol fuel composition optimized for cold driving conditions. SAE/KSAE 2013 International Powertrains, Fuels and Lubricants Meeting, FFL 2013, 21 - 23 October 2013, Seoul, South Korea: Society of Automotive Engineers. SAE Technical Papers 2013-01-2613. doi:10.4271/2013-01-2613.

Lindgren, M. (2015). Kirjeenvaihto Magnus Lindgren, Trafikverket, 27.1.2015. Alkuperäinen tiedon lähde Fredrik Ohlsson, AB Volvo.

Lundgren, S. (2014). CO₂& Energy: Challenges of future heavy duty propulsion. SAE 2014 Heavy-Duty Diesel Emissions Control Symposium. September 17-18, 2014, Gothenburg, Sweden.

Michelin. (2013). Watt System: PVI's fast-charging solution to go on trial soon in France. Michelin Challenge Bibendum, published on 23/10/2013.

<http://www.michelinchallengebibendum.com/eng/other-event/Busworld-Europe-2013/Watt-System>

Motiva. (2012). Yksittäisen kohteen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet. 12/2012. http://www.motiva.fi/files/6817/CO2-laskenta_yksittainen_kohde.pdf

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

Norton, P. (1997). The Ethanol Heavy-Duty Truck Fleet Demonstration Project. NRELISR-540-22110. DE97006927. May 1997. <http://www.nrel.gov/docs/legosti/old/22110.pdf>

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

[http://www.transec.fi/files/664/IEA AMF CARPO Comparison and Full Fuel-Cycle Evaluation of Passenger Car Powerplant Options Nuottimaki.pdf](http://www.transec.fi/files/664/IEA_AMF_CARPO_Comparison_and_Full_Fuel-Cycle_Evaluation_of_Passenger_Car_Powerplant_Options_Nuottimaki.pdf)

Nylund, N.-O., Lajunen, A., Sipilä, E. & Mäkelä, K. (2006). Vähäpäästöiset ajoneuvot Helsingissä. Selvitystyö kaasun ja muiden vähäpäästöisten tekniikoiden käyttömahdollisuuksista. Tiivistelmäraportti. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 9/2006.

<http://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-09-06.pdf>

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

[http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=1551284&name=DLFE-11701.pdf&title=Julkaisuja 12-2011](http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=1551284&name=DLFE-11701.pdf&title=Julkaisuja+12-2011)

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

Nylund, N.-O. & Koponen, K. 2012. Fuel and technology options for buses. Overall energy efficiency and emission performance. Espoo 2012. VTT Technology 46. 294 p. + app. 94 p.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T46.pdf>

Nylund, N.-O. (2013). From well to wheel. Ett helhetsperspektiv på buss och miljö. Energiefektiv kollektivtrafik och elbussar. Svenska bussbranchens riksförbund, Stockholm 9.10.2013.

http://bussbranschen.se/Portals/0/PDF_public/Verksamhet/Elbuss%20seminarium/NilsOlofNylund.pdf

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

Opel. (2015). Opel CNG. Saubere technologie für eine bessere zukunft.
http://www.opel.de/fahrzeuge/alternative-antriebe/cng/models_cng.html

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

Rautavirta, M. (2014). Biopolttoaineiden käytön lisääminen bensiinikäyttöisissä autoissa – Etanolimuunnokset keinona lisätä E85-yhteensopivia autoja. Liikenne- ja viestintäministeriö. Luonnos 23.9.2014.

RETRANS. (2010). RETRANS: Opportunities for the Use of Renewable Energy in Road Transport. Policy Makers Report, March, 2010. IEA Renewable Energy Technology Deployment (IEA-RETD) Implementing Agreement. http://iea-retd.org/wp-content/uploads/2011/10/RETRANS_PolicyMakersReport_final.pdf

Reuters. (2015). UPDATE 2-Brazil to raise ethanol blend in gasoline to 27 pct on Feb 15.
<http://www.reuters.com/article/2015/02/02/brazil-ethanol-blend-idUSL1N0VC0X120150202>

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

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

Scania. (2015). Scania engine range. Euro 6. <http://www.scania.com/products-services/buses-coaches/Engine-range/Euro%206.aspx>

Schmerbeck, S. (2014). Clean vehicle development at VW. A3PS Conference "Eco Mobility 2014". Vienna, 20 – 21 October, 2014.
http://www.a3ps.at/site/sites/default/files/conferences/2014/papers/02_vw_schmerbeck_0.pdf

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

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

Stefenson, P. (2014). The use of biofuel in the marine sector or: Methanol, the marine fuel. Biofuels for Low Carbon Transport & Energy Security. European Biofuels Technology Platform. 6th Stakeholder Plenary Meeting SPM6. Brussels, 14 – 15 October 2014.

Sunnerstedt, E. (2015). Stockholm's EV work. Seminar on electromobility. Stockholm, 22.1.2015

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

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

Toepel, R., Bennethum, J., and Heruth, R., "Development of Detroit Diesel Allison 6V-92TA Methanol Fueled Coach Engine," SAE Technical Paper 831744, 1983, doi:10.4271/831744.. <http://papers.sae.org/831744/>

Toyota. (2015) Worldwide sales of Toyota hybrids tops 7 million units. http://www.toyota-global.com/innovation/environmental_technology/hv-record/

Trafi. (2013). Rekkojen massojen ja mittojen korotus ei tuo liikennevirtaan näkyviä muutoksia. http://www.trafi.fi/tietoa_trafista/ajankohtaista/2326/rekkojen_massojen_ja_mittojen_korotus_ei_tuo_liikennevirtaan_nakuvia_muutoksia

Trafi. (2015). Ajoneuvojen ensirekisteröinnit kääntyivät nousuun – tänä vuonna romutuspalkkio lisännee ensirekisteröintejä 8.1.2015. http://www.trafi.fi/tietoa_trafista/ajankohtaista/3125/ajoneuvojen_ensirekisteroinnit_kaantyyvat_nousuun_-_tana_vuonna_romutuspalkkio_lisannee_ensirekisterointeja

Transportstyrelsen. (2015). Femårig skattebefrielse. <http://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Fordon/Fordonsskatt/Femarig-skattebefrielse/>

Trigg, T. (2015). Kirjeenvaihto sähköautomääristä IEA:n sihteeristön kanssa 27.1.2015.

TS 15940:2012. CENONR CEN/TS 15940 ICS 75.160.20. Automotive fuels — Paraffinic diesel fuel from synthesis or hydrotreatment — Requirements and test methods. (CEN/TS 15940:2012). <https://shop.austrian-standards.at/Preview.action;jsessionid=2037E4F379F578F619DFF9E3AA58FE99?preview=&dokkey=425891&selectedLocale=en>

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

Wilde, de H.P.J & Kroon, P. (2013). Policy options to reduce passenger cars CO₂ emissions after 2020. ECN-E-13-005. <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2013/e13005.pdf>

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

Volvo. (2014). Neuvottelu raskaista kaasuaajoneuvoista Göteborgissa 30 - 31.10.2014. Isäntinä Anders Röj, Manager, Fuels Co-ordinator, Fuels and lubricant, Mr. Patrik Klintbom, Director Environment and Energy, Core Value Management & Dr. Staffan Lundgren, Technology Area Director, Propulsion.

Volvo. (2014). Volvo Electric Hybrid & Electro mobility projects. Presentation in Helsinki, December 2014.

VTT. (2015). Kotimaiset sähköbussit liikenteeseen loppukesästä. Lehdistötiedote 20.2.2015. <http://www.vtt.fi/kotimaiset-s%C3%A4hk%C3%B6bussit-liikenteeseen-loppukes%C3%A4st%C3%A4>

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

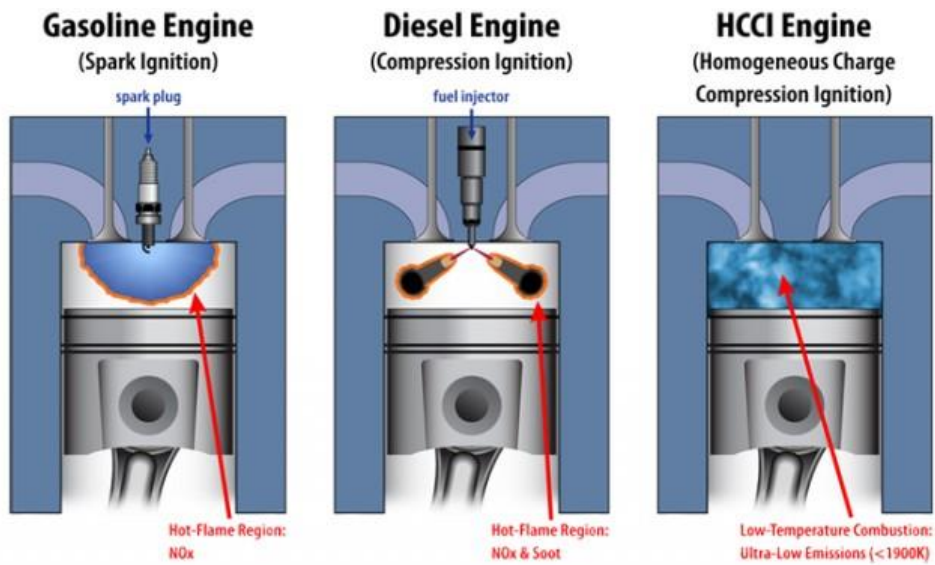
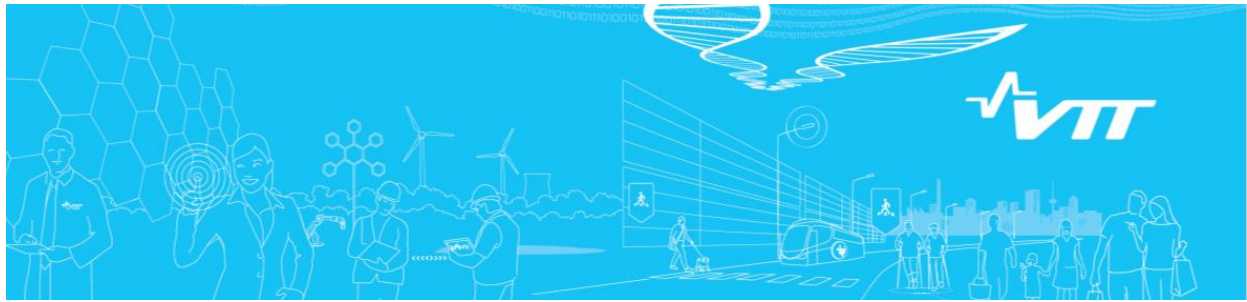
Westport. (2014). Westport HPDI 2.0. <http://www.westport.com/is/core-technologies/hpdi-2>

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

2009/28/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY, annettu 23 päivänä huhtikuuta 2009, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä sekä direktiivien 2001/77/EY ja 2003/30/EY muuttamisesta ja myöhemmästä kumoamisesta.
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:fi:PDF>

2009/30/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/30/EY, annettu 23 päivänä huhtikuuta 2009, direktiivin 98/70/EY muuttamisesta bensiinin, dieselin ja kaasuöljyn laatuvaatimusten osalta sekä kasvihuonekaasupäästöjen seurantaan ja vähentämiseen tarkoitettun mekanismin käyttöönottamisen osalta, neuvoston direktiivin 1999/32/EY muuttamisesta sisävesialusten käyttämien polttoaineiden laatuvaatimusten osalta ja direktiivin 93/12/ETY kumoamisesta.
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0088:0113:fi:PDF>

2014/94/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/94/EU, annettu 22 päivänä lokakuuta 2014, vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta. <http://eurlex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0094&from=EN>



Kuva: Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)

Biopolttoaineet 2020 – 2030 tavoitteissa ja liikenteen muu uusiutuva energia: Uudet polttoaineet ja moottorikonseptit

Kirjoittajat: Hannu Kuutti, Juhani Laurikko

Luottamuksellisuus: Julkinen

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	3
1. Johdanto.....	4
2. Tutkimuksen kohdistus, tavoitteet ja toteutus	5
2.1 Uudet polttoaineet ja moottorikonseptit	5
3. Tutkimuksen sisältö	6
3.1 Otto-prosessiin perustuvat, kipinäsytytysmoottorit	6
3.1.1 Polttoaineen annostelutavat.....	6
3.1.2 Ahtamistekniikka.....	6
3.1.3 Laser-sytytystulppa.....	7
3.1.4 Ionivirtamittaus.....	7
3.1.5 Suorasuihkutussytytystulppa.....	7
3.1.6 Muuttuva puristussuhde.....	8
3.1.7 Imuilman ohjausläpät.....	8
3.2 Dieselprosessiin perustuvat, puristussytytysmoottorit	9
3.2.1 Korkeapaineinen polttoaineen ruiskutus – avainteknologia nykydieselissä ...	9
3.2.2 Ahtamistekniikka.....	9
3.2.3 Sylinteripaineen jatkuva seuranta	9
3.2.4 Dual Fuel	9
3.3 Jälkikäsittelylaitteistot	10
3.3.1 Hiukkassuodatin ja –loukku.....	10
3.3.2 SCR-katalysaattori.....	10
3.3.3 LNT (Lean NOx Trap)	11
3.4 Uudet palamiskonseptit.....	11
3.4.1 Leaner Lifted-Flame Combustion (LLFC)	12
3.4.2 Low-temperature gasoline combustion (LTGC).....	12
3.4.3 Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI)	12
3.4.4 HCCI (Homogeneous charge compression ignition).....	13
3.4.5 PCCI (Premixture-Controlled Compression Ignition)	13
4. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	15
Lähdeviitteet.....	15

1. Johdanto

Vuosina 2004 – 2007 toteutetussa, 6 PO:n tutkimushankkeessa ”Renewable Biofuels for Advanced Powertrains” (RENEW)¹ tutkittiin erilaisia nestemäisiä ja kaasumaisia polttoaineita, jotka oli tuotettu biomassasta. Tutkitut polttoaineet, lukuun ottamatta ABENGOAn kehittämällä enstymaattisella prosessilla² tuotettua etanolia, perustuivat kaikki biomassan termokemialliseen muuntamiseen synteetikaasuksi, jonka jälkeen synteetivaiheessa tuotettiin lopullinen polttoaine.

Kaikki tutkitut polttoaineet oli ensisijaisesti tarkoitettu joko kipinäsytytteisen (SI, otto) tai puristussytytteisiin (CI, diesel) moottoreihin, mutta jotkut polttoaineet näyttivät mahdollisilta myös tuleville, uusille palamisprosesseille kuten CCS, HCCI ja CAI. Polttoaineet eivät siis suinkaan olleet ”drop-in” –tyyppisiä, vaan paremminkin sellaisia, jotka edellyttivät muutoksia moottoriin. Kaikkien tutkittujen polttoaineiden sopivuus nykykalustoon kuitenkin arvioitiin.

Hankkeessa tutkittiin omina osatehtävinään myös biomassan saatavuutta Euroopassa sekä useita 2. sukupolven biopolttoaineprosesseja. Hankkeen kaikki julkiset raportit on koottu verkkosivulle³.

Suunniteltaessa nyt käsillä olevaa kokonaishanketta ”Biopolttoaineet 2020 – 2030 tavoitteissa ja liikenteen muu uusiutuva energia”, haluttiin edellä mainitun hankkeen tapaan tarkastella myös polttomoottorien palamistekniikan kehitystä, ja selvittää, onko markkinoille kenties jollain aikavälillä sellaisia prosesseja, joita a) soveltuisivat erityisen hyvin jonkun tyyppiselle biopolttoaineelle, tai b) biopolttoaineen käyttö olisi hyvin hankalaa, ellei jopa mahdotonta.

Tämä pääraportin liitteeksi tarkoitettu raportti on kooste pääasiassa mäntämoottoritekniikan ja uusien palamisprosessien kehitystilanteesta. Osatehtävässä tuli myös arvioida, miten moottoritekniikan ja pakokaasun puhdistustekniikan muutokset mahdollisesti heijastuvat biopolttoaineiden käyttöön ja laatuun, ja miten biopolttoaineiden tuotannossa pitäisi varautua tuleviin muutoksiin.

¹ ”renew - sustainable energy systems for transport,” 2008. Available: <http://www.renew-fuel.com/home.php>. (Haettu 2 3 2015).

² Abengoa Bioenergy, S.A., 2011.

http://www.abengoabioenergy.com/web/en/nuevas_tecnologias/tecnologias/ruta_termoquimica/. (Haettu 02 03 2015).

³ ”Project & Results,” 2008. http://www.renew-fuel.com/fs_project_results.php. (Haettu 02 03 2015).

2. Tutkimuksen kohdistus, tavoitteet ja toteutus

2.1 Uudet polttoaineet ja moottorikonseptit

Tutkimuksen keskeisintä sisältöä ovat selvitykset, jotka koskevat uusia polttoainevaihtoehtoja ja niille sopivia moottorikonsepteja. Tässä osatehtävässä käydään läpi ennakoitavissa olevat muutokset moottoritekniikoissa ja polttoainelaaduissa, ja miten ne heijastuvat toisiinsa. Mukana ovat sekä perinteiset palamiskonseptit (otto- ja dieselmoottorit), että vielä laboratorioasteella olevat uudentyypiset palamiskonseptit kuten HCCI (Homogenous Charge Compression Ignition), SCCI (Stratified-Charge Compression-Ignition), LTC (Low-Temperature Combustion), sekä ns. reactant controlled combustion (RCC) prosessit, jossa palamista ohjataan säätelämällä lämpötilaa ja reaktiotuotteiden muodostumista. Tavoitteena melkein kaikilla näillä uusilla prosesseilla on parantaa termistä hyötysuhdetta ja samanaikaisesti vähentää typen oksidien tuottoa palamisen huippulämpötiloja alentamalla.

Lisäksi selvitettiin kirjallisuuden perusteella antavatko uudet prosessit uusia ja vaihtoehtoisia tapoja hyödyntää biokomponentteja. Näitä ovat mm. metanolin hyödyntäminen on-board –reformoinnin kautta HCCI-palamisprosessissa. Tutkimusten mukaan HCCI -palamista voidaan hallita muuttamalla polttoaineen kemiallista koostumusta sekoittamalla kahta itsesyttymisominaisuuksiltaan erilaista polttoainetta sopivassa suhteessa. Sen sijaan että käytettäisiin todella kohta eri polttoainetta, joilla molemmilla on oma säiliö ja tankkausinfrastruktuuri, voidaan nestemäistä hiilivetyä reformoimalla tuottaa kaasua, joka sisältää vetyä ja keveitä kaasumaisia hiilivetyjä sekä hiilimonoksidia. Tällaisella kaasuseoksella on laaja syttymisalue ja hyvä puristuskestävyys eli heikko itsesyttvyys.

Osatehtävässä tuli myös arvioida, miten moottoritekniikan ja pakokaasun puhdistustekniikan muutokset mahdollisesti heijastuvat biopolttoaineiden käyttöön ja laatuun, ja miten biopolttoaineiden tuotannossa pitäisi varautua tuleviin muutoksiin.

Tutkimus tehtiin pääasiassa Internet-haun avulla löytyneiden tietolähteiden perusteella.

3. Tutkimuksen sisältö

3.1 Otto-prosessiin perustuvat, kipinäsytytysmoottorit

3.1.1 Polttoaineen annostelutavat

Suorasuihkutustekniikan yleistyttyä, ei ottomoottoreiden kehityksessä ole tapahtunut merkittäviä uusia kehitysaskaleita. Osa tuotannossa olevista nestemäistä polttoainetta käyttävistä ottomoottoreista käyttää vielä perinteistä, sylinterikohtaista kanavasuihkutusta (Multi-point port fuel injection, MPFI), mutta useimmat uutta suunnittelua edustavat moottorit käyttävät suorasuihkutusta (gasoline direct injection, GDI). Ainoastaan jotkin kehittyvien markkina-alueiden moottorit, joille ei ole tiukkoja pakokaasumääräyksiä, voivat käyttää yhä yksi- tai kaksipistesuihkutusta.

Tavallisesti kolmitoimikatalysaattorin yhteydessä on pyritty käyttämään moottoreita stökiometrisellä seoksella, joka on pakokaasun happianturin antaman signaalin avulla varsin helppoa. Tietyissä tilanteissa päästään kuitenkin parempaan polttoainetalouteen, jos moottoria käytetään joissakin kuormituspisteissä laihalla seoksella. Laiha seos voi kärsiä syttymisvaikeuksista ja nakutuksesta, mutta suorasuihkutuksella voidaan ongelmat ratkaista niin, että osa seoksesta on rikasta ja osa laihaa. Tämä ns. kerrostäyttö ("stratified charge") saadaan suorasuihkutuksella aikaiseksi jättämällä seokselle mahdollisimman lyhyt sekoittumisvaihe ennen sytytystä ja kohdistamalla suihku mäntään muotoiltuun ohjaussyvennykseen. Tämän tyyppiset moottorit edustavat ensimmäisen sukupolven suorasuihkutusmoottoreita, Esimerkiksi Mitsubishin GDI ja Volkswagenin "Fuel Stratified Injection" (FSI) moottorit olivat juuri tätä tyyppiä, eli "wall guided". Sittenmin on tullut käyttöön suihkulla ohjatut ("spray guided", SGDI) ja ilma(pyörre)ohjatut ("air guided") moottorit, joissa on parempi polttoainetalous lähinnä sen takia, että niissä palaminen tapahtuu ilman eristämänä, jolloin lämpöhäviöt palotilan seinämien ja männän laen kautta ovat vähäisempiä.

Laihalla seoksella palaminen kuitenkin aiheuttaa tiettyjä päästöongelmia, sillä laihalla palava seos palaa kuumempänä, ja tuottaa siten mm. NO_x-päästöjä. Tätä voidaan ehkäistä käyttämällä moottoria laihalla vain kevyellä kuormalla. Varhaisissa FSI-moottoreissa käytettiin myös varastoivaa, LNT-tyyppistä puhdistusta, josta lisää luvussa 3.3.3.

Kaasulla käyvät ottomoottorit käyttävät yleensä kaasun suihkutusta imukanaviin ulkoisten venttiilien avulla, mutta myös muutama kaasun suorasuihkutusta käyttävä moottori on tuotannossa.

3.1.2 Ahtamistekniikka

Ottomoottorien polttoainetalouden parantamisen keskeisiä välineitä on ollut moottorien iskutilavuuden (ja samalla sylinteriluvun) pienentäminen eli "down-sizing"⁴, sillä huono osakuormahyötysuhde on ottomoottorin heikkous. Pienemmässä moottorissa kuormitus saadaan helpommin riittävän suureksi, ja ahtamisella voidaan kompensoida iskutilavuuden pienenevästä, jolloin tehoa saadaan riittävästi nimellistilavuudeltaan pienestäkin moottorista.

Ahtamistekniikka ja sen kehitys on aivan keskeisessä osassa tätä prosessia⁵. Jotta moottorista saadaan riittävän nopeasti reagoiva, on ns. "turboviive" poistettava lähes kokonaan.

⁴ P. Leduc, B. Dubar, A. Ranini and G. Monnier; Downsizing of Gasoline Engine: an Efficient Way to Reduce CO₂ Emissions. Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP, Vol. 58 (2003), No. 1, pp. 115-127. Éditions Technip, 2003.

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.469.1295&rep=rep1&type=pdf>

⁵ H. Kleeberg, S. Bowyer, D. Tomazic, J. Dohmen, C. Schernus, B. Haake; Combustion Development Methodologies and Challenges for Smaller Boosted Engines. Proc. of 18th DEER Conference 2012, Detroit, October 16-19, 2012. 22 p. http://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f8/deer12_kleeberg.pdf

Tähän voidaan päästä käyttämällä kahta ahdinta, joista toinen on pieni ja toinen suurikokoisempi, ja niitä käytetään eri osissa moottorin toiminta-alueita: pientä alakierroksilla ja pienillä tehoilla, suurta teho- ja käyntinopeusalueen yläpäässä. Molemmat voivat olla pakokaasuahtimia, tai sitten pienempi on mekaaninen, kampiakselilta voimansa saava (esimerkkinä VW:n ensimmäiset TSI-moottorit), tai jopa sähkökäyttöinen⁶. On myös jo esitelty kaksoisahdin, jossa on keskellä aksiaaliturbiini ja kaksi erikokoista kompressoria akselin päissä⁷. Normaalistihan käytetään radiaaliturbiini+radiaalikompressori –yhdistelmiä.

Muutamia uusia teknisiä ratkaisuja ottomoottorin palamisen tehostamiseksi on kehitelty, mutta tuotantoon asti edenneitä ei löydy paljoa. Seuraavassa muutamia esimerkkejä.

3.1.3 Laser-sytytystulppa

Japanilainen NINS (National Institutes of Natural Sciences) on kehittänyt sytytystulpan, jolla sylinterin seos voitaisiin sytyttää lasersäteellä, jonka polttopiste kohdistetaan seoksen keskelle⁸. Tavoitteena on tasaisemmin etenevä palotapahtuma, jonka lämpötilapiikit jäisivät matalammiksi, ja siten NOx-päästöt madaltuisivat.

Tavalliseen sytytystulppaan nähden ratkaisu on varsin monimutkainen, ja tekniikan eteneminen sarjatuotantoon lienee epätodennäköistä, vaikka mm. suuri sytytystulppien valmistaja Denso on ilmaissut kiinnostusta siihen. Sopivalla sytytystulpan sijoituksella voidaan myös päästä lähes yhtä hyvään lopputulokseen.

3.1.4 Ionivirtamittaus

Ionivirtamittaus mahdollistaa palamishäiriöiden havaitsemisen. Menetelmä perustuu palotapahtuman aiheuttamaan ionivirtaan, joka voidaan mitata sytytystulpan kautta. Ionivirran puuttuminen kipinän jälkeen kertoo moottorinohjaukselle, että seos ei syttynyt sylinterissä. Moottorinohjaus voi yrittää tehdä säätötoimenpiteitä ongelman ratkaisemiseksi, mutta ionivirtamittaus kertoo vain tapahtuiko sytytystapahtuma⁹. Muutaman häiriötapahtuman jälkeen, moottorinohjaus ilmoittaa moottorin tarvitsevan huoltoa. Myös nakutustapahtumat ovat mahdollista havaita ionivirran avulla¹⁰. Korrelaatiota on havaittu myös ionivirran ja palotilan paikallisen NO-pitoisuuden välillä¹¹.

Järjestelmä vaatii sylinterikohtaiset sytytyspuolat, joiden sisään on rakennettu mittauspiiri. Kustannuksiltaan järjestelmä on varsin edullinen, ja se on käytössä monessa tuotantomoottorissa.

Ionivirtamittausta on tutkittu myös dieselmoottorin palamisen havainnoinnissa¹².

3.1.5 Suorasuihkutus sytytystulppa

Suorasuihkutus sytytystulpassa on yhdistetty suihkutussuuttimen kanavat sytytystulpan rakenteeseen. Tällöin suihku saadaan alkamaan sytytyspisteen ympäriltä, ja seos saadaan leviämään tasaisesti.

Ratkaisu yhdistää toisiinsa kustannuksiltaan kalliin ja halvan osan, mutta vastaavasti helpottaa sylinterikannen suunnittelua. Ratkaisun pääseminen tuotantoon asti on suhteellisen todennäköistä.

⁶ Valeo's electric supercharger targeted for 2015-16 production. <http://articles.sae.org/11244/>

⁷ Gasoline DualBoost Turbochargers. <http://turbo.honeywell.com/our-technologies/gasoline-axial-dualboost-turbochargers/>

⁸ <http://researchtrend.net/ijet31/21%20LUCKY%20AGGARWAL.pdf>

⁹ <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=538219&fileId=625779>

¹⁰ <http://papers.sae.org/2003-01-0639/>

¹¹ http://www.vehicular.isy.liu.se/Publications/Lic/02_LIC_962_IA.pdf

¹² <http://papers.sae.org/2004-01-2922/>

3.1.6 Muuttuva puristussuhde

Teoriassa puristussuhteen korottaminen nostaa ottomoottorin termistä hyötysuhdetta, ja samalla kokonaishyötysuhdetta. Korkea puristussuhde johtaa kuitenkin myös korkeaan maksimipainetasoon palamisessa, josta voi olla seurauksena nakutusta, ja moottorin vaurioituminen. Moottorin ahtaminen nostaa myös palamispainetta, ja siksi useimmissa ahdetuissa moottoreissa on varsin matala puristussuhde, joka samalla tekee niistä epätaloudellisia pienillä kuormituksilla, kun ahtopainetta ei ole kovin paljoa, jos lainkaan. Puristussuhteen muuttaminen toimintatilan mukaan olisi siis edullista, ja sitä onkin paljon tutkittu.

Muuttuvan puristussuhteen tuotantoon pääseminen on ollut jo hyvin lähellä, mutta toistaiseksi yksikään ratkaisu ei ole osoittautunut riittävän luotettavaksi tai kustannustehokkaaksi. Ratkaisun edut olisivat parhaimmillaan ahdetussa moottorissa, joka voisi toimia tehokkaasti ahtopaineen olleessa matala tai korkea.

Koemoottoreissa on kokeiltu puristussuhteen muuttamista lohkon ja sylinterikannen yläosaa liikuttamalla, kampiakselin laakerilinjaa liikuttamalla sekä muuttuvapituuksista kiertokankea käyttämällä. Jälkimmäinen ratkaisu on vaihtoehtoista helpoiten toteutettavissa, mutta vastaavasti kiertokangen ylimääräinen massa haittaa moottorin toimintaa korkeilla kierroksilla. Aivan uusi tarjokas on männän tapin laakeroinnin epäkeskeisyyden käyttäminen¹³, mutta siitä julkaistun kuvamateriaalin perusteella kiertokangesta tulee siinäkin varsin raskastekoinen, vaikka kyseessä on kaksiasentoinen konstruktio (vain kaksi puristussuhdearvoa mahdollisia), ja säätömekanismi ei varsinaisesti kannata voimia.

Biopolttoaineista etanolilla ja biokaasulla on erittäin hyvä puristuskestävyys, joten pelkästään niille optimoidut moottorit voidaan mitoittaa käyttämään korkeata puristussuhdetta¹⁴ ja siten niiden hyötysuhde on parempi kuin normaalin bensiinikäyttöisen moottorin. Puristussuhde kannattaakin siksi valita mahdollisimman korkeaksi, koska nakutusherkkyttä bensiinillä ajettaessa voidaan vähentää ohjaamalla sytytyksen ajoitusta ja/tai ahtopainetta¹⁵.

3.1.7 Imuilman ohjausläpät

Sylinteriin tulevan seoksen sekoittumista voidaan tehostaa parantamalla seoksen pyörteilyä sylinteriin tultaessa. Osakuormalla seoksen virtausnopeus on suhteellisen matala, ja pyörteilyä voidaan parantaa sulkemalla toinen imukanava ylimääräisellä läppäventtiilillä jolloin virtausnopeus auki olevassa kanavassa nousee. Pyörteilyä voidaan myös lisätä sopivalla läppäventtiilillä jo imukanavassa.

Lisäksi käytetään muuttuvapituuksisia imuputkistoja¹⁶ ja ns. resonanssi-imusarjoja, joissa sylinterin täytöstä parannetaan imuilman värähtelystä syntyvien painepulssien avulla. Osassa moottoreita on valittavissa jopa useita resonoivia ominaistaajuuksia, jolloin ilmiötä voidaan hyödyntää laajalla käyntinopeusalueella.

Ratkaisu ei ole kovin vaikea toteuttaa ja sen ohjaus on varsin helppoa. Tekniikka on ollut käytössä erilaisissa moottoreissa jo varsin pitkään.

¹³ Henning Kleeberg, Dean Tomazic, Steve Bowyer, Juergen Dohmen, Bernd Haake, Andreas Balazs; Two-Stage Variable Compression Ratio (VCR) System to Increase Efficiency in Gasoline Powertrains. Proc. of 2014 CRC Advanced Fuel and Engine Efficiency Workshop. Baltimore, February 25th, 2014. <http://www.crao.org/workshops/2014AFEE/2014AFEE.html>

¹⁴ Whitaker, P., Shen, Y., Spanner, C., Fuchs, H. et al., "Development of the Combustion System for a Flexible Fuel Turbocharged Direct Injection Engine," SAE Int. J. Engines 3(1):326-354, 2010, doi:10.4271/2010-01-0585.

¹⁵ Stein, R., House, C., and Leone, T., "Optimal Use of E85 in a Turbocharged Direct Injection Engine," SAE Int. J. Fuels Lubr. 2(1):670-682, 2009, doi:10.4271/2009-01-1490.

¹⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/Variable-length_intake_manifold

3.2 Dieselprosessiin perustuvat, puristussytytysmoottorit

3.2.1 Korkeapaineinen polttoaineen ruiskutus – avainteknologia nykydieselissä

Dieselmoottorien osuus henkilöautojen voimalaitteena on lisääntynyt voimakkaasti, ja samalla myös niiden kehityksessä on tapahtunut paljon. Aiemmin dieselmoottorin palamista ei juurikaan ohjattu, ja polttoaine sytytettiin lähellä männän yläkuoloa yhdessä ruiskutuksessa, jolloin palaminen tapahtui välittömästi ruiskutuksen aikana.

Kiristyvien pakokaasumääräysten pakottamana moottorin valmistajat ovat kuitenkin yhdessä systeemitoimittajiensa kanssa kehittäneet dieselmoottorin polttoaineen annostelua ja ruiskutusta käyttäen hyväksi korkeaa painetta ja elektroniikan mahdollistamaa tarkkaa säätöä sekä ruiskutuksen määrän että sen ajoituksen suhteen.

Merkittävin teknologinen uutuus, ns. yhteispaineruiskutus eli Common rail –tekniikka toi lisäksi mahdollisuuden suorittaa ruiskutus useammassa vaiheessa, mikä mahdollistaa palamisen paremman hallinnan. Tavanomainen ruiskutus koostuu yleensä esi- pilot-, pää- ja jälkiruiskutusvaiheista. Jokainen ruiskutusvaihe voi vielä koostua useammasta ruiskutuspuksista. Tämän tyyppisellä ruiskutuksella palaminen on sekä päästöiltään, että suorituskyvyltään parempaa, ja samalla saadaan myös dieselmoottorin ”nakuttavaa” käyntiääntä vaimennettua.

3.2.2 Ahtamistekniikka

Ruiskutuksen parantamisen lisäksi myös dieselmoottorien ahtojärjestelmät ovat kehittyneet huomattavasti. Nykyään dieselmoottorit yltyvät henkilöautoissa vastaavaan suorituskykyyn kuin vastaavan kokoiset ottomoottorit. Ahtamistekniikkaa ottomoottorissa käsiteltiin jo luvussa 3.2.2., ja siinä esitettyjä teknillisiä ratkaisuja käytetään nykyään myös dieselmoottoreissa.

3.2.3 Sylinteripaineen jatkuva seuranta

Sylinteripaineen seuranta mahdollista moottorin tarkemman hienosäädön, sillä imuilman massavirran mittausta ja pakoputkiston happianturi eivät ole sylinterikohtaisia, ja tavallinen moottorinohjaus ei saa tarkempaa tietoa sylinterikohtaisista toimintaeroista. Sylinteripaineen mittausta kuitenkin mahdollistaa sylinterien tarkan seurannan, ja niiden välisiä eroavaisuuksia voidaan korjata.

Ratkaisu on ollut käytössä muutamassa tuotantomoottoreissa, mutta ratkaisun kustannuksen ja antureiden oma kunnonvalvonta ovat haasteina. Epäkuntoiset anturit saattavat johtaa moottorinohjauksen harhaan, ja sekoittamaan koko ohjauksen.

Huonot puolet:

- anturit kalliita
- vaurioituneet anturit olisi pystyttävä havaitsemaan

Hyvät puolet:

- palamisen hallinta sylinterikohtaisesti on mahdollista
- moottorin suorituskyky on (paremmin) optimoitavissa

3.2.4 Dual Fuel

Dual fuel on tekniikka, jossa palava polttoaine koostuu useammasta erilaisesta polttoaineesta. Tavanomaisin yhdistelmä on maakaasu (lähinnä metaania) ja tavallinen dieselöljy. Kaasu annostellaan suuttimilla moottorin imukanavistoon tai suoraan palotilaan. Sytytys tapahtuu puristustahdin aika, kun dieselöljy ruiskutetaan palotilaan.

Dual fuel -moottorin palaminen muistuttaa HCCI -palamista, sillä iso osa polttoaineesta on tasaisesti sekoittuneena syttymisvaiheessa. Seoksen palaminen loppuun asti on kuitenkin tekniikan haasteena, sillä syttyminen saattaa seinämien lähellä epätäydellistä lämpötilan tai seoksen epätasaisuuden vuoksi.

Edut:

- Hyvä hyötysuhde; kaasua käyttävät ottomoottorit (kipinäsytytteiset) eivät pääse hyvään hyötysuhteeseen, sillä niiden puristussuhde on dieselmoottoria matalampi

Haasteet:

- palamattomat kaasut; etenkin metaani on hankalia jälkikäsiteltäviä

3.3 Jälkikäsitteilylaitteistot

Dieselmoottorien jälkikäsitteilylaitteistot ovat yleistyneet, ja nykyään lähes kaikki ajoneuvojen dieselmoottorit ovat varustettu jälkikäsitteilylaitteistolla. Vain hyvin pienikokoiset, työkonisiin tarkoitettut dieselmoottorit voivat enää olla kokonaan ilman jälkikäsitteilylaitteistoa.

3.3.1 Hiukkassuodatin ja –loukku

Hiukkasten jälkikäsitteilylaitteistot ovat ensimmäisenä käyttöön tulleet dieselmoottoreiden jälkikäsitteilylaitteistot. Euroopan alueen uusista ajoneuvoista ne puuttuvat nykyään enää henkilöautoja pienemmistä ajoneuvoista.

Hiukkassuodattimet ja –loukut käsittelevät pakokaasusta hiukkaspäästöjä. Toiminta voi olla joko jatkuvaa tai jaksottaista. Jatkuvat toimissa puhdistimissa pakokaasu virtaa puhdistimen läpi, ja hiukkasia pyritään hapettamaan aktiivisesti koko ajan. Jaksoittain toimivissa taas pakokaasu virtaa huokoisen (yleensä keraamisen) suodatinelementin seinämien läpi, jolloin hiukkaset tarttuvat materiaalin huokosiin. Kun hiukkasia on kertynyt riittävästi, mitä seurataan pakokaasun vastapaineen avulla, hiukkaset hapetetaan kuumentamalla kennot jaksottaisesti erittäin kuumaksi, jolloin hiukkaset palavat vähemmän haitallisiksi kaasumaisiksi päästöiksi. Joissakin ajoneuvoissa tämä tehdään myöhäisen polttoaineen ruiskutuksen ns. jälkiruiskutuksen, avulla ja joissakin ylimääräisen polttoainesuuttimen avulla¹⁷.

Eräissä, etupäässä ranskalaisen PSA-yhtymän autoissa käytetyissä järjestelmissä regenerointia tehostetaan ja samalla jälkiruiskutustarvetta vähennetään erityisellä katalyyttisellä lisäaineella¹⁸, jota sekoituu polttoaineeseen tankkauksen yhteydessä.

3.3.2 SCR-katalysaattori

SCR-katalysaattorin avulla pyritään käsittelemään pakokaasuista NO₂- ja NO-päästöjä. SCR-järjestelmä vaatii katalysaattorin lämpenemisen toimintalämpötilaan, mutta tämän jälkeen jälkikäsitteilyprosessi on jatkuvaa¹⁹.

Järjestelmä perustuu katalyyttiseen kennostoon ja pakokaasuvirtaan ruiskutettavaan urealiuokseen (kauppanimi ”AdBlue”), joka sisältää kemiallisesti puhdistettua vettä ja 32,3 % ureaa²⁰. Raskaissa ajoneuvoissa suurilla kuormituksilla seosta saattaa kulua jopa noin 10 %

¹⁷ W. Addy Majewski, Diesel Particulate Filters, DieselNet Technology Guide. <https://www.dieselnet.com/tech/dpf.php>

¹⁸ Jacques Lemaire (Rhodia), Eolys™ Fuel-Borne Catalyst for diesel particulates abatement: a key component of an integrated system. DieselNet Technical Report, September 1999. ©1999 Ecopoint Inc. <http://www.dieselnet.com/papers/9909rhodia/>

¹⁹ W. Addy Majewski, SCR Systems for Mobile Engines, DieselNet Technology Guide, Diesel Catalysts, Selective Catalytic Reduction. https://www.dieselnet.com/tech/cat_scr_mobile.php

²⁰ AdBlue (DIN 70070), <http://fi.wikipedia.org/wiki/AdBlue>

polttoaineen määrään nähden. Aiemmissa henkilöautosovelluksissa urealiuoksen säiliö täytetään vain huoltojen yhteydessä, mutta uudemmissa, Euro 6 autoissa, liuoksen kulutus on suurempaa (noin 0,5 – 1,5 litraa/1000 km), ja niin on päädytty pienempään säiliöön, jota joutuu ajoittain täyttämään.

On-Board Diagnostics (OBD) -järjestelmä valvoo lisäaineen määrää, ja varoittaa, kun sitä on enää noin 2500 km ajoa vastaava määrä. Jos lisäaineen sallima ajomatka käynnistettäessä on alle 1000 km, varoittaa järjestelmä, että moottori ei enää käynnisty uudelleen, ennen kuin lisäainetta on lisätty riittävästi.

SCR-järjestelmä on varsin kallis kokonaisuus, mutta ainakin raskaiden ajoneuvojen on haastava päästä nykyisiin päästövaatimuksiin ilman järjestelmää. Järjestelmä on myös suhteellisen vikaantumisaltis, ja saattaa vaatia toistuvaa huoltoa. Henkilöautoissa SCR-järjestelmä löytyy toistaiseksi joistakin isommista malleista, mutta Euro 6-vaatimusten tullessa pakollisiksi syyskuussa 2015, niiden käyttö varmasti lisääntyy.

3.3.3 LNT (Lean NOx Trap)

LNT (Lean NOx Trap) on järjestelmä, jossa NOx-päästöt siepataan kemiallisesti pinnoitettuun kennostoon. Jaksottaisesti suoritettavan kuumennusvaiheen avulla LNT-järjestelmä kuumennetaan ylimääräisen polttoaineen avulla lämpötilaan, jossa NO₂- ja NO-päästöt saadaan muunnettua typeksi²¹.

LNT –katalysaattorilla saadaan vähennettyä NOx –päästöjä myös matalilla pakokaasun lämpötiloilla (~200 °C), päinvastoin kuin SCR –järjestelmillä. Haittapuolena on rikastusta vaativa NOx:n pelkistys, joka vaikuttaa epäedullisesti polttoaineen kulutukseen. Perinteisellä LNT –katalysaattorilla NOx –reduktio on tyypillisesti noin 70 %, kun SCR –järjestelmillä päästään helposti yli 80 % ja parhaimmillaan jopa yli 95 % reduktioon.

Järjestelmä ei vaadi lisäainesyöttöä, mutta moottorin ohjaus rikastus- ja regenerointivaiheen aikana on haasteellista, ettei ajettavuus kärsi. Lisäksi pakokaasujen pienikin rikkipitoisuus vaikuttaa haitallisesti katalysaattorin kestoikään²², joten myös voiteluöljyjen rikkipitoisuutta on kontrolloitava.

Jos LNT-teknologia tulee laajamittaiseen käyttöön, ja vaikka tutkimus²³ pyrkii paremmin rikkiä kestäviin ratkaisuihin, tulee polttoaineen rikkipitoisuuden biovaihtoehtoissakin olla erittäin pieni.

3.4 Uudet palamiskonseptit

Kipinäsytytteinen ottomoottori ja puristusylytytteinen dieselmoottori ovat polttoaineen reaktiivisuuden suhteen ääripäissä. Kipinäsytytysmoottorille sopivat polttoaineet, joissa on hyvin heikko reaktiivisuus ja itsesytyvyys, eli ts. hyvä puristuskestävyys ja nakutuksen esto (korkea oktaaniluku), kun taas dieselmoottorille parhaita ovat sellaiset, joissa syttyminen on nopea eli niissä on korkea setaaniluku.

Kaikki uudet palamiskonseptit, joita seuraavassa jaksossa esitellään, sijoittuvat jonnekin näiden kahden ääripää välille, ja järjestys kuljettaessa ottomoottorista dieselmoottoriin, on suu-

²¹ W. Addy Majewski, NOx Adsorbers; DieselNet Technology Guide, Diesel Catalysts.

https://www.dieselnet.com/tech/cat_nox-trap.php

²² Theis, J., Ura, J., and McCabe, R., "The Effects of Sulfur Poisoning and Desulfation Temperature on the NOx Conversion of LNT+SCR Systems for Diesel Applications," SAE Int. J. Fuels Lubr. 3(1):1-15, 2010, doi:10.4271/2010-01-0300. <http://papers.sae.org/2010-01-0300/>

²³ Umeno, T., Hanzawa, M., Hayashi, Y., and Hori, M., "Development of New Lean NOx Trap Technology with High Sulfur Resistance," SAE Technical Paper 2014-01-1526, 2014, doi:10.4271/2014-01-1526. <http://papers.sae.org/2014-01-1526/>

rin piirtein tällainen: Otto/PFI; Otto/stoikiometrinen GDI; Otto/laiha GDI, HCCI/bensiini, PPC, RCCI, HCCI/diesel, PCCI, Diesel/DI.

3.4.1 Leaner Lifted-Flame Combustion (LLFC)

LLFC-konsepti on verrattain tuore ja erityisesti happipitoisten biopolttoaineiden palamiseen kehitetty konsepti²⁴. Sitä on kehittänyt Yhdysvalloissa Sandia National Laboratory yhdessä Fordin ja Wisconsinin yliopiston kanssa. Tavoitteena on palaminen, jossa ei muodostu lainkaan nokea, jolloin hiukkassuodatinta ei tarvittaisi. Hiukkassuodattimen pois jääminen alentaa kustannuksia, mutta parantaa osaltaan myös hyötysuhdetta, koska suodattimen pakko-regeneraation vaatimaa polttoainelisää ei ole.

Käyttökohteeksi on ajateltu henkilöautoja, koska ne amerikkalaiseen tapaan ovat suuremaksi osaksi bensiinimoottorisia, ja siten energiatehokkuudeltaan huonoja. Toisaalta dieselmootorilla on Yhdysvalloissa huono maine auton ostajien parissa etupäässä juuri runsaiden hiukkaspäästöjen takia.

Toistaiseksi konsepti toimii vasta laboratoriossa, koska tarvittavien palamisolosuhteiden, kuten matalan lämpötilan, ylläpitäminen todellisessa käyvässä moottorissa ovat vaikeita. LLFC –palamisessa myös korkea happipitoisuus on tärkeä, jolloin happea sisältävät biopolttoaineet olisivat sille erittäin lupaava käyttökohde.

3.4.2 Low-temperature gasoline combustion (LTGC)

LTGC on myös yksi uusista palamisteknologioista, jolla tavoitellaan hyvää hyötysuhdetta ja samanaikaisesti pieniä NO_x & hiukkaspäästöjä²⁵. Myös sen käyttöä rajoittaa matala maksimikuorma, jolla tämän tyyppinen palaminen on mahdollista. Tuoreet tutkimustulokset²⁶ kuitenkin viittaavat siihen suuntaan, että viimeaikainen edistys ahtamisteknologioissa voisi auttaa myös LTGC-konseptin käytön laajentamista.

Toisin kuin dieselpohjaisissa palamiskonsepteissa, tässä konseptissa ”premixed” tarkoittaa todellakin ilman ja polttoaineen esisekoittamista palotilan ulkopuolella, kun taas dieselpohjaisissa ”premixed” viittaa palotilassa ennen polttoaineen syttymistä tapahtuvaan sekoittumiseen.

Palamistapahtuman säätö on hyvin monimutkaista, ja vaatii sekä lämpötilojen että paineiden ja pakokaasun kierrätyksen (EGR) tarkkaa hallintaa. Siksi laboratorioissakin on toistaiseksi pystytty ajamaan moottoreita vain vakiokäyntinopeudella.

3.4.3 Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI)

RCCI ”Reactivity Controlled Compression Ignition” on mielenkiintoinen uusi palamiskonsepti, jossa käytetään kahta polttoainetta: imukanavaan suihkutetaan matala-aktiivista polttoainetta kuten bensiiniä tai E85 etanoli-bensiini –seosta, ja suoraan palotilaan ruiskutetaan korkea-aktiivista polttoainetta kuten dieselöljyä tai vastaavaa²⁷ juuri ennen syttymishetkeä. Tällä me-

²⁴ <http://crf.sandia.gov/leaner-lifted-flame-combustion-an-ideal-companion-for-biofuels/>

²⁵ Dec, J. and Yang, Y., "Boosted HCCI for High Power without Engine Knock and with Ultra-Low NO_x Emissions - using Conventional Gasoline," SAE Int. J. Engines 3(1):750-767, 2010, doi:10.4271/2010-01-1086.

²⁶ John E. Dec, Yi Yang, Chunsheng Ji, Jeremie Dernotte, Nicolas Dronniou; Achieving High-Loads with HCCI & Partially Stratified Low-Temperature Gasoline Combustion (LTGC). Proc of CRC Advanced Fuel and Engine Efficiency Workshop, Baltimore, MD, February 25 – 26, 2014. <http://www.crcao.org/workshops/2014AFEE/2014AFEE.html>

²⁷ Scott Curran, Zhiming Gao, Jim Szybist, and Robert Wagner; Fuel Effects on RCCI Combustion: Performance and Drive Cycle Considerations, 2014 CRC Workshop on Advanced Fuels and Engine Efficiency, Baltimore, MD, February 25 – 26, 2014.. <http://www.crcao.org/workshops/2014AFEE/2014AFEE.html>

nettelyllä saadaan moottorin toiminta-alue, jossa palaminen tapahtuu matalassa lämpötilassa verrattain laajaksi.

Kuten muissakin vastaavissa palamiskonsepteissa, myös RCCI-palamisessa tavoitellaan dieselin kaltaista hyötysuhdetta ja erittäin pieniä NO_x ja PM-emissioita. Haasteena luetellaan säätötekniset vaikeudet ja matalan pakokaasun lämpötilan johdosta ongelmat CO- ja HC-päästöjen katalysoimisessa.

Toisin kuin useimmat muut tässä käsitellyt uudet palamiskonseptit, RCCI on onnistuttu toteuttamaan jopa ajokelpoisessa henkilöauton moottorissa, ja autolla on tehty vertailevia koekteita koeauton perus-dieselmoottorin antamiin tuloksiin²⁸.

Eriyisen merkille pantavaa on, että RCCI-palamisessa biopolttoaineilla on havaittu edullisia vaikutuksia. Tutkimusten²⁹ mukaan kun fossiilisessa dieselissä oli 20 % biodieseliä (FAME), ja bensiinissä 30 % etanolia, olivat tulokset parempia kuin pelkillä fossiilisilla polttoaineilla.

3.4.4 HCCI (Homogeneous charge compression ignition)

HCCI-palaminen muistuttaa PCCI:tä, mutta siinä polttoaine lisätään sylinteriin tulevaan ilmaan ennen sylinteriin saapumista. Se voidaan sekoittaa ilman joukkoon imukanavassa tai erillisessä sekoitustilassa. Seos ehtii sekoittua paremmin kuin PCCI-palamisessa, mutta täysin sekoittuneen seoksen syttymisen ohjaus on haastavampaa^{30 31}.

Edut:

- erittäin matalat pakokaasupäästöt

Haasteet:

- palamisen ohjaus on hankalaa

3.4.5 PCCI (Premixture-Controlled Compression Ignition)

PCCI-palamisessa seos muodostetaan hyvin aikaisella polttoaineen ruiskutuksella, jossa seoksen annetaan sekoittua palotilassa. Kun riittävä lämpötila saadaan puristuksessa aikaiseksi, seos syttyy. Tällaista palamiskonseptia kutsutaan myös nimellä "Partially Premixed Combustion" eli PPC³².

Tämän tyyppinen seos syttyy tasaisesti ja tuottaa hyvin vähän NO_x- ja hiukkaspäästöjä. Vastaavasti HC- ja CO-päästöt saattavat nousta tavalliseen dieselpalamiseen nähden, mutta näiden jälkikäsitely on suhteellisen helppoa eivätkä näiden pitoisuudet ole dieselmootoreissa nykyään ongelmallisella tasolla.

Palamisen hallinta on kuitenkin haasteellista PCCI-palamisessa, sillä syttymisen aiheuttamaa lämpötilaa ei voida ohjata puristustyön aikana. Liian aikaisin tai liian myöhään syttyminen aiheuttaa heikon suorituskyvyn jo epätoivotut päästöt. Sylinteripaineen mittauksella voidaan kuitenkin seurata palotapahtuman onnistumista, ja ohjata ruiskutusta toivottuun suuntaan.

²⁸ Scott Curran (PI), Adam Dempsey Zhiming Gao, Vitaly Prikhodko, Jim Parks, David Smith, Robert Wagner, Gurpreet Singh, Ken Howden, Leo Breton. High Efficiency Clean Combustion in Multi-Cylinder Light-Duty Engines. Paper ACE016, 2014 DOE Hydrogen Program and Vehicle Technologies Annual Merit Review, May 14, 2014.

http://energy.gov/sites/prod/files/2014/07/f17/ace016_curran_2014_o.pdf

²⁹ Hanson, R., Curran, S., Wagner, R., and Reitz, R., "Effects of Biofuel Blends on RCCI Combustion in a Light-Duty, Multi-Cylinder Diesel Engine," SAE Int. J. Engines 6(1):488-503, 2013, doi:10.4271/2013-01-1653.

³⁰ http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5164456&tag=1

³¹ <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=164406&fileId=625821>

³² Martin Tunér; State of the art of Partially Premixed Combustion (PPC), 2014 CRC Workshop on Advanced Fuels and Engine Efficiency, Baltimore, MD, February 25 – 26, 2014. <http://www.crao.org/workshops/2014AFEE/2014AFEE.html>

PCCI-palamista voidaan ohjata säätämällä ruiskutuspainetta, ruiskutuksen ajoitusta ja pakokaasun takaisinkierätyksen suhdetta. Takaisinkierätyssuhde saattaa olla hallitussa PCCI-palamisessa varsin huomattavat (jopa yli 50 % sylinterin ”ilmasta”).

Jotkin tuotannossa olevat dieselmoottorit käyttävät PCCI-palamista pienellä kuormalla. PCCI ei edellytä moottorin rakenteelta mitään tavallisesta *common rail* –moottorista poikkeavaa, joten sitä voidaan käyttää monissa moottoreissa. Pakokaasun takaisinkierätys voidaan toteuttaa joko ulkoisesti tai sisäisesti, mutta jälkimmäisen ohjaus edellyttää pakoverkkien ajoituksen säätömahdollisuutta.

Edut:

- ei vaadi uusia komponentteja
- varsin pienet pakokaasupäästöt

Haasteet:

- palamisen ohjaus hankalaa, onnistuu helposti vain osakuormatilanteissa

4. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksessa kerätyn aineiston perusteella näyttää ilmeiseltä, että nykyisissä mäntämoottorien perusprosesseissa on vielä jonkin verran kehitysvaraa, etenkin hyödynnettäessä uusia anturi- ja säätötekniikkaa palamisen ohjaamiseen. Näyttää kuitenkin myös siltä, että pakokaasun jälkipuhdistukseen tarvittava laitteisto, etenkin dieselmoottorien kohdalla, on varsin monimutkainen ja rasittaa kustannuksillaan tämän vaihtoehdon käyttöä, vaikkakin se on polttoainetaloudeltaan parempi kuin ottomoottori.

Perinteisissä moottoreissa ja palamisprosesseissa ei näyttäisi olevan mitään sellaisia uusia piirteitä, jotka vaarantaisivat biojalosteiden käytön jatkossa, mutta toisaalta biojalosteille ei näyttäisi olevan mitään erityistä ”tilaustakaan”, joka tekisi niistä auton- tai moottorinvalmistajan näkökulmasta haluttuja. Poikkeuksena ehkä metaani, joka jo fossiilisena kaasuna tuottaa 20 % vähemmän hiilidioksidipäästöissä verrattuna bensiiniin, ja biometaanin on lähes hiilineutraali, elinkaaren aikaisen CO₂-päästön vähemmän ollessa 73 %³³.

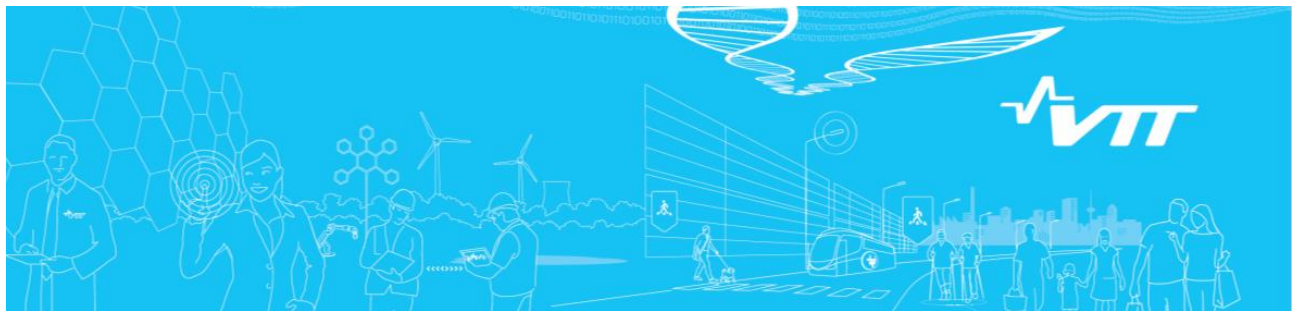
Erialaisten uusien palamiskonseptien keskeinen tavoite on siis pienet NO_x ja PM-päästöt jo palamisessa, jolloin pakokaasun jälkikäsittely on yksikertaisempaa ja halvempaa, yhdistettynä hyvään kokonaishyötysuhteeseen. Kaikki uudet prosessit ovat vielä laboratorioasteella, ja muutamaa harvaa poikkeusta vielä yksisylinteristen koemoottorien tasolla, joita ajetaan vakiokuormituksella ja –käyntinopeudella. Vain harvalla on toistaiseksi riittävä dynamiikka säädettävyyden suhteen, jotta niitä voisi edes tutkia ajoneuvomoottorina. Toisaalta, hybridikäytöt ja sähköautojen *range extender* –laitteistot sallisivat jopa vakiokierrosmoottorin käyttämisen tulevaisuudessa.

Muutamissa uusissa konsepteissa (esim. RCCI) esiintyi maininta biopolttoaineista ja niiden mukanaan tuomista eduista, mutta mitään merkittävää, erityisesti biopolttoaineelle soveltuvaa konseptia ei lähdekirjallisuudessa esiintynyt

Lähdeviitteet

Lähdeviitteet on toteutettu ko. sivun alaviitteinä.

³³ Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. WELL-to-WHEELS Report. Version 4a, January 2014. European Commission. Joint Research Centre. Institute for Energy and Transport. http://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/wtw_report_v4a_march_2014_final.pdf



Biopolttoaineet 2020 – 2030 tavoitteissa ja liikenteen muu uusiutuva energia: Aiheeseen liittyvät polttoainestandardit ja normit

Kirjoittaja: Piritta Roslund

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi		
Biopolttoaineet 2020 – 2030 tavoitteissa ja liikenteen muu uusiutuva energia: Aiheeseen liittyvät polttoainestandardit ja normit		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot		Asiakkaan viite
Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) Jukka Saarinen, yli-insinööri Energiaosasto, Uusiutuva energia ja päästökauppa PL 32, 00023 VALTIONEUVOSTO, jukka.saarinen@tem.fi		
Projektin nimi		Projektin numero/lyhytnimi
Biopolttoaineet 2020 – 2030 tavoitteissa ja liikenteen muu uusiutuva energia		81927 & 100806
Raportin laatija(t)		Sivujen/liitesivujen lukumäärä
Piritta Roslund		19/0
Avainsanat		Raportin numero
moottoripolttoaineet, biopolttoaineet, standardit, kehitys		VTT-R-00752-15/3
Tiivistelmä		
Raportissa luodaan katsaus moottoripolttoaineiden ja polttoainestandardien nykytilaan, ja käsitellään biopolttoaineisiin liittyviä erityiskysymyksiä.		
Luottamuksellisuus	julkinen	
Espoo 11.6.2015		
Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Piritta Roslund tutkija	Juhani Laurikko johtava tutkija	Mikko Pihaltie tutkimustiimin päällikkö
VTT:n yhteystiedot		
Jakelu (asiakkaat ja VTT)		
Jakelu kuten pääraportissa VTT-R-00752-15		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

Sisältö

SISÄLTÖ	3
1. POLTTOAINESTANDARDIT JA NORMIT	4
1.1 YLEISTÄ	4
1.2 LAKISÄÄTEISET MÄÄRÄYKSET	5
1.3 EUROOPPALAISET STANDARDIT	5
1.3.1 CEN-standardit	5
1.3.2 CEN-polttoainetyöryhmä	7
1.3.3 Ajankohtaiset aktiviteetit (bio)polttoainestandardien osalta	7
1.4 KANSALLISET STANDARDIT	8
1.5 MUITA STANDARDEJA	8
1.5.1 ASTM-standardeja	9
1.5.2 Muita standardiesimerkkejä	9
1.6 ESIMERKKI UUDEN STANDARDIN KEHITTÄMISESTÄ	10
1.7 TEOLLISUUDEN TIEKARTTA	12
1.7.1 Autoteollisuuden näkökantoja	15
2. YHTEENVETO	17
3. BIBLIOGRAPHY	18

1. Polttoainestandardit ja normit

1.1 Yleistä

Kaikkien nykyisten polttoaineisiin ja niiden käyttöön liittyvien standardien ja lainsäädännön tarkoituksena on taata polttoaineiden käyttökelpoisuus ottaen samalla huomioon myös erilaiset ympäristönäkökohdat. Olemassa on monenlaisia määräyksiä, standardeja ja normeja, kuten esimerkiksi seuraavanlaisia:

- **Laeissa säädetyt:** Kuten EU direktiivit ja asetukset sekä kansalliset määräykset ja säännöt.
- **Standardoidut eli asiantuntijoiden valmistelemat standardit:** Esimerkiksi Euroopassa CEN-työryhmien valmistelemat standardit, joihin osallistuu edustajia öljyteollisuudesta, autoteollisuudesta ja biopolttoaineteollisuudesta. Näiden standardien keskeisempää sisältöä kommentoidaan ja niistä äänestetään kansallisesti. Ne ovat periaatteessa vapaaehtoisia (poikkeuksena EN 14214 FAME-standardi joka on EU:ssa säädetty lailla).

Polttoainestandardeja valmisteltaessa joudutaan usein etsimään monenlaisia suhteita ja/tai tekemään kompromisseja erilaisten vaatimusten ja rajoitusten suhteen:

Ominaisuus/rajoitus	Korrelaatio	Polttoaineen ominaisuus
SO _x -päästöt	↔	Rikkipitoisuus
NO _x -päästöt	↔	Setaaniluku, polyaromaatit
Hiukkaspäästöt (PM)	↔	Rikkipitoisuus, tiheys, polyaromaatit
Koko elinkaarenaikaiset kasvihuonekaasupäästöt (RED)	↔	Bioenergia, kasvihuonekaasupäästöt
Katalysaattorin toiminta	↔	Rikkipitoisuus
Uusiutuvien raaka-aineiden käyttö	↔	RED: kestäväkehitys, maankäyttö jne.

Monet polttoaineiden ominaisuudet, kuten esimerkiksi kylmätoimivuus, ovat kaikkien toimijoiden eli niin polttoaine- kuin autonvalmistajien kuin myös kuluttajien yhteisissä intressissä. Toisaalta jokaisen standardeissa olevan tietyn ominaisuuden raja-arvon pitäisi olla myös tarkoituksenmukainen eli tarpeeksi tiukka, jotta ajoneuvon toimivuus ja kestävyys voidaan taata, mutta ei tarpeettoman tiukka, joka turhaan nostaa kustannuksia.

Kun erilaisia testi- ja analyysimenetelmiä polttoaineiden eri ominaisuuksien määrittämiseksi kehitetään standardeihin, on usein löydettävä yhtäläisyyksiä moottori- ja ajoneuvotestien ja laboratoriotestien välillä. Moottori- ja ajoneuvotestit ovat yleensä: hitaita, kalliita, epätarkkoja, ajoneuvokohtaisia ja usein myös "in-house" menetelmiä, kun taas laboratoriotestit ovat nopeita, halpoja ja tarkkoja. Edelleen olisi otettava huomioon, että polttoaineiden ja ajoneuvojen kehityksessä jotkin korrelaatiot saattavat muuttua tai jopa hävitä kokonaan, esimerkiksi polttoaineiden komponenttien (esim. FAME) ja moottorien toiminnan väliltä. Polttoaine saattaa siis täyttää esimerkiksi standardin EN 590 vaatimukset, mutta ei silti mahdollisesti sovellu kaikille ajoneuvoille kaikissa olosuhteissa [1].

Kompromissien aikaansaaminen standardeihin joissa osapuolina mukana ovat eri teollisuuden alat ja monet maat, on haasteellista ja vie aikaa. Kompromisseista johtuen aina löytyy myös joku taho joka esittää erilaista kritiikkiä hyväksytyihin valmiisiin standardeihin liittyen.

1.2 Lakisäätteiset määräykset

Tällä hetkellä Euroopan Unionissa koko EU:n alueen kattavia laissa säädettyjä direktiivejä, jotka liittyvät biopolttoaineisiin, ovat **2009/30/EC Fuel Quality Directive (FQD)** [2] *Polttoaineen Laatudirektiivi* [2] ja **2009/28/EC Renewable Energy Directive (RED)** *Uusiutuvan Energian Direktiivi* [3]. Lisäksi laissa säädettyjä ovat esimerkiksi turvallisuuteen liittyvät polttoaineiden ominaisuudet kuten muun muassa polttoaineen minimileimahduspiste ja eri polttoaineiden tisluspisteet on määrätty tullin CN-koodeissa.

EU:n RED direktiivi (josta käytetään myös lyhennettä **RES = Renewable Energy Sources**) määrittelee tavoitteet uusiutuvan energian osuudeksi EU:ssa 20%:iin vuoteen 2020 mennessä. Suomi on asettanut itselleen kovemman tavoitteen eli tavoite on saavuttaa 38%:n osuus uusituville energialähteille vuoteen 2020 mennessä. Liikenteen osalta Suomessa tavoite on kansallisesti asetettu 20%:iin uusiutuvan energian käytön osalta vuoteen 2020 mennessä. EU:n vuonna 2014 julkaisemia tavoitteita on vuoteen 2030 mennessä vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 40%:lla vuoden 1990 tasosta ja saavuttaa uusiutuvan energian osuudeksi 27%. Lisäksi jäsenvaltiolla on ohjeellinen, ei-sitova, tavoite parantaa yleisesti energiatehokkuutta vähintään 27% vuoteen 2030 mennessä. Maaliskuussa 2014 annettiin myös uusi asetus (EU) N:o 333/2014 [4], jolla päivitettiin asetusta 443/2009 [5] niiden keinojen määrittelymiseksi, joilla saavutettaisiin uusille henkilöautoille annettu 95 g/km CO₂-päästötavoite vuoteen 2020 mennessä.

Kansallisesti Suomessa on lisäksi laki 446/2007 biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä [6] ja laki 393/2013 biopolttoaineista ja bionesteistä [7], joka sisältää kestävyyskriteerit biopolttoaineille ja bionesteille. EU:n laatudirektiivi 2009/30/EC [2] asettaa polttoaineille myös 6%:n päästövähennysvaatimuksen vuoteen 2020 mennessä, kun päästöjä verrataan fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuviin koko elinkaaren aikana syntyviin keskimääräisiin päästöihin vuonna 2010. Laatudirektiivin 2009/30/EC [2] asettamat bensiinin ja diesel-polttoaineen laatu tekniset suureet on saatettu Suomessa voimaan Valtioneuvoston asetuksella 1206/2010.

EU:lla on olemassa EU:n komission listaama toimintasuunnitelma Eurooppalaisille standardeille ja tällä hetkellä valmistelun alla tai tulossa valmisteluun on erilaisia standardeja ja erityisesti polttoaineisiin liittyvä on mm. seuraava:

- Mandaatti M/475, tekninen spesifikaatio biometaanin injisoimiselle maakaasuverkkoon ja käytölle ajoneuvopolttoaineena

Polttoaineisiin liittyvää normitusta edeltävää tutkimusta tehdään myös parhaillaan EU:ssa kuten:

- Tutkimus vedyn turvallisesta varastoinnista autoapplikaatioissa (menossa)
- Tutkimuksia vedystä ja polttokennoista (menossa)

Eurooppalaisesta standardointimenettelystä löytyy tietoa komission internetsivulta:

http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/standardisation-policy/index_en.htm [8] ja eurooppalaisten ympäristöstandardien tietoportaalista SIPE:stä löytyy erilaisiin eurooppalaisiin ympäristöstandardeihin liittyvää tietoa (<http://www.siper-rtd.eu/>) [9].

1.3 Eurooppalaiset standardit

1.3.1 CEN-standardit

Seuraavassa esiteltynä polttoaineisiin liittyviä eurooppalaisia CEN-standardeja:

EN 590:2013 (B7) Dieselstandardi jonka pakokaasuihin vaikuttavat vaatimukset on suoraan kopioitu laatudirektiivistä (FQD) ja asetuksista. Lisäksi standardiin on määritetty ominaisuuksia jotka vaikuttavat ajoneuvon käytettävyyteen ja kestävyteen (esim. setaaniluku, tuhkapä-

toisuus, vesi, kuparikorroosio, hapetuskestävyys, voitelevuus ja CFPP). HVO:n ja BTL:n käyttö biokomponenttina on standardissa määritetty täysin vapaaksi (toisin kuin FAME, jonka maksimipitoisuus on määrätty 7 til-%:ksi) ja GTL lasketaan fossiiliseksi komponentiksi. **EN 590** standardi on voimassa jakeluasemilla eli tankkausasteissa ja se on ehto ajoneuvojen takuun voimassapysymiselle. Standardia päivitetään tarvittaessa, yleensä parin vuoden välein (*EN 590 Automotive fuels. Diesel. Requirements and test methods*. 2013) [10].

Parafiinisten dieseliin (esim. HVO) ja 100% GTL:n voimassa oleva tekninen spesifikaatio **TS 15940:2012** on etenemässä standardiksi **EN 15940** vuoden 2015 aikana [11].

Maksimissaan 10 til-% FAME:a sisältävälle dieselpolttoaineelle on standardiluonnos **prEN 16734 (B10):2015**, joka saataneen voimaan vuoden 2016 alkupuolella.

Maksimissaan 14 - 20 tai 24 - 30 til-% FAME:a sisältävälle dieselpolttoaineelle on standardiluonnos **prEN 16709 (B20, B30):2015**. FAME-pitoisuudet on tarkoituksella rajattu 6 %-yksikön alueille moottorien kalibroinnin helpottamiseksi. Koska FAME:n lisääminen nostaa dieselpolttoaineen tiheyttä, sallittu maksimitiheys on 860 kg/m³ B20-laadulle ja 870 kg/m³ B30-laadulle. Nämä tiheydet ylittävät FQD:n salliman maksimin 845 kg/m³, minkä vuoksi B20- tai B30-laatua saa käyttää ainoastaan "captive fleeteissä", ja vapaa myynti huolto- tai jakeluasemilla on kielletty. Tuotteen valmistus olisi helppoa: Lisätään tarpeellinen määrä FAME:a EN 590-polttoaineeseen niihin säiliöautokuormiin, jotka toimitetaan "captive fleettiin" omiin varastosäiliöihin. Standardi saataneen voimaan vuoden 2015 aikana.

B10-, B20- ja B30-laatuja vaatii moottorin- tai ajoneuvonvalmistajan nimenomaisen luvan. Ilman lupaa ainoastaan EN 590 (B7) -polttoaine on sallittu.

EN 14214:2012+A1:2014 standardi on laadittu dieseliin lisättävälle ja 100%:na käytettävälle **FAME:lle**. Standardi päivitettiin 2014 sisältämään eri kylmäominaisuuslaatuja. Erillinen FAME standardi on laadittu, koska FAME:n epäpuhtauksien analysointi on helpompaa puhtaasta FAME:sta. Lisäksi erilaiset analyysimenetelmät ovat tarpeen FAME:n kemiallisten ominaisuuksien erotessa selvästi fossiilisten polttoaineiden ominaisuuksista [12]. Uusista päivityksistä neuvotellaan, koska auton polttoainesuodattimen toimivuudessa FAME:a sisältävillä dieselpolttoaineilla on ollut toivomisen varaa monissa maissa lämpötilan laskeutuessa 0°C tuntumaan.

EN 228:2012 E5- ja E10 bensiinistandardi [13] on vastaava kuin **EN 590** standardi dieselille. Standardi sisältää kaksi eri maksimia etanolipitoisuudelle: 5- ja 10 til-% (maksimi sallittu happipitoisuus vastaavasti 2.7 ja 3.7 p-%). Etanolin ohella tai sijasta voidaan käyttää myös muita oksygenaatteja kuten eettereitä tai butanolia.

Bensiiniin lisättävän **etanolin** on täytettävä standardin **EN 15376** [14] vaatimukset. Suomessa E10-bensiinilaadun jakelun aloittamisvaiheessa 2011-2012 voimassa ollut oma standardi **SFS 5979** [15] E10-laatukselle bensiinille kumottiin vuonna 2012 [16], ja sen korvasi yleiseurooppalainen **EN 228:2012**.

Parhailtaan käydään keskusteluja etanolin epäpuhtauksien rajoista lähinnä E85-käyttöä silmälläpitäen. Metanoli, butanoli ja polttoaineisiin lisättävät eetterit (22 til-% C5+ eettereitä) sisältyvät **EN 228** standardiin. Esimerkeiksi butanolin maksimipitoisuus polttoaineessa on siten 15 til-% ja metanolin 3 til-%.

Etanolille on laadittu oma standardinsa **EN 15376** [17], koska epäpuhtauksien (mm. kloridit) määrittäminen puhtaasta etanolista on helpompaa kuin etanoli-bensiiniseoksesta. Lisäksi etanolin sekoittaminen bensiiniin on pääteasemilla helpompaa, kun lopputuotetta ei tarvitse enää sekoittamisen jälkeen analysoida. Eli sekoitettaessa standardin **EN 15376** vaatimukset täyttävää etanolia ja etanolisekoitukseen valmistettua perusbensiiniä, BOB:iä (base octane blend), saadaan standardin **EN 228** vaatimukset täyttävä etanolia (5 – 10 til-%) sisältävä bensiini.

E85 etanolipolttoaineelle on olemassa oma tekninen spesifikaationsa **CEN/TS 15293:2011** [18]. Tämän teknisen spesifikaation muuttaminen standardiksi vaatii analyysimentetelmiin ja epäpuhtauksiin liittyvien haasteiden ratkaisemista eli myös **EN 15376:n** [17] revisiointia.

Etanolidieselille (ED95) ei ole toistaiseksi olemassa koko EU:n tasoista standardia. Mutta esimerkiksi Ruotsissa on olemassa kansallinen standardi **SS 155437** etanolidieselille [19].

Huomattakoon, että polttoaineiden laatustandardit ottavat kantaa ainoastaan polttoaineen tekniseen laatuun tankkauspisteessä. Bioenergiapitoisuuteen sinänsä, biokomponenttien syöttöaineisiin tai niiden tuotannon kestävyys ei oteta mitään kantaa. Esimerkiksi EN 228 E10-laatu voi aivan hyvin sisältää 22 til-% bioperäistä MTBE:tä tai fossiiliperäistä MTBE:tä, ja kummassakin tapauksessa polttoaineen merkintä jakelumittarilla on "E10".

Nestekaasun (LPG = propaani/butaani) käyttö autoissa on standardoitu Euroopassa standardissa **EN 589:2008+A1:2012** [20].

Metaanille liikennekäytössä ei ole olemassa Euroopassa vielä omaa standardia. EU on kuitenkin antanut mandaatin M/475 selvitykselle biometaanin käytöstä liikenteessä ja injisoimisesta maakaasuverkkoon (TC 408). **Biokaasulle** on olemassa kansallisia standardeja esimerkiksi Ruotsissa **SS 155438** [21].

Nesteytetylle maakaasulle (LNG) on olemassa yleisstandardi **EN 1160** [22].

Ei-tieliikennekäytössä voidaan FAME:n sijaan käyttää myös kasviöljyä **PPO, Pure Plant Oil**, jota ohjataan EU:ssa **CWA 16379:2011**, (CEN Workshop Agreement) sopimuksella [23].

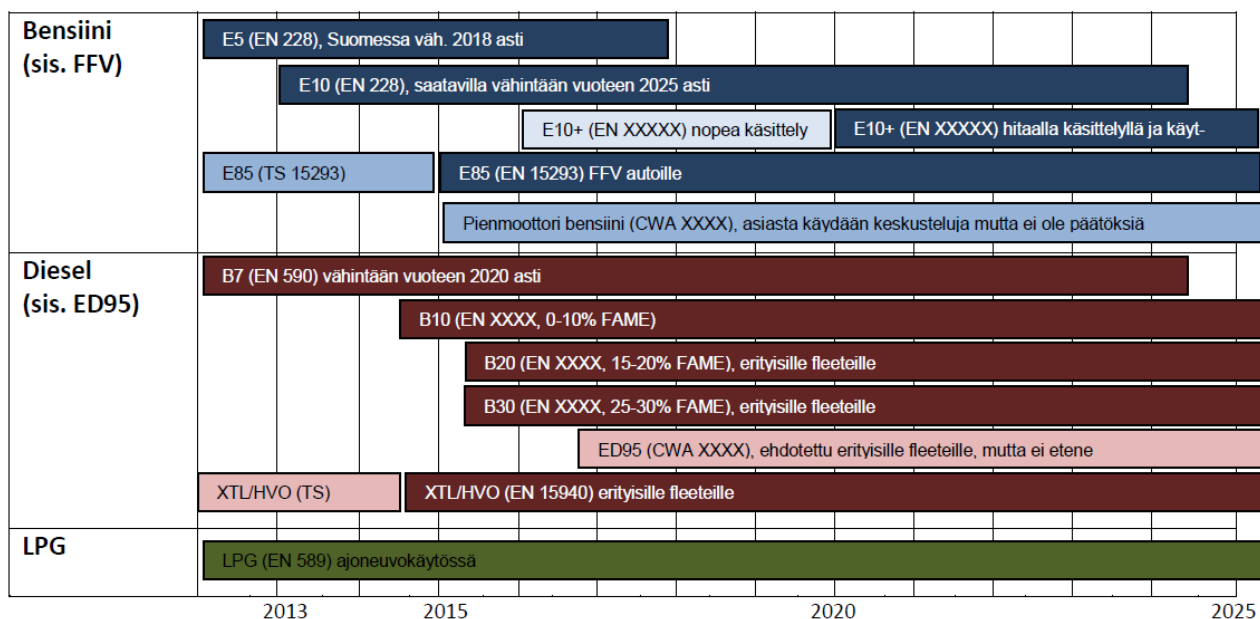
Vesipitoiselle dieselille löytyy oma **CWA 15145:2004** sopimuksensa [24].

1.3.2 CEN-polttoainetyöryhmä

CEN/TC 19 (*CEN Technical Committee 19: Gaseous and liquid fuels, lubricants and related products of petroleum, synthetic and biological origin*) on CEN:in tekninen komitea joka laatii ja käsittelee polttoaineisiin liittyviä standardeja (lukuun ottamatta biometaani ja maakaasu).

1.3.3 Ajankohtaiset aktiviteetit (bio)polttainestandardien osalta

Alla olevassa **kuvassa 1** in esiteltynä aikataulutaulukko suunnitteilla/kehitteillä olevista mahdollisista eurooppalaisista CEN-standardeista lähitulevaisuudessa [1].



Kuva 1: Aikataulutaulukko suunnitteilla tai kehitteillä olevista mahdollisista eurooppalaisista CEN-standardeista lähitulevaisuudessa [1].

1.4 Kansalliset standardit

EN-standardit on saatettava voimaan kansallisesti. Siten esimerkiksi Suomessa dieselpolttoaineen standardi on virallisesti SFS-EN590 ja Saksassa DIN-EN590. EN-standardin perusversio voi sisältää kohtia, joissa tehdään kansallisia valintoja. Näin on esimerkiksi bensiinin höyrystyvyyden sekä dieselpolttoaineen ja FAME:n kylmäominaisuuksien valinta paikallisen ilmaston tarpeisiin. Tämän vuoksi on tärkeää, että Suomessa luetaan perus-EN-standardia tai Suomessa täytäntöön pantua SFS-EN-standardia eikä jonkun muun maan toimeenpanemaa EN-standardia.

SFS laatii ja ylläpitää Suomen kansallisia standardeja. Kaikkien EU-maiden kansalliset standardit löytyvät internetsivuilta:

http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/standardisation-policy/notifications-systems/work-programmes/index_en.htm [28]

Suomen kansalliseen standardisoimislakiin tuli muutos, kun presidentti vahvisti 27.6.2014 lain, jolla kumottiin vanha toisen maailmansodan ajalta peräisin oleva standardisoimislaki ja teknisten määräysten ilmoitusmenettelyä koskevien Euroopan yhteisöjen säännösten soveltamisesta annettu laki. Uusi laki tuli voimaan 1.7.2014 (SFS 2014) [16].

1.5 Muita standardeja

Polttoaineisiin liittyviä vastaavanlaisia standardeja kuin Euroopassa CEN:in standardit, löytyy useita ympäri maailmaa. Esimerkiksi seuraavat organisaatiot julkaisevat omia laajemmin kansainvälisessä käytössä olevia standardejaan: **ISO** (International Organization for Standardization), **ASTM International** (aiemmin: the American Society for Testing and Materials) ja **SAE International** (aiemmin: the Society of Automotive Engineers).

Kesällä 2014 ISO esitti yleisen lausuntopyyntönsä vuosien 2016 – 2020 strategialleen, jossa myös liikenteeseen ja polttoaineisiin liittyviä aihealueita ehdotetusti voisivat olla: ”Kasvihuonekaasupäästöt”, ”Maan- ja veden käyttö” sekä ”Saasteet”

Myös vuonna 1998 perustettu **Worldwide Fuel Charter** julkaisee omia polttoainespesifikaatioita ja tarkentaa julkaisuissaan myös eri polttoainelaatujen suhdetta päästöihin. Worldwide Fuel Charteria kehittää ja julkaisee Worldwide Fuel Charter komitea jossa osallisina on muun muassa edustajia Euroopan (ACEA, Auto Manufacturers from Europe), USA:n (AAM) ja Japanin (JAMA) autovalmistajista sekä moottorivalmistajat (Engine Manufacturers, EMA) kuin myös edustajia suurimmasta osaa maista joissa autoja valmistetaan ja OICA (Organization of Motor Vehicle Manufacturers). Uusin Worldwide Fuel Charter 2013 (WWFC) (*Worldwide Fuel Charter, September 2013, Fifth edition*. 2013) [29] sisältää viimeisimmät suositusrajarvot eri polttoainelaaduille ja taustatietoa diesel- ja bensiinipolttoaineille

Etanolille ja FAME:lle on olemassa omat WWFC:n julkaisemat suosituksensa: Ethanol Guidelines 2009 (*Worldwide Fuel Charter: Ethanol Guidelines*. 2009) [30] ja Biodiesel Guidelines 2009 (*Worldwide Fuel Charter: Biodiesel Guidelines*. 2009) [31].

Kaikki julkaistut WWFC:n suositukset sisältävät maailmanlaajuisesti ajoneuvo- ja moottorivalmistajien yhteistyössä valmistellut suositukset eri polttoaineille ja suositusten noudattaminen on täysin vapaaehtoisia.

Kansainvälisen energijärjestön IEA:n (International Energy Agency) yksi liikenteeseen liittyvä kansainvälinen täytäntöönpanosopimus on AMF ”Advanced Motor Fuels” [32]. Täytäntöönpanosopimukset ovat monikansallisia teknologia-aloitteita, jotka tukevat erilaisia teknologioihin liittyviä aktiviteetteja tavoitteenaan parantaa energiaturvallisuutta, taloudellista kasvua ja kestävä kehitystä. AMF luo kansainvälisen toiminta-alustan yhteistyölle, jolla pyritään kehittämään puhtaampia ja tehokkaampia polttoaine- ja ajoneuvoteknologioita. Lisätietoa AMF:stä, polttoaineista, AMF:n projekteista ja julkaisuista löytyy heidän internetsivuiltaan: <http://www.iea-amf.org/> ja yleistietoa polttoaineista: http://www.iea-amf.org/content/fuel_information/fuel_info_home [33]

1.5.1 ASTM-standardeja

ASTM:llä on vastaavatyypisiä standardeja kuin CEN:llä:

- **Dieselstandardi: ASTM D975** “*Standard Specification for Diesel Fuel Oils*”. Huomattakoon, että tämä standardi ei aseta vaatimuksia polttoaineen tiheydelle, minkä vuoksi parafiinisia polttoaineita (HVO, BTL, GTL) voidaan käyttää myös 100 %:ena moottoreissa, jotka on hyväksytty ASTM D975-laadulle.
- **Bensiinistandardi: ASTM D4814** “*Standard Specification for Automotive Spark-Ignition Engine Fuel*”
- **Etanolistandardit (SI-moottorit): ASTM D4806** “*Standard Specification for Denatured Fuel Ethanol for Blending with Gasolines for Use as Automotive Spark-Ignition Engine Fuel*”, E10/E15:lle standardi **ASTM D4814** “*Standard Specification for Automotive Spark-Ignition Engine Fuel*” ja E85:lle standardi **ASTM D5798** “*Standard Specification for Ethanol Fuel Blends for Flexible-Fuel Automotive Spark-Ignition Engines*”, jossa etanolin pitää täyttää **ASTM D4806** standardin vaatimukset. **ASTM D5501** “*Standard Test Method for Determination of Ethanol and Methanol Content in Fuels Containing Greater than 20% Ethanol by Gas Chromatography*” on ASTM:n standardi etanoli- ja metanolipitoisuuksien määrittämiseksi polttoaineista joissa < 20% etanolia.
- **Metanolistandardit: ASTM D5797** “*Standard Specification for Fuel Methanol (M70-M85) for Automotive Spark-Ignition Engines*” ja **ASTM D1152** “*Standard Specification for Methanol (Methyl Alcohol)*”
- **LPG-standardi: ASTM D1835** “*Standard Specification for Liquefied Petroleum (LP) Gases*”
- **Biodieselstandardit: ASTM D7467** “*Standard Specification for Diesel Fuel Oil, Biodiesel Blend (B6 to B20)*” ja **ASTM D6751** “*Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels*”

1.5.2 Muita standardiesimerkkejä

Metaanin käyttöä ja vaatimuksia ajoneuvoissa on nykyisin ohjattu muun muassa seuraavissa kansainvälisissä standardeissa: Compressed natural gas, CNG: **ISO 15403** (*ISO 15403 Natural gas - Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles (Parts 1 and 2)*, 2006) [34] ja Liquefied Natural Gas, LNG: **ISO 13686** (*ISO 13686 Natural gas - Quality designation*, 2013) [35].

Vedyn käyttöä polttoaineena on säädelty standardissa **ISO 14687** (*ISO 14687 Hydrogen fuel - Product specification (Parts 1, 2 and 3)*,) [36]. Lisäksi on olemassa **SAE J2719**-standardi: “*Hydrogen Fuel Quality for Fuel Cell Vehicles*” ja **State of California Regulations**-asetus: “*Hydrogen Fuel Standard*”.

Polttokennoapplikaatioilla on maailmanlaajuisesti olemassa yli 300 erilaista standardia erilaisiin käyttötarkoituksiin. Polttokennotekniikka onkin nykyään hyvin pitkälle edistynyt, mutta ajoneuvoissa polttoaineena käytön kannalta haaste on se, että vedyn jakeluverkosto puuttuu vielä yleisesti täysin. Markkinoille on tulossa polttokennoautoja, mutta niiden tuotantomäärät ovat toistaiseksi pieniä, joka näkyy suoraan myös autojen hinnoissa.

Kehitteillä on maailmanlaajuisesti esimerkiksi seuraavanlaisia vetyyn liittyviä standardeja:

- **ASTM WK21162** “*Standard Test Method for the Characterization of Particles from Hydrogen Fuel Streams by Scanning Electron Microscope*”, **ASTM WK21597** “*Microscopic Measurement of Particulates in Hydrogen Fuel*” ja **ASTM WK21611** “*Gravimetric Measurement of Particulate Concentration in Hydrogen Fuel*” (USA)
- **CEN/TC19** Expert Watch Group on Fuels for Fuel Cells (EU)

- **CNS Draft # 1010243** “Hydrogen Technologies – Product Specification – Part 2 – PEM Hydrogen Fuel for Road Vehicles” (Taiwan)

1.6 Esimerkki uuden standardin kehittämisestä

Uudelle E10+ laadun polttoainestandardille, joka mahdollistaisi suuremman oksygenaattipitoisuuden (> 3,7 p-% happea) käytön bensiinissä (eli esimerkiksi etanolia maksimissaan 20%) on tehty CEN:ssä selvitys. Selvityksen raportti sisältää näkökannat niin E10+ -yhteensopivien kuin E10+ -*optimoitujen* polttoaineiden ja ajoneuvojen tulevaisuuden osalta (CEN/TR 16514:2013 *Automotive fuels - Unleaded petrol containing more than 3,7 % (m/m) oxygen - Roadmap, test methods, and requirements for E10+ petrol*. 2013) [37].

Tehdyssä selvityksessä tarkasteltiin mitä mahdollisesti edellytetään tai vaaditaan eri ulkoisilta tekijöiltä kuten politiikka ja markkinat, itse moottoreilta ja ajoneuvoilta, jalostamoilta ja jakeluverkoston sekä testi-/analyysimenetelmiltä, jotta uusi E10+ polttoaineluokka voitaisiin tuoda markkinoille. Monissa lähteissä E10+:lle käytetään nykyään myös lyhennettä E20/25, koska todennäköinen etanolin määrä on suuruusluokassa 20 - 25 til-% (tai vastaava määrä muita oksygenaatteja).

1) Ulkoiset tekijät kuten politiikka ja markkinat:

Poliittisen päätöksenteon kannalta EU:n direktiivit RED ja FQD ovat jo olemassa samoin myös CO₂- päästövähennysasetukset.

Markkinoiden kannalta dieselin ja bensiinin epätasapaino Euroopassa tulee jatkossa vain kärjistymään lisää mm. laivojen rikkidirektiivin astuessa voimaan. Eli Eurooppa vie Euroopassa ylijäävän bensiinituotantonsa mm. Pohjois-Amerikkaan ja tuo dieseliä ja kerosiinia mm. Venäjältä ja Lähi-idästä. Dieselin suhteen moni nykyinen ajoneuvo ei ole yhteensopiva FAME:n kanssa suuremmissa kuin nykyisissä maksimissaan 7 %:n sekoitusrajoissa (B7). Lisäksi FAME:n hiilidioksidipäästöjen vähennyspotentiaalit eivät näytä olevan yhtä hyviä kuin esimerkiksi monissa bensiinin sekoituskomponenteissa. Myöskään sekoitussuhdetta joka ylittää nykyisen B7:n, ei yleisesti pidetä teollisuuden näkökannalta kannattavana.

HVO:n ja BTL:n tuotannon ei oleteta selvityksen mukaan vaikuttavan radikaalisti markkinoihin vielä seuraavaan vuosikymmeneen eli ne eivät tule ratkaisemaan dieselin tuotantovajetta Euroopassa kovin nopealla aikataululla. Mutta myös uusiin dieselin täysin korvaaviin polttoaineisiin pitäisi Euroopassa keskittyä, koska ne eivät lisää kustannuksia nykyisestä. ”Drop-in” polttoaineina niiden kaikki seossuhteet dieselin kanssa toimivat suoraan ilman muunnoksia autoissa, vaikka tarkkaan ottaen suurina pitoisuuksina ne eivät enää täytä nykyisen EN590 standardin vaatimuksia tiheyden suhteen. Myöskään jakeluverkoston uusiminen ole tarpeen, ellei haluta näiden polttoaineiden erillisjakelua ”puhtaina”, jolloin niille joudutaan luomaan oma jakelulogistiikka, rakentamaan lisää säiliö- ja jakelumittarikapasiteettia, tai luopumaan jostain nykyisestä laadusta. Kuluttajien on myös mahdollisesti helpompi hyväksyä tekninen yhteensopivuus tällaisen polttoaineen ja auton välillä. Dieselin bio-osuuden kasvattamista voivat kuitenkin rajoittaa raaka-aineiden saatavuus (esim. HVO) ja poliittiset päätökset ja määritelmät erilaisten raaka-aineiden ympäristöystävällisyydestä kuten esimerkiksi: miten jatkossa määritetään kasviöljyt, jäteöljyt ja -rasvat.

Bensiinin osalta etanolilla katsotaan olevan iso kasvihuonekaasupäästöjen vähennyspotentiaali, mikä tekee siitä kiinnostavan polttoaineseoskomponentin. Näin ollen yleinen kiinnostus lisätä etanolin pitoisuutta bensiiniseoksissa on kasvanut, mutta sen konkreettinen toteutus vaatisi laajaa koordinoitua yhteistyötä: Polttoaineen kanssa yhteensopivien/optimoitujen uusien ajoneuvojen markkinoille tuontia, itse polttoaineluokkien määrittämistä, jakelujärjestelmän päivittämistä ja myös kuluttajille asiasta tiedottamista.

2) Moottori ja ajoneuvo:

Selvitettäviä asioita moottorien ja ajoneuvojen suhteen ovat muun muassa: Mikä on ajoneuvojen eri komponenttien materiaalien yhteensopivuus korkeampien etanolipitoisuuksien kanssa, miten päästöt mahdollisesti muuttuvat, mikä on vaikutus polttoaineenkulutukseen ja miten saavutetaan kuluttajien luottamus?

E10+ polttoaineet tulevat sopimaan *vain uusille tekniikoille*, ei siis suoraan nykyiselle autokannalle. Korkeampi happipitoisuus vaikuttaa moottorien suunnitteluun (esimerkiksi korkeampi etanolipitoisuus vs. esim. RON-MON). Rajoittava tekijä E10+ polttoaineiden käytölle tulee siis nyt lähivuosina olemaan sitä käyttämään kykenevien ei-flexfuel-ajoneuvojen markkinoille saanti. Ajoneuvojen olisi kyettävä käyttämään polttoainetta, jonka tiheys ja happipitoisuus vaihtelevat enemmän kuin nykyään. Toistaiseksi vielä kuitenkin perinteisten bensiiniautojen rajallinen happipitoisuudensieto rajoittaa kaikkien happea sisältävien komponenttien sekoittamista bensiiniin. Korkeamman happipitoisuuden vaikutus päästöihin on myös tutkittava, sekä varmistettava ajoneuvojen ajettavuus ja toimivuus kaikissa olosuhteissa korkeammalla happipitoisuudella. Oleellinen selvittävä asia on oktaaniluku: Nostamalla oktaanilukua nykyisen 95:n yläpuolelle ja optimoimalla moottorille saadaan auton polttoaineenkulutusta ja GHG-päästöjä pienennettyä. Etanoli käytetty erilailla eri lämpötiloissa, joka on otettava huomioon ajoneuvojen toimivuudessa eri maantieteellisillä alueilla.

Muista mahdollisista alkoholivaihtoehdoista butanolilla on alhaisempi oktaaniluku kuin etanolilla, mutta sen tuotantokustannukset ovat suuremmat kuin etanolin. Metanolin liissäämiseen bensiiniin suhtaudutaan yleisesti negatiivisesti eli tällä hetkellä autoteollisuus vastustaa ja öljyteollisuus suhtautuu siihen epäilevästi. Kaikki bensiiniin lisättävät biopolttoaineet myös lisäävät kokonaisenergiankulutusta perinteisiin polttoaineisiin verrattuna.

Polttoaineiden laadun kannalta uusien raja-arvojen määrittäminen eri epäpuhtauksille polttoaineseoksissa ovat tarpeen. Moottorivalmistajat tarvitsevat myös testipolttoaineen kehittääkseen moottoreita. Testipolttoainetta ei voida kuitenkaan toimittaa moottorikehitykseen, ennen kuin on tehty päätökset sen ominaisuuksista ja raja-arvoista ja polttoaineen ominaisuuksien testimenetelmistä. On myös ratkaistava, että tarvitaanko kokonaan uusi standardi E10+ polttoainelaadulle vai riittääkö vanhan standardin modifiointi. FQD olisi päivitettävä, CEN-standardi(t) päivitettävä/uusittava ja sen jälkeen tarvitaan aikaa polttoaine- ja autoteollisuuden kehitystyölle ja tutkimukselle.

3) Jalostamot, sekoitus ja jakeluverkosto:

Uuden polttoainelaadun valmistukseen ja jakeluun liittyviä kysymyksiä ovat mm.: Mistä raaka-aineet? Miten varmistetaan prosessien kontrollointi? Riittääkö sekoitusasemien ja polttoaineasemien kapasiteetit (erilaisten polttoaineiden tankit ja jakeluverkoston yhteensopivuus)? Mitkä ovat vaikutukset kokonaisuudessaan turvallisuuteen?

Suurempien kuin E20 pitoisuuksien markkinoille tuloa tulevaisuudessa pidetään epätoivottavana, koska tällöin jouduttaisiin pohtimaan etanolin saatavuutta raaka-aineena, aiheutuvia muita lisäkustannuksia sekä ajoneuvo- ja jakeluverkostohaasteita. Jos etanolia on saatavilla E20 sekoituksen jälkeen ylimäärin, voitaisiin sitä käyttää E85 tai ED95 ajoneuvoissa.

Etanolin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet poikkeavat bensiinin ominaisuuksista (esim. höyrynpaine, haihtuvuus, oktaaniluku ja tislusominaisuudet) ja se on myös hygroskooppinen eli imee itseensä vettä toisin kuin bensiini. Vaihtoehtona olisi etanolin muunto eettereiksi (bioetanoli + fossiilinen isobutyleeni tai isoamyleeni) ja käyttö eettereinä bensiinin seoskomponenttina. Eettereitä on käytetty polttoaineteollisuudessa jo vuosikymmeniä, joten tutkimusta niiden osalta on tehty pitkään. Sekoitettaessa etanolia bensiiniin on sekoitukseen varauduttava erityisin varotoimin, kun taas eetterit voidaan sekoittaa jalostamoilla normaalin sekoitusprosessin yhteydessä. Näin ollen etanolia ei yleensä sekoiteta jalostamoilla vaan jalostamot tuottavat erityistä etanolisekoitukseen optimoitua

perusbensiiniä (BOB:ia) ja toimittavat sitä sekoitusasemille joissa BOB ja etanoli sekoitetaan kuluttajille myytäväksi polttoaineeksi.

Jakeluverkoston materiaalien yhteensopivuus jakeluverkostossa kasvaneen etanolipitoisuuden kanssa on myös raportin mukaan selvitettävä. Miten esim. pumput, putkistot, tankit, tiivisteet, letkut jne. sopivat korkeamman etanolipitoisuuden polttoaineille. Kaikki korkeamman happipitoisuuteen liittyvät turvallisuusnäkökohdat on käytävä läpi ja varmistettava polttoaineen turvallinen käsittely ja käyttö.

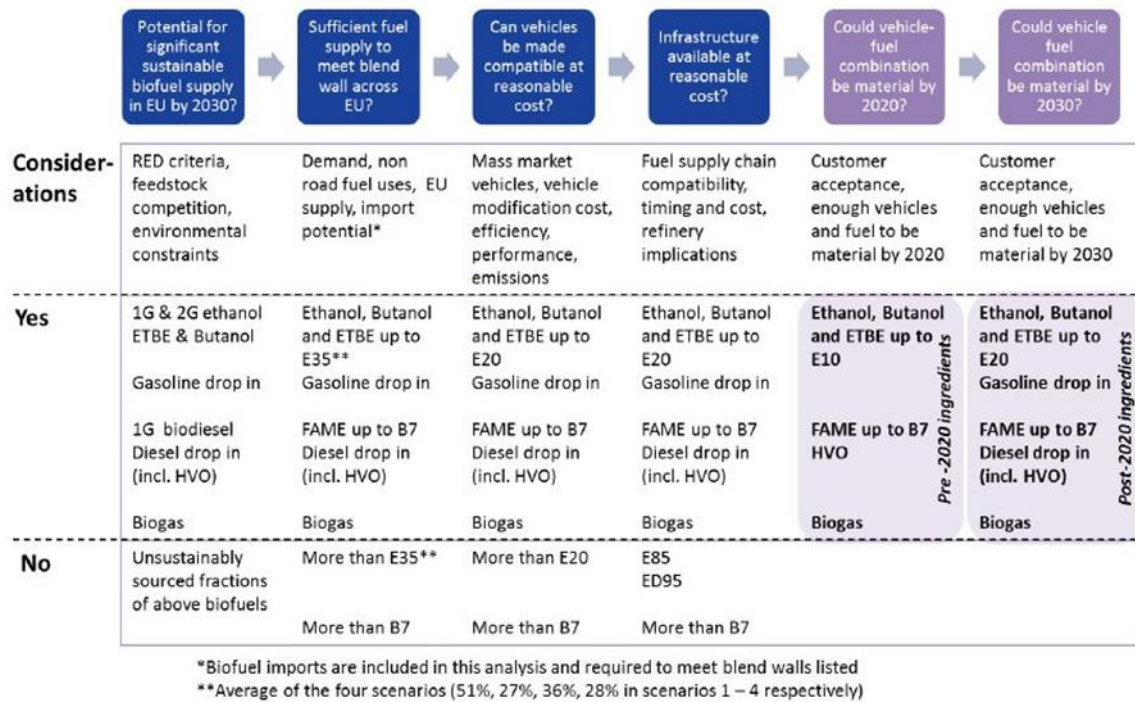
4) Testimenetelmät:

Uuteen polttoainelaatuun liittyen olisi tutkittava jo olemassa olevien analyysimenetelmien- ja tekniikoiden käytettävyys ja mahdollinen tarve niiden modifiointiin. EN 228:n määrittelemiä nykyisiä testimenetelmiä eri ominaisuuksille ja raja-arvoille voidaan käyttää lähtökohdana kehitettäessä uusia testimenetelmiä E10+ polttoaineelle ja määritettäessä tarvittavia raja-arvoja epäpuhtauksille ja ominaisuuksille. Testimenetelmien kehittäminen ja evaluointi standardeihin vaatii aikaa, normaalisti yleensä vähintään kaksi vuotta.

Kaiken kaikkiaan uuden E10+ polttoainelaadun standardin kehittäminen kaikkine välivaiheineen ja polttoaineen kanssa yhteensopivien ajoneuvojen saanti markkinoille, veisi selvityksen mukaan noin kymmenen vuotta. Koko prosessi alkaisi poliittisella päätöksenteolla. Näin ollen jotta esimerkiksi uusi E10+ polttoaine saataisiin kannattavana markkinoille vuoteen 2025 mennessä, olisi nyt kehitettävä E10+ yhteensopivia ajoneuvoja ja kiireellisesti päästävä yksimielisyyteen standardista. Uusi standardi(t) ja uuden polttoainespesifikaation kehittäminen voisi sitten taata polttoaineteollisuudelle mahdollisuuden kehittää uusia korkealuokkaisia biopolttoaineita.

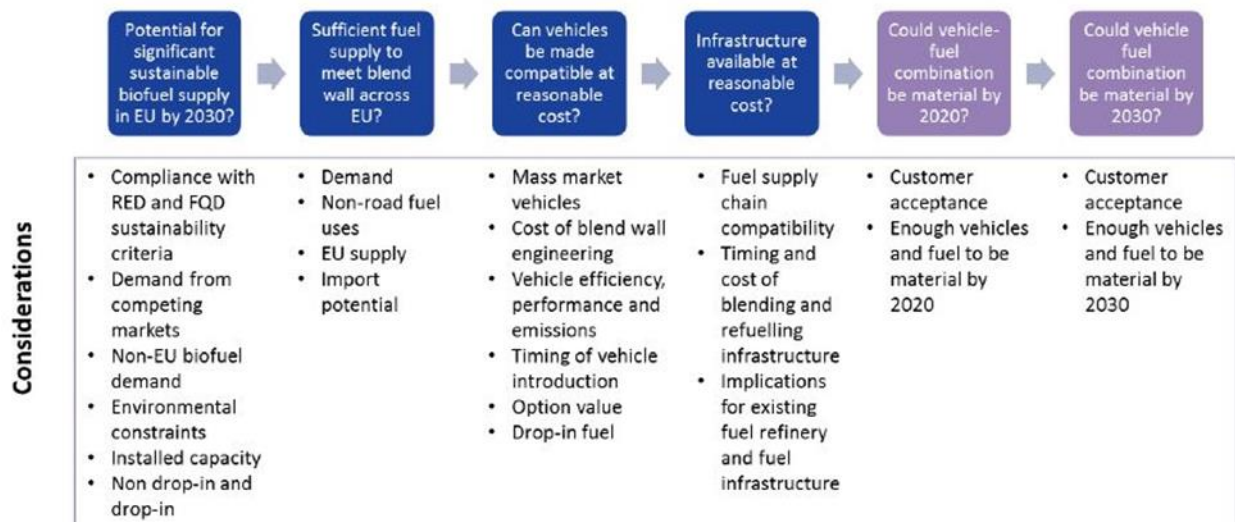
1.7 Teollisuuden tiekartta

Kun pohditaan eri biopolttoainevaihtoehtoja ja niiden käytettävyyttä lähitulevaisuudessa Euroopassa, on asiasta tehty useampiakin selvityksiä ja eri skenaariovaihtoehtoja mallinnettu. Yksi uusimmista raporteista on esimerkiksi E4tech-ryhmän (ryhmä koostuu eri teollisuudenalojen edustajista: Daimler, Honda, Neste, OMV, Shell ja Volkswagen) tiekartta ajoneuvojen nestemäisille biopolttoainevaihtoehdoille vuoteen 2030 mennessä EU:ssa [38]. **Kuvassa 2** esitetään eri massatuotantoon mahdollisesti sopivia biopolttoainevaihtoehtoja, joita raportissa on käyty läpi.



Kuva 2. Prosessi jota käytettiin raportin tiekartan massatuotantokomponenttien tunnistamiseen, lähde [38].

Kuvassa 3 käsitellään raportissa käytettyjä kriteereitä eri komponenttien tunnistamiseksi EU:n biopolttoainetiekartalle vuoteen 2030.



Kuva 3. Kriteerit eri komponenttien tunnistamiseksi EU:n biopolttoainetiekartan muodostamiseksi, lähde [38].

Jotta saavutettaisiin jo olemassa olevia EU:n taseisia ja kansallisia tavoitteita biopolttoainien käytön lisäämisen suhteen, olisi raportin mukaan poliittisilla päätöksillä taattava biopolttoainien markkinoille tuonti sopivaan aikaan ja myös kestävällä tavalla. Poliittisia päätöksiä tehdessä on raportin mukaan otettava huomioon eri asioita kuten, esimerkiksi, että [38]:

- Tuetaan kestävien ympäristöystävällisten raaka-aineiden käyttöä ja rohkaistaan jättestä yms. tehtyjen polttoainien käyttöä (advanced biofuels)

- Rohkaistaan käyttämään biopolttoaineita joilla on suuremmat kasvihuonekaasupäästösäästöt
- Huolehditaan kestävästä maankäytöstä (ILUC)
- Turvataan pitkäjänteinen regulatorinen varmuus edistyneiden biopolttoaineiden kehitykselle ja käytölle
- Pohditaan jakeluverkoston ja kuluttajien tarpeita
- Ei aseteta tuontirajoituksia
- Kaikille biopolttoaineille sertifikaatit, joissa täyttyvät vähintään RED-kestävyysskriteerit

Kuvassa 4 analysoidaan tiekartassa esitettyjen eri biopolttoainevaihtoehto - ajoneuvojen ominaisuuksia.

Pathway ingredient	Fuel widely available today in Europe	No vehicle modification needed	Mass blend option	Refuelling infrastructure available now	Significant potential contribution to EU 2020 GHG targets	Significant potential to reduce EU 2030 GHG emissions
	G: Sold and widely available Y: Sold but not widely available R: Fuel not commercially available	G: None Y: Yes but not likely to be significant R: Significant	G: Yes Y: Starting to expand beyond niche areas R: Limited to niche areas	G: Infrastructure already exists Y: Some modification needed R: Significant modification needed	G: Yes R: Limited contribution based on ramp-up potential	G: Yes R: Limited contribution based on ramp-up potential
E10 or equivalent oxygenate blend wall	●	●	●	●	●	●
E20 or equivalent oxygenate blend wall	●	●	●	●	●	●
E25/E30 or equivalent oxygenate blend wall	●	●	●	●	●	●
E85	●	●	●	●	●	●
LC* gasoline drop-in	●	●	●	●	●	●
B7	●	●	●	●	●	●
B10-30	●	●	●	●	●	●
ED95 in modified diesel HDVs	●	●	●	●	●	●
LC* diesel drop-in	●	●	●	●	●	●
Hydrotreated/co-processed oils and fats	●	●	●	●	●	●
Biogas	●	●	●	●	●	●

*lignocellulosic

Kuva 4. Eri biopolttoainevaihtoehtojen analysointia, lähde [38].

Tiekartan mukaan poliittisten ohjausten/päätösten olisi liityttävä niin ajoneuvoihin, polttoainejakeluverkostoon kuin myös itse polttoaineisiin ja niiden ominaisuuksiin sekä päästöihin. Tehokas ja nopea EU:n tasoinen harmonisointi vaatisi implementointia ennemminkin teollisuuden kohdistuvan sääntelyn muodossa kuin jäsenvaltiolle annettavien direktiivien muodossa, joiden käyttöönotto jäsenvaltioissa vie paljon aikaa [38].

E4tech raportissa olevan tiekartan noudattaminen johtaisi raportin kirjoittajien mukaan tieliikenteessä 5.8 – 6.3% biopolttoaineosuuteen vuoteen 2020 mennessä ja 10.6 – 11.8% osuuteen vuoteen 2030 mennessä. Biopolttoaineiden kokonaisosuus liikenteessä (sisältäen myös ei-tieliikenne sektorit) olisi korkeampi eli 6.7 – 7% vuoteen 2020 mennessä ja 12 – 15% vuoteen 2030 mennessä. Toisen sukupolven biopolttoaineiden osuus olisi 9 – 21% dieselkorvikkeista ja 16 – 21% bensiinikorvikkeista vuoteen 2030 mennessä.

Biopolttoaineiden saatavuudeksi 2020 EU:ssa (tuonti ja oma tuotanto) on raportin mukaan arvioitu olevan 17 – 22 Mtoe ja 28 – 40 Mtoe vuonna 2030. FAME tulee raportin mukaan

olemaan volyymeiltään suurin tekijä dieselvastikkeista ja etanoli bensiinivastikkeista vuonna 2030. Biopolttoaineiden kokonaissaatavuus EU:ssa on kuitenkin myös riippuvainen oletuksista joita tehdään eri polttoaineiden tuonnin osuuksista. Dieselvastikkeista HVO tulee todennäköisesti ajallaan korvaamaan FAME:n ja ne kilpailevat myös samoista raaka-aineista eli kasvipohjaisista rasvoista/öljyistä. HVO:n samoin kuin BTL:n osuuteen tieliikenteessä voi kuitenkin myös vaikuttaa se, kuinka paljon lentoliikenne tulee niitä mahdollisesti käyttämään [38].

Vuoteen 2030 mennessä on toisen sukupolven edistyneiden biopolttoaineiden (kuten lignoselluloosa etanoli, lignoselluloosa butanoli, FT diesel, pieniä määriä mikrobi- ja leväöljyistä tuotettuja polttoaineita) osuus raportin mukaan EU:n markkinoilla vielä rajallinen, mutta osuus voisi olla suurempi jos niille lisättäisiin poliittista tukea.

Liikenteessä käytetyn polttoaineen kokonaismäärä tulee myös vähenemään tiukentuvien päästövaatimusten seurauksena (vuonna 2010 299 Mtoe, vuonna 2020 248 Mtoe ja vuonna 2030 233 Mtoe). Haasteena on kuitenkin ajoneuvokannan hidas vaihtuvuus, koska esim. suuri osa vuonna 2020 ostetuista autoista tulee olemaan käytössä edelleen vuonna 2030. Vuodesta 2011 osa autonvalmistajista on myynyt E10+ *yhteensopivia* autoja ja kaikkien vuodesta 2016 eteenpäin myytyjen autojen oletetaan olevan E10+ *yhteensopivia*. Vuonna 2018 markkinoille oletetaan tulevan E10+ laadulle *optimoituja* autoja ja vuodesta 2021 eteenpäin kaikkien myytyjen bensiinautojen oletetaan olevan E10+ *optimoituja*. Kaikki vuodesta 1990 eteenpäin myytyt dieselautot ovat B7 yhteensopivia ja B7 yhteensopivien dieselautojen osuus tulee vielä kasvamaan kunnes vuonna 2030 se on saavuttanut suurimman osuutensa (ei niinkään siksi, että biopolttoaineita halutaan käyttää enemmän vaan siksi, että dieselautojen osuus autokannasta Euroopassa kasvaa) ja alkaa sen jälkeen todennäköisesti laskea uusien vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävien autojen (AFV) vallatessa markkinoita vuoden 2030 jälkeen. Euroopassa dieselautoja on suosittu niiden ottomoottoria paremman hyötysuhteensa vuoksi ja siksi on sallittu dieselautoille myös korkeammat päästöt (toisin kuin esim. USA:ssa). Vuonna 2014 voimaan tulleet Euro 6 pakokaasumääräykset muuttavat kuitenkin tätä tilannetta merkittävästi [38].

Uusia biopolttoaineita tulee markkinoille jos käytössä on tarpeeksi ajoneuvoja jotka sitä pystyvät hyödyntämään. Siltikin vie useamman vuoden ennen kuin täysi hyöty voidaan saavuttaa. Esimerkiksi E10 polttoaine tuotiin Ranskassa markkinoille 2009, mutta sen odotetaan saavuttavan maksimisaatavuutensa EU:n mukaan vuonna 2020. Samoin E10 polttoaine tuotiin markkinoille Suomessa 2011 ja vuoteen 2020 mennessä kaiken Suomessa myytävän bensiinin oletetaan sisältävän noin 10 til-% etanolia. Jos siis E10+ laatu tuodaan markkinoille E5-suojapitoisuuden tilalle vuonna 2025, tulee se saavuttamaan maksimikapasiteettinsa/saatavuutensa aikaisintaan vuonna 2030. Markkinoille ei oleteta tulevan enemmän kuin kaksi eri pitoisuutta samoja nestemäisiä biopolttoaineseoksia eli suojapitoisuus ja päätuote. Polttoainevalikoiman määrää rajoittaa mm. tankkausasemilla olevien tankkien määrä [38].

1.7.1 Autoteollisuuden näkökantoja

Autoteollisuuden näkökannalta katsottuna [39] polttoaineen laatu on erittäin tärkeä ominaisuus, varsinkin kun jatkuvasti tiukentuvat päästövaatimukset lisäävät ajoneuvojen herkkyyttä polttoaineen laadulle. Näin ollen kaiken menestyksen avain autoteollisuuden näkökannalta olisi standardisointi ja yleinen kansainvälinen maailmanlaajuinen harmonisointi polttoaineisiin liittyen. Polttoaineen laadun ja päästöjen sääntelyn pitäisi myös aina kulkea käsi kädessä.

Kehitettäessä uusia ajoneuvoja uudensuuntaisia polttoaineita silmällä pitäen, voidaan huomioon hyvin ottaa uusien polttoainespesifikaatioiden ja polttoainelaatujen kehitys. Sen sijaan yhteensopivuus taaksepäin on hankalammin toteutettavissa ja yhteensopivuutta taaksepäin ei voidakaan huomioida normaalissa moottorikehitysprosessissa. Olemassa olevan ajoneuvokaluston suojausta tullaan siis aina tarvitsemaan samoin kuin riittävästi aikaa autoteollisuudelle uusien tekniikoiden kehittämiseen. Tarpeen on myös päättäjien selkeä sitoutuminen tulevaisuuden polttoainespesifikaatioihin.

B10-, B30- ja B100-laadut tuovat lisäksi maankäytöllisiä eli ILUC-haasteita, kun perinteisestä FAME:sta tulee pikkuhiljaa kestävämpi vaihtoehto maankäyttöä ajatellen. Lisäksi B100-

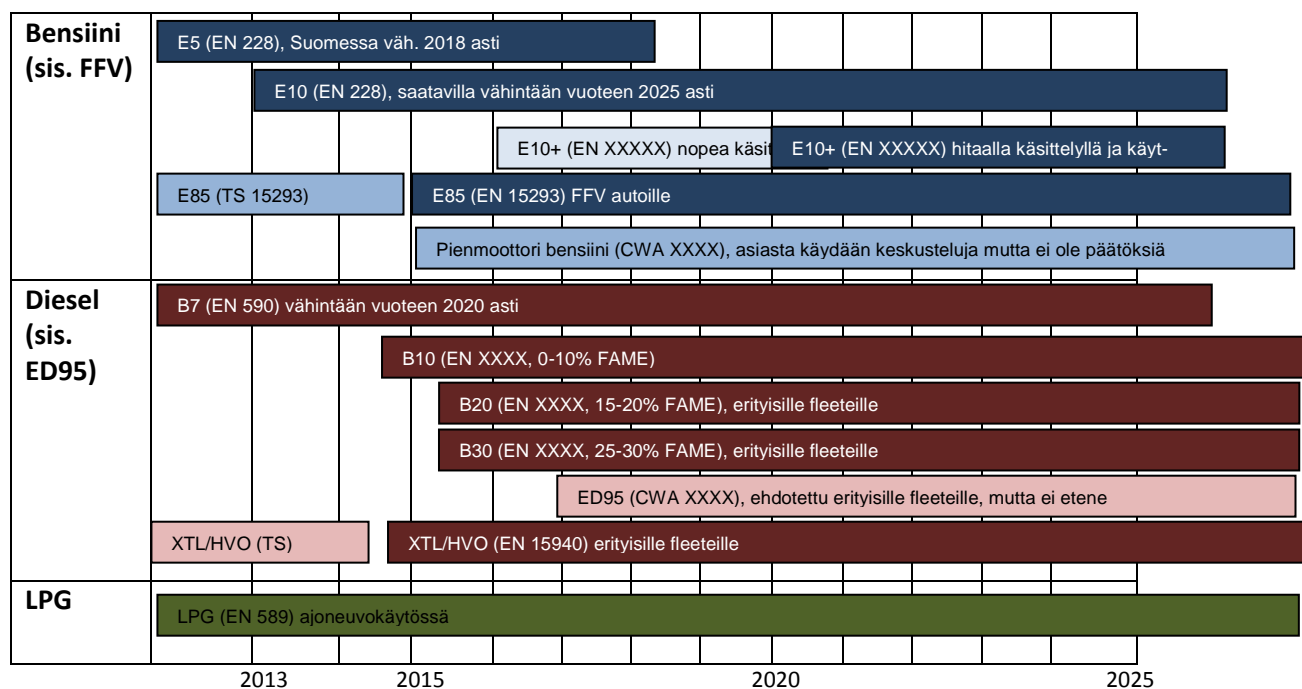
laadussa epäpuhtaudet, kuten esimerkiksi metallit, ovat autoteollisuudessa huolena. Edessä on myös isoja lainsäädännöllisiä ja teknisiä haasteita Euro VI-luokan raskaille ajoneuvoille, kun käyttöön otetaan suurempia määriä FAME:a sisältäviä polttoaineita. Jos raaka-aineena käytetään ruoaksi kelpaamattomia rasvoja on HVO parempi vaihtoehto kuin FAME.

2. Yhteenveto

Polttoainestandardien laatiminen on hidasta, joka nykyisellä aikataululla tarkoittaa sitä, että esimerkiksi uusi polttoainelaatu E10+ ei olisi massalevityksessä markkinoilla ennen vuotta 2025. Jos se halutaan markkinoille nopeammin ja tehokkaammin, olisi asioita nopeutettava ja itse E10+ standardin olisi oltava valmis vuonna 2016. Yleisesti ottaen standardien kehittäminen, kirjoittaminen ja hyväksyminen laajassa kansainvälisessä mittakaavassa on pitkä prosessi. Standardin laatimisen ja hyväksymisen jälkeen, se olisi myös otettava käyttöön ja implementoitava eri maissa samalla tavoin, jotta se edistäisi polttoaine- ja ajoneuvoteollisuuden mahdollisuuksia pitkäjänteiseen kehitystyöhön ja toisi varmuutta EU:n laajuisten harmonisoidujen markkinoiden kehittymiselle oikeaan suuntaan.

Standardin laatimisprosessi voi siis kaiken kaikkiaan olla hyvinkin pitkä ja aikataulu riippuu paljon päätöksenteon nopeudesta. Standardeilla on kuitenkin hyvin tärkeä rooli, jotta saadaan varmistettua uusien (bio)polttoaineiden ja moottoritekniikoiden kehitys pitkäjänteisesti. Samoin kuin myös varmistettua turvallisuusnäkökohdat, niin nykyisille kuin tuleville (bio)polttoaineille ja niiden käsittelylle.

Alla olevassa **kuvassa 5** yhteenvetona CEN:n polttoainestandardien aikataulutaulukko lähitulevaisuudelle.



Kuva 5: CEN:n polttoainestandardien aikataulutaulukko lähitulevaisuudelle [1].

3. Bibliography

- [1] S. Mikkonen, *Background for fuel specifications*, 2013.
- [2] EU, "Directive 2009/30/EC (FQD)," *Official Journal of the European Union*, osa/vuosik. L140/88, 2009.
- [3] EU, "Directive 2009/28/EC (RED)," *Official Journal of the European Union*, osa/vuosik. 140/16, 2009.
- [4] EU, "Regulation No 333/2014 (to define the modalities for reaching the 2020 target...)," *Official Journal of the European Union*, osa/vuosik. L103/15, 2014.
- [5] EU, "Regulation No 443/2009 (Setting emission performance standards for new passenger cars ..)," *Official Journal of the European Union*, osa/vuosik. L 140/52, 2009.
- [6] Eduskunta, "2007/446. Laki biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä," *Suomen Säädoskokoelma*, 2007.
- [7] Eduskunta, "393/2013. Laki biopolttoaineista ja bionesteistä.," *Suomen Säädoskokoelma*, 2013.
- [8] EU, "Scoreboard for the work programmes of standardisation bodies," 2014. [Online]. Available: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/standardisation-policy/notifications-systems/work-programmes/index_en.htm.
- [9] SIPE, "An environmental Standards Information Portal for Europe," 2014. [Online]. Available: <http://www.sipe-rtd.eu/>.
- [10] CEN, *EN 590:2013. Automotive fuels. Diesel. Requirements and test methods.*, CEN, 2013.
- [11] CEN, *CEN/TS 15940. Automotive fuels. Paraffinic diesel fuel from synthesis or hydrotreatment.*, CEN, 2012.
- [12] CEN, *EN 14214:2012+A1:2014. Liquid petroleum products. Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel*, 2014.
- [13] CEN, *EN 228:2012. Automotive fuels. Unleaded petrol. Requirements and test methods*, CEN, 2012.
- [14] CEN, "EN 15376. Automotive fuels - Ethanol as a blending component for petrol - Requirements and test methods," 2007.
- [15] SFS, *SFS 5979. Moottoripolttonesteet. Lyijytön moottoribensiini, korkea happipitoisuus (E10). Vaatimukset ja testimenetelmät*, SFS, 2010.
- [16] SFS, "Suomen Standardisoimisliitto SFS RY - Uutispalsta," 2014. [Online]. Available: http://www.sfs.fi/ajankohtaista/uutiset/niinisto_vahvasti_standardisoimislain_kumoamisa.n.2350.news. [Haettu 27 06 2014].
- [17] CEN, *CEN 15376. Automotive fuels. Ethanol as a blending component for petrol. Requirements and test*, CEN, 2011.
- [18] CEN, *CEN/TS 15293. Automotive fuels. Ethanol (E85) automotive fuel. Requirements and test methods*, CEN, 2011.
- [19] SIS, *SS 155437. Motor Fuels - Fuel alcohols for high speed diesel engines*, SIS, 1997.

- [20] CEN, *EN 589. Automotive fuels. LPG. Requirements and test methods*, CEN, 2012.
- [21] SIS, *SS 155438. Motor fuels - Biogas as fuel for high-speed otto engines*, SIS, 1999.
- [22] CEN, *EN 1160. Installations and equipment for liquefied natural gas. General characteristics of*, 1996.
- [23] CEN, *CWA 16379:2011. Fuels and biofuels. Pure plant oil fuel for diesel engine concepts.*, CEN, 2011.
- [24] CEN, *CWA 15145. Automotive fuels. Water in diesel fuel emulsions for use in internal combustion*, CEN, 2004.
- [25] B. Engelen, "Actual and future petrol overview. Key messages on E10, E85 and E10+," tekijä: *Higher biocontents and future European automotive fuel standards 2013*, Helsinki, 2013.
- [26] CEN, *CEN/TR 16557. Automotive Fuels. High FAME Diesel Fuel Blends (B11. B30). Background to the*, CEN, 2013.
- [27] N. Elliot, "Diesel fuels: Requirements related to B10, B30 and B100," tekijä: *Higher biocontents and future European automotive fuel standards 2013*, Helsinki, 2013.
- [28] EU, "European standardisation policy - last update 2014," 2014. [Online]. Available: http://ec.europa.eu/enterprise/policies/european-standards/standardisation-policy/index_en.htm.
- [29] ACEA, *Worldwide Fuel Charter, Fifth Edition toim.*, Brussels: ACEA, 2013.
- [30] ACEA, *Worldwide Fuel Charter: Ethanol Guidelines*. ACEA., Brussels, 2009.
- [31] ACEA, *Worldwide Fuel Charter: Biodiesel Guidelines*, Brussels: ACEA, 2009.
- [32] IEA-AMF, "International Energy Agency, Advanced Motor Fuels," 2014. [Online]. Available: <http://www.iea-amf.org/>.
- [33] AMF, "Fuel Information - last update 2014," 2014. [Online]. Available: http://www.iea-amf.org/content/fuel_information/fuel_info_home.
- [34] ISO, *ISO 15403. Natural gas - Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles (Parts 1 and 2)*, ISO, 2006.
- [35] ISO, *ISO 13686. Natural gas - Quality designation*, ISO, 2013.
- [36] ISO, *ISO 14687:2014. Hydrogen fuel - Product specification (Parts 1, 2 and 3)*, 2014.
- [37] CEN, *CEN/TR 16514:2013. Automotive fuels - Unleaded petrol containing more than 3,7 % (m/m) oxygen - Roadmap, test methods, and requirements for E10+ petrol*, CEN, 2013.
- [38] E4tech, "A harmonised Auto-Fuel biofuel roadmap for the EU to 2030," E4tech, London, 2013.
- [39] A. Røj, "Fuels and Automotive Technologies Looking Forward - An Automotive Industry View," tekijä: *Higher biocontents and future European automotive fuel standards 2013*, 2013.

Vastaanottaja
VTT

Asiakirjatyyppe
Raportti

Päivämäärä
14.11.2014

SELVITYS: VAIHTOEHTOISTEN POLTTOAINEIDEN JAKELU- INFRASTRUKTUURI JA SEN LAAJENTAMINEN

SISÄLTÖ

Tiivistelmä	4
1. Työn tausta, tavoitteet ja toteutus	8
1.1 Työn tausta	8
1.2 Työn tavoitteet	9
1.3 Työn toteutus	10
2. Yhteenveto säädöksistä ja määräyksistä	11
2.1 Euroopan unionin parlamentin ja neuvoston hyväksymä direktiivi vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuurista	11
2.1.1 Yleistä	11
2.1.2 Sähköajoneuvojen lataukseen liittyviä osuuksia	11
2.1.3 Vedyn tankkaukseen liittyviä osuuksia	12
2.1.4 Kaasun tankkaukseen liittyviä osuuksia	12
2.1.5 Latauspisteitä koskevat tekniset eritelmät	13
2.1.6 Moottoriajoneuvojen vetytankkauspisteitä koskevat tekniset eritelmät	13
2.1.7 Maakaasun tankkauspisteitä koskevat tekniset eritelmät	13
2.2 Turvallisuuteen liittyviä EU-tason säädöksiä	13
2.3 Turvallisuuteen liittyviä kansallisia säädöksiä	14
2.4 Standardit, viranomaismääräykset ja ohjeet	15
2.5 Yhteenveto maa- ja biokaasuun liittyvistä säädöksistä tämän selvityksen näkökulmasta	16
2.6 Yhteenveto vedyn tankkaukseen liittyvistä säädöksistä tämän selvityksen näkökulmasta	17
2.7 Yhteenveto sähköajoneuvojen lataukseen liittyvistä säädöksistä tämän selvityksen näkökulmasta	18
3. Benchmark: esimerkkejä vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelun ratkaisuista	19
3.1 Liikennekaasun jakeluasemia Suomessa	19
3.2 Vedyn tankkausasemat Suomessa	21
3.3 Sähköautojen latauspisteet Suomessa	22
3.4 Esimerkki toteutetusta hybridiasemasta: Lohjan Tytyrin ABC	24
3.5 Vihreälle moottoritielle E18 suunniteltu hybridiasema	24
3.6 Mikkeliin suunniteltu monipolttoaineasema (multifuel-konsepti)	25
3.7 Vety- ja hybridiasemia Saksassa	25
3.8 Norjan vetytankkausasemat	28
3.9 USA: The California Hydrogen Highway	28
3.10 Valikoituja kustannustietoja suomalaisista liikenneasemista	28
4. Ennusteet vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön kehittymisestä	29
4.1 Sähköajoneuvot ja tarvittavat latauspisteet	29
4.2 Esimerkki sähkökäyttöisten ajoneuvojen yleistyemisessä Norjassa	31
4.3 Kaasukäyttöiset ajoneuvot ja tarvittavat tankkauspisteet	32
4.4 Vetykäyttöiset ajoneuvot ja tarvittavat tankkauspisteet	33
4.5 Yhteenveto	35
5. Jakeluaseman infrastruktuurikustannukset	35
6. Latauspisteen stand alone -kustannukset	36
6.1 Lataustavat	36
6.2 Latausinfran investointikustannusten erittely	37
6.3 Vertailutietoa latausinfran kustannuksista	38
7. Kaasun tankkauspisteen stand alone -kustannukset	40

7.1	Kaasun tankkausinfran kustannusten muodostuminen	40
7.2	Kaasun tankkausaseman kustannusten skaalautuvuustarkastelu	42
8.	Vedyn tankkauspisteen stand alone-kustannukset	43
8.1	Vedyn tankkauksen perusratkaisut	43
8.2	Vedyn tankkausaseman kustannusten muodostuminen	44
8.3	Vedyn tankkausaseman kustannusten skaalautuvuustarkastelu	45
9.	Yhteenveto: hybridiaseman kustannusten muodostuminen	46
10.	Case-tarkastelu	48
10.1	Case-tarkastelulle asetetut tavoitteet	48
10.2	Case Mikkelin multifuel-polttoaineaseman yleisesittely	48
10.3	Sijoittautumisen tarkastelu mitoitus- ym. vaatimusten perusteella	49
10.4	Kaupallinen konsepti	50
	10.4.1 Kilpailutilanne ja kysyntä	50
	10.4.2 Muita kaupalliseen konseptiin vaikuttavia tekijöitä	52
10.5	Kaasun tarjonta	53
10.6	Liiketoimintamalli ja avaintoimijat	53
10.7	Caselle asetetut tavoitteet	54
10.8	Casen jatkotoimenpiteet	54
11.	Yhteenveto ja loppusanat	54
	LÄHDELUETTELO	56

TIIVISTELMÄ

Projektin kuvaus

VTT vei läpi vuonna 2014 Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) rahoittaman hankkeen ”Biopolttoaineet vuosien 2020 – 2030 tavoitteissa ja liikenteen muu uusiutuva energia: Vaikutukset ilmaston ja kansantalouden kannalta”. Tähän työhön liittyen Ramboll on tehnyt VTT:n toimeksiannosta selvitystyön, jonka sisällön keskeiset teemat ovat

- Vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluinfrakstrukturiin liittyvät laitteet ja niiden kustannukset
- Vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluun liittyvät säädökset ja määräykset, erityisesti turvallisuus
- Eri polttoaineiden ja energioiden rinnakkaisjakelu eli ”Monipolttoaineasema” -konsepti.

Selvitys kattaa seuraavat vaihtoehtoiset polttoaineet ja käyttövoimat:

- Maa/biokaasu (CNG ja LNG)
- Vety (700 bar painekaasu)
- Sähkö (pika- ja hidaslataus).

Selvityksessä tarkasteltiin näiden vaihtoehtoisten polttoaineiden ja käyttövoimien jakeluinfrakstruktuuria stand alone-tyyppisesti yksi kerrallaan, hybridiratkaisuna ja käytännön näkökulmasta myös laajempuna monipolttoainekonseptina, jossa ovat mukana nestemäiset biopolttoaineet ja myös fossiiliset liikennepolttoaineet.

Selvitystyön toteutti Ramboll Finland Oy:n projektitiimi, johon kuuluivat DI, MBA Mirja Mutikainen (projektipäällikkö), KTM Tiina Kuokkanen, FT Kai Sormunen ja DI Pekka Stenman. Työssä hyödynnettiin laajasti myös muita Rambollin asiantuntijoita.

Yhteenveto liikennekaasun tankkausta koskevista säädöksistä

Kaasun tankkausasemien sijoittumisen yleisiä edellytyksiä ja vaatimuksia ovat:

- Maankäyttö- ja rakennuslain määräykset (yhtenevä muuhun rakentamiseen)
- Rakennuslupa (huolto- jakelu- ja liikenneasema), toimenpidelupa (automaattiasema)
- Asemakaava- ja yleiskaavamääräykset
- Ympäristönsuojelulain ja ympäristönsuojeluasetuksen määräykset
- Määräykset vaarallisten kemikaalien varastoinnista ja käsittelystä jakeluasemilla
- Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta
- Jakeluasemastandardi (SFS 3352).

Suomen kaasuyhdistys on yhdessä Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) kanssa julkaissut suunnitteluohjeen maa- ja biokaasun tankkausasemille. Suunnitteluohjeesta löytyvät perusohjeet tankkausasemien sijoittamiselle sekä tekniset vaatimukset, merkinnät, tarkastukset sekä käyttöön ja kunnossapitoon liittyvät asiat.

Merkittävin suunnitteluun ja kustannuksiin vaikuttava säädöksistä johdettava tekijä ovat tankkausaseman vaatimat suojaetäisyydet esimerkiksi muista rakennuksista ja teistä. Tankkausaseman laitteistojen, varastosäiliöiden, kompressorien sekä tankkauspisteiden tulee sijaita vähintään 4 metrin etäisyydellä kiinteistön rajasta. Tankkausaseman laitteistot tulee sijoittaa siten, että räjähdysvaaralliseksi luokiteltavat tilat eivät ulotu asema-alueen kiinteistörajajen ulkopuolelle. Siirtoputkistoon liittyvän tankkausaseman vähimmäisetäisyys ulkopuolisista kohteista (rakennuksista) on 25 m tai 50 m, kun kaasupaine ylittää 16 bar. Tulopaineen ollessa alle 16 bar ovat vaadittavat suojaetäisyydet rakennuksiin 5-25 m, kaasuväestön toteutuksesta riippuen. Nämä suojaetäisyydet ovat vähimmäisetäisyyksiä kaasuväestöstä ja kompressoriyksikön suojarakennuksesta. Varsinainen tankkauspiste voi sijaita lähempänä rakennuksia.

Yhteenveto vedyn tankkausta koskevista säädöksistä

Suomen lainsäädäntöön kuuluvia säädöksiä, joihin sisältyy vedyn käyttöä ja vetytankkausasemia koskevia vaatimuksia, ovat esimerkiksi kemikaali-, ATEX-, painelaite-, pelastus- ja rakennussäädökset. Myös muissa säädöksissä on kemikaaleja, sähkölaitteita, ohjausjärjestelmiä jne. koskevia vaatimuksia, jotka koskevat tai voivat koskea myös vetytankkausasemia.

Vetytankkausasemilla tapahtuva vedyn käsittely ja varastointi on asetuksen 59/1999 mukaisessa tarkoituksessa luokiteltavissa vähäiseksi. Vedyn vähäinen teollinen käsittely ja varastointi on ilmoituksenvaraista, jos vetyä on tuotantolaitoksessa vähintään 0,1 tonnia (100 kg). Ilmoitus tehdään pelastusviranomaiselle ennen käsittelyn tai varastoinnin aloittamista. Pelastusviranomaisen tarkastaa vähäistä teollista käsittelyä tai varastointia harjoittavan, ilmoitusvelvollisen tuotantolaitoksen, kuten vetytankkausaseman, kolmen kuukauden kuluessa toiminnan aloittamisesta.

Rakentamiseen liittyviä tärkeimpiä säädöksiä ovat maankäyttö- ja rakennuslaki ja maankäyttö- ja rakennusasetus. Rakentamiseen liittyviä lupia ovat rakennuslupa ja toimenpidelupa. Erityisesti vetytankkausasemien osalta tarvitaan kiinteää yhteydenpitoa kunnan rakennusvalvontaviranomaisen kanssa, jotta selkeät toimintaohjeet saadaan.

Suomessa ei toistaiseksi ole vetytankkausasemia koskevia viranomaisohjeita. Edellisessä kappaleessa mainittua suunnitteluohjetta maa- ja biokaasun tankkausasemille ei sellaisenaan voi käyttää vetytankkausasemien suunnitteluohjeena, mutta siinä on kohtia, jotka soveltunevat myös vetytankkausasemille.

Yhteenveto sähköajoneuvojen latauspisteitä koskevista standardeista

Latauspisteisiin sovelletaan luonnollisesti sähköturvallisuus- ja sähköasennusstandardeja (EN 60364). Latauspisteiden pistokytkimiä koskevat standardit EN 62196-1 ja EN 62196-2 on julkaistu vuoden 2011 lokakuussa. Standardeilla määritetään pistokytkimien rakenne- sekä testausvaatimukset.

Sähköauton latauksessa on käytössä kolme erityyppistä latauspistokytkintä:

- Tyyppi 1 on USA:ssa ja Japanissa käytössä oleva yksivaiheinen maksimissaan 32 A pistokytkin, joka tunnetaan nimellä Yazaki ja SAE J1772.
- Tyyppi 2 on koko Euroopassa käytössä oleva, alkujaan saksalainen, nykyisin myös italialaisten ja ranskalaisten käyttämä pistokytkin - maks. 70 A yksivaiheisena tai kolmivaiheisena maks. 63 A. Tyyppi 2 tunnetaan paremmin kaupanimestään Mennekes. Euroopan komissio on suosittanut, että Tyyppi 2 tulee olemaan vallitseva standardi Euroopassa.
- Tyyppi 3 on standardoitu pistokytkin maks. 32 A yksivaiheisena tai kolmivaiheisena maks. 63 A. Se on kuitenkin jäämässä sivuun EU:n ehdotuksen myötä.

Sähköautojen pikalautuksen standardeja ovat

- CCS (Combined Charging System) tai Combo. CCS -latauksessa yhdistetään autoon yksi- ja kolmivaiheinen vaihtovirtalataus ja tasavirtalataus sekä julkisille paikoille sopiva erikoisnopea tasavirtalataus. Tämä on hallitseva järjestelmä Euroopassa ja USA:ssa.
- CHAdeMO on tasavirtakäyttöön perustuva japanilainen latausstandardi, jota käyttävät mm. Nissan, Toyota ja Mitsubishi.
- Chameleon on Renaultin käyttämä ratkaisu. Muunnin on sijoitettu autoon ja autoa voidaan ladata maks. 43 kW vaihtovirralla. Latausasemat ovat tässä järjestelmässä vaihtoehtoisia ratkaisuja edullisempia.

Latausasemat voidaan varustaa molempien standardien (CCS ja CHAdeMO) mukaisesti ja niihin voidaan sijoittaa myös vaihtovirtalataukselle sopiva lisäpistorasia.

Suomessa toteutettuja vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluratkaisuja

Suomessa on 25 kaasuautojen julkista tankkausasemaa, joista 20 on Gasumin omistamia (tilanne syyskuussa 2014). Tankkausasemaverkosto kehittyy nopeasti kaasuverkon alueella, mutta biokaasun myötä tankkausasemaverkosto laajentuu myös kaasuverkon ulkopuolelle.

Suomessa on kaksi vetytankkausasemaa Voikoskella ja Helsingin Vuosaarella, jotka molemmat ovat Woikoski Oy:n toteuttamia.

Suomessa oli vuoden 2013 elokuussa 261 julkista sähköajoneuvojen latauspistettä, joista yhdeksän oli pikalatauspisteitä. Syksyllä 2013 17 keskeistä kotimaista energiayhtiötä perusti sähköautojen latausoperaattoriyhtiö Liikennevirta Oy:n, ja tavoitteeksi asetettiin että kesään 2014 mennessä pikalatauspisteiden määrä kaksinkertaistuu. Syksyllä 2014 pääkaupunkiseudulla on hieman yli 30 latausasemaa ja niissä yhteensä lähes 100 latauspistettä. Pääkaupunkiseudun lisäksi latauspisteitä on suurissa kaupungeissa ja valtateiden varsilla.

Toteutetusta hybridiasemasta (multifuel-asemasta) esimerkki on Lohjalla ABC GrilliMarket Tytyri, jossa on sekä perinteisten polttonesteiden että bioetanolin RE 85 tankkauspisteet, kaasuautojen tankkauspiste ja sähköautojen pikalatauspiste. Investoija on Suur-Seudun Osuuskauppa SSO yhteistyössä ABC-ketjun kanssa. ABC-ketju, Fortum ja Nissan ovat yhteistyössä toteuttaneet sähköautojen pikalatauspisteen. Gasum Oy rakensi samalle tontille liikennekaasun jakelupisteen ja hallinnoi sitä.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden hybridiasemaa suunniteltiin E18 Vihreä Moottoritie-esiselvityksen yhteydessä vuosina 2010 – 2011. Kohteena oli E18-tien (VT7) Porvoo-Vaalimaa osuus, tarkemmin Pyhtään liittymä. Tavoitteena oli luoda ekosysteemi ja markkinapaikka kestäville liikenteen palveluille ja teknologioille, joka toimii myös innovaatiotestialustana ja ns. "living lab – konseptina". Toteutettavia E18-tien vihreitä suunnitteluratkaisuja ovat mm. älykäs tievalaistuksen ohjaus, kaapeleidensuojaputkitukset sähköautojen latauspaikoille, liityntäpysäköintipaikat, telematiikka ja älykäs tie koko matkalla. Hybridiasema on jäänyt pois näistä suunnitelmista.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden monipolttoainejakelusta on vuonna 2014 kiinnostunut Mikkelin kaupunki, tarkemmin kehitysyritys Miktechin vetämä hanke, jossa mm. keskustassa sijaitsevalle Satamalahden uudistettavalle alueelle suunnitellaan ekologisia energiaratkaisuja. Yhtenä tällaisena ratkaisuna nähdään monipolttoainejakelu, jossa tavoitteena on yhdistää jakeluasemaan paikallisesti tuotettua biokaasua, sähköä ja vetyä. Hankkeesta on kiinnostunut mm. paikallinen energiayhtiö Etelä-Savon Energia, biokaasuntuottajat Metsäsairila, Biohauki ja Juvan Bioson sekä vedyn tuottaja Woikoski Oy. Tämä hanke on kuvattu raportissa case-tarkasteluna.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden kysynnän kehittyminen

Seuraavassa taulukossa on esitetty tiivistettynä raportissa tarkemmin käsiteltyjen eri skenaarioiden pohjalta arviot ajoneuvojen ja huoltoasemien lukumäärän kehityksestä vaihteluväleinen. Vaihteluväli eri ennusteiden välillä on suuri ja maksimimäärä ei todennäköisesti toteudu, koska vaihtoehtoiset polttoaineet kilpailevat toistensa kanssa ja kehittyvät rinnakkain. Taulukossa sähkönsäältä vuosina 2020 ja 2030 latauspisteiden lukumäärä on EU-direktiivin vaatimuksen mukaisesti 1/10 autoa. Sähköajoneuvojen lukumäärässä eivät ole mukana lataushybridit, joiden lukumäärä voi olla kymmeniä tuhansia ja lisäävät kysyntää sähkönlatauspisteille. Kaasu- ja vetyasemien lukumäärä vuonna 2030 on laskettu siten, että 1700 ajoneuvoa/asema perustuen nykyisen huoltoasemaverkoston palvelukykyyn.

Yhteenveto ajoneuvojen ennustemääristä

	Henkilö- autot 2014	Huolto- asemat 2014	Ajon./ asema 2014	Ajoneuvot 2020	Asemat 2020	Ajoneuvot 2030	Asemat 2030
Sähkö	500	500	1	12 000–27 000	1 200–2 700	-137 000	-13 700
Kaasu	1 700	20	85	10 000–113 000	60	150 000–658 000	90–390
Vety	1	2	0,5	7 500–21 000	20	82 500–112 000	50–65

Taulukosta voidaan päätellä, että vuonna 2020 Suomessa on potentiaalia korkeintaan muutamalle kymmenelle vaihtoehtoisten polttoaineiden monipolttoaineasemalle. Vuonna 2030 potentiaalia on jopa muutamalle sadalla kaasun tankkaus- ja sähköön latausasemalle riippuen pääosin kaasujoneuvojen lukumäärän kehityksestä. Kaiken kaikkiaan sähkönlatauspisteiden tarve on huomattavasti suurempi, mutta valtaosa julkisesta latauksesta tapahtunee parkkihalleissa esimerkiksi työpaikoilla tai kauppakeskuksissa, ja varsinaisten huoltoasemille sijoittuvien sähköön pikalatauspisteiden lukumäärä on kokonaislukumäärää selvästi alhaisempi. Vedyn tankkausasemien tarve on selvästi vähäisempi siinäkin tilanteessa, että vetyajoneuvojen kehityksen maksimiskenaario toteutuisi.

Kaupallisista syistä vaihtoehtoisten polttoaineiden tankkausasteet kehittynevät pääosin nykyisten huoltoasemien yhteyteen, eivät niinkään erillisenä omana konseptinaan.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluinfrastruktuurin kustannukset

Kaasun ja vedyn tankkauksen osalta jakeluinfrastruktuuriin liittyvät kustannukset ovat vahvasti sidoksissa kaasun ja vedyn paikalletuonnin tapaan ja tarjottavaan kapasiteettiin. Kaasua voidaan tuottaa lähes paikan päällä (biokaasu), tuoda putkistoa pitkin tai jaella varastosta. Vetyä voidaan tuoda putkistoa pitkin, tuottaa paikan päällä tai jaella varastosta. Maakaasun jakeluverkostoon liittyvistä kaasun jakeluasemista on suurimmalla toimijalla Gasumilla jo paljon referenssejä sekä kokemuseräistä tietoa.

Jakeluaseman infrastruktuurikustannukset muodostuvat jakeluaseman (jakelukentän) perustamiseen liittyvistä kustannuksista, jotka muodostuvat maanhankinnasta, kaavoituksesta ja luvituksesta, suunnittelukustannuksista sekä investoinneista yhteisiin rakenteisiin investoinneista, erityisesti maanrakennustöihin, perustuksiin ja maanpäällisiin rakenteisiin. Tehdyn tarkastelun lopputuloksena muodostuu yhteisille infrastruktuurikustannuksille arvio 450 000 euroa – 800 000 euroa.

Kokonaiskustannusten näkökulmasta yhteisiin infrastruktuurikustannuksiin lisätään jakelupisteiden ja -järjestelmän kustannukset sekä kaasujen varastoinnin ja putkistojen kustannukset. Vahvasti yleistäen on sanottavissa, että yhden sähköajoneuvojen pikalatauspisteen investointikustannukset ovat noin 40 000 euroa, kaasun tankkausaseman investointikustannukset vaihtelevat välillä 200 000 – 600 000 euroa ja pienikapasiteettisen vedyn tankkausaseman investointi vaihtelee 500 000 ja 1 000 000 euron välillä.

Arvioimme, että laajamuotoisemman vaihtoehtoisten polttoaineiden hybridiaseman kustannustaso vaihtelee miljoonasta kahteen miljoonan euroon, kun asemalla on 2-3 kaasun ja vedyn tankkauspaikkaa sekä useita latauspisteitä

Yhteenveto case-tarkastelusta

Mikkelissä toimiva kehitysyritys Miktech Oy yhteistyökumppaneineen on kehittämässä konseptia multifuel-monipolttoaineaseman toteuttamiseksi Mikkeliin. Fiksuun liikkumiseen tähtäävä konsepti liittyy Miktechin vetämään Biosaimaa-kehityshankkeeseen

Multifuel-konseptin kehittäminen kytkeytyy uusiutuvia liikennepolttoaineita – biokaasua, sähköä ja vetyä – käyttävien autojen yleistymiseen. Jakeluasemalla halutaan ohjata vt 5:n erityisesti matkailuun ja vapaa-ajanviettoon liittyviä merkittäviä liikennevirtoja kulkemaan Mikkelin kautta. Samalla halutaan vaikuttaa ihmisten valintoihin ja ohjata kohti fiksumpaa liikkumista. Kyseessä on siis uudenlainen liikennepolttoaineiden jakelukonsepti ja konseptin mukainen pilottiasema Mikkeliin. Tavoitteena on myös edesauttaa konseptin monistamista muualle Suomeen.

Multifuel-aseman toteuttamisella haetaan seuraavia alueellisia hyötyjä

- Kaupunki-ilmanlaadun parantuminen
- Imagohyödyt
- Liiketoimintamahdollisuuksia useille toimijoille
- Hyötyjä uusien liikennepolttoaineiden käyttäjille
- Tulevaisuuden polttoaineiden jakelukonseptin luominen
- Synergiaedut Mikkeliin järjestettävien asuntomessujen kanssa.

Mikkelin multifuel-konseptin kehittämisen nykyinen toimijaverkosto muodostuu seuraavista toimijoista:

- Metsäsairila Oy, biokaasun tuotanto, sähkö
- Biohauki Oy, biokaasun tuotanto
- Juvan Bioson Oy, biokaasun tuotanto
- Gasum, bio-/maakaasu back-up
- Woikoski Oy, vedyn tuotanto ja jakelu
- Etelä-Savon Energia ESE, sähköautojen lataus
- Ensto Oy, sähköautojen latauspisteet
- ST1 Oy, RE85 jakelu
- Mikkelin kaupunki, kaavoitus, kysynnän aktivointi
- Mikkelin ammattikorkeakoulu MAMK, taustaselvitykset, t&k
- Miktech Oy, koordinointi, esiselvitykset, hankevalmistelu

Toimijoiden työpajassa 30.9.2014 hahmotettiin alustavasti seuraavanlainen kaksiosainen konsepti ja toimintamalli multifuel-aseman toteuttamiseen:

- Uusien polttoaineiden multifuel-konsepti suunnitellaan konseptitasolla valmiiksi erityisesti sijoituspaikan ja teknisten vaatimusten osalta
- Järjestetään kilpailu kaupallisesta konseptista. Sijoituspaikalle kilpailutetaan kaupallinen toimija, jolle ehtona multifuel-konseptin toteuttaminen.
- Julkinen toimija voi hakea rahoitusta multifuel-konseptin määrittämiseen
- Kun kaupallinen toimija on valittu, voidaan hakea esim. TEMin energiatukea

Samassa työpajassa tunnistettiin seuraavia jatkotoimenpiteitä hankkeen eteenpäinviemiseksi

- Sijaintivaihtoehtojen sisällyttäminen kaupunkisuunnitteluun ja kaavaan
- Hankekehityksen organisointi ja kuvaaminen sen eri vaiheissa
- Liiketoimintamallin ja konseptin tarkennus, lopputuloksena määrittely niin että multifuel-konsepti voidaan toteuttaa osana kaupallista kilpailutusta
- Rahoitusvaihtoehtojen tarkennus ja rahoituksen haku erityisesti em. määrittelyvaiheeseen
- Kysynnän lisäämiseen tähtäävien toimenpiteiden tunnistus ja käynnistys

1. TYÖN TAUSTA, TAVOITTEET JA TOTEUTUS

1.1 Työn tausta

VTT:llä oli vuonna 2014 käynnissä Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) rahoittama hanke ”Biopolttoaineet vuosien 2020 – 2030 tavoitteissa ja liikenteen muu uusiutuva energia: Vaikutukset ilmastoon ja kansantalouden kannalta”. Tähän työhön liittyen Ramboll on tehnyt VTT:n toimeksiantona tämän selvityksen, jonka sisältö voidaan kuvata kahtena osana:

- A) uusien polttoaineiden jakeluinfrastruktuuri (jakelupisteet, jakelujärjestelmät) ja niiden kustannukset
- B) monipolttoainekonseptin toteuttaminen eri polttoaineiden ja energioiden rinnakkaisjakeluun, ja tähän liittyen katsaus voimassa oleviin polttoaineen jakelua koskeviin säädöksiin ja määräyksiin.

1.2 Työn tavoitteet

Selvitystyön sisällön keskeiset teemat ovat

- Jakeluinfrastruktureihin liittyvät laitteet ja niiden kustannukset
- Jakeluun liittyvät säädökset ja määräykset, erityisesti turvallisuus
- Eri polttoaineiden ja energioiden rinnakkaisjakelu eli "Monipolttoaineasema" -konsepti.

Selvitys kattaa seuraavat vaihtoehtoiset polttoaineet ja käyttövoimat

- Maa/biokaasu (CNG ja LNG)
- Vety (700 bar painekaasu)
- Sähkö (pika- ja hidaslataus)

Selvityksessä tarkastellaan näiden vaihtoehtoisten polttoaineiden ja käyttövoimien infrastruktuuria stand alone-tyyppisesti yksi kerrallaan, vaihtoehtoisten polttoaineiden hybridiratkaisuna ja käytännön näkökulmasta myös laajempaan monipolttoainekonseptina, jossa ovat mukana myös fossiliset liikennepolttoaineet (benssiini, diesel) sekä nestemäiset biopolttoaineet.

Lopputulosten kuvaamiselle sovittiin alustavasti allakuvattu sisältörakenne, jota on tarkoituksenmukaisella tavalla sovellettu tässä loppuraportissa.

1. Työn lähtökohdat ja tavoitteet

2. Lähtö- ja taustatiedot

- Vaikuttavien säädöksiin ja määräysten yhteenveto
- Verrokkianalyysi (Benchmarking)
- Ennusteet vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön kehittymisestä
- Työskentelypohja, modulaarinen malli

3. A-osa – kustannukset

- Vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelujärjestelmien kuvaus
- Kokonaiskuva kustannusrakenteesta
- Erilliskustannukset kustannuslajeittain
- Kustannusten skaalautuminen

4. B-osa – monipolttoainekonsepti, hybridiasema

- Tekninen konsepti ja säädösten keskeiset vaikutukset
- Kaupallinen konsepti ja toimijat
- Case-tarkastelu
- Casen erityiskysymykset
- Muutostarpeet Case-suunnitelmiin

Lähtötietojen tarkastelulle asetettiin seuraavia tavoitteita:

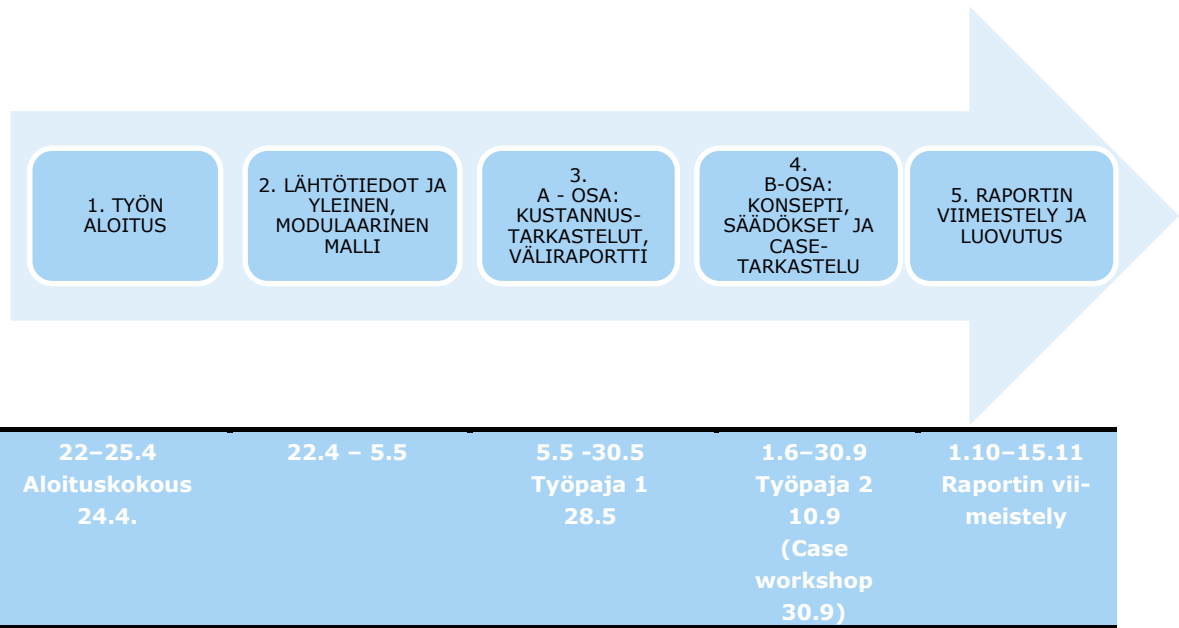
Kuvattava lähtötieto	Tarkennus
Vaikuttavien säädöksiä ja määräysten yhteenveto	- Uusien polttoaineiden ja monipolttoaineasemien rakenteita ja järjestelmiä koskevien säädösten, määräysten, standardien ja ohjeiden yhteenveto.
Verrokkianalyysi (Benchmarking)	- Lähinnä pohjoismaisiin ja eurooppalaisiin verrokkeihin tutustuminen ja niiden analyysi - ”Vihreän moottoritien E18” yhteyteen suunnitellun hybridiaseman suunnitelmiin tutustuminen - Mikkelin Satamalahteen suunniteltu uusien polttoaineiden asema, monipolttoaineasema
Ennusteet vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön kehittymisestä	- Kuvataan julkisia tietolähteitä hyödyntäen ja mahdollisesti haastatteluin tarkentaen ennusteet vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävän liikenteen kehittymisestä Suomessa ja E18-tiellä

Kustannustarkastelulle asetettiin seuraavia tavoitteita:

Kustannusten kuvaaminen	Tarkennus
Erilliskustannusten esittäminen seuraaville kustannuslajeille: <ul style="list-style-type: none"> • polttoaineen varastointi jakelupaikalla (säiliöt jne.) • polttoaineen valmistelu (paineen nosto, nesteytys, höyrystys jne.) • polttoaineen jakelu/ mitaaminen/laskutus • katokset ja muut tarvittavat suojarakennelmat, valaistus, jne. • perustaminen, pohjatyöt, suoja-alueet • tarvittava maapohja ja sen koko, ml. mahdolliset suojaetäisyydet 	<ul style="list-style-type: none"> - Analysoidaan ja arvioidaan perustapakukseen liittyvät kustannukset vaihtoehtoisten polttoaineiden osalta - Kustannuksien selvittämisessä käytetään julkisesti saatavilla olevaa tietoa ja toimittajien budjettitarjouksia - Maarakennukseen, perustuksiin ja rakenteisiin liittyvät kustannukset johdetaan Rambollin kokemuspohjasta erityyppisistä asiakasprojekteista. Latauspisteiden osalta hyödynnetään mm. Rambollin Tampereen kaupungille tekemää sähköisen liikenteen strategiaa, jossa on arvioitu alustavasti sähköautojen latauspisteiden kustannuksia. Tarkistuksia varten Ramboll hyödyntää kontakteja mm. latauspistetoimittajiin. - Tunnistetaan kustannuksiin niitä lisäävinä tai vähentävinä vaikuttavat tekijät ja tehdään herkkyysanalyysi muutaman keskeisen muuttujan suhteen - Tehdään kustannustarkastelun sisällön ja kattavuuden varmistaminen hyödyntämällä verrokkeja - Tunnistetaan tärkeimmät synergiat laajaan monipolttoainemalliin (jossa fossiiliset ym. mukana) - Kustannustarkastelu kiteytetään kaavioihin tai taulukoihin sekä peilataan asemasta tehtyyn malliin

1.3 Työn toteutus

Työn toteutettiin viisivaiheisena prosessina, joka on kuvattu seuraavana kaaviona.



Kaavio 1. Selvitystyön eteneminen

Selvitystyön toteutti Ramboll Finland Oy:n projektitiimi, johon kuuluivat DI, MBA Mirja Mutikainen (projektipäällikkö), KTM Tiina Kuokkanen, FT Kai Sormunen ja DI Pekka Stenman. Työssä hyödynnettiin laajasti myös muita Rambollin asiantuntijoita.

2. YHTEENVETO SÄÄDÖKSISTÄ JA MÄÄRÄYKSISTÄ

2.1 Euroopan unionin parlamentin ja neuvoston hyväksymä direktiivi vaihtoehtojen polttoaineiden infrastruktuurista

2.1.1 Yleistä

Euroopan parlamentti hyväksyi 15.4.2014 direktiivin vaihtoehtojen polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotosta. Direktiivin tavoitteena on luoda ”yhteinen toimenpidekehys vaihtoehtojen polttoaineiden infrastruktuurin käyttöönotolle unionissa, jotta voidaan minimoida liikenteen öljyriippuvuus ja lieventää liikenteen vaikutuksia ympäristöön”. Direktiivissä vahvistetaan vähimmäisvaatimukset vaihtoehtojen polttoaineiden infrastruktuurin rakentamiselle, jonka jäsenvaltiot toteuttavat kansallisten toimenpidekehystensä avulla. Direktiivissä ”vaihtoehtoisilla polttoaineilla tarkoitetaan polttoaineita tai voimanlähteitä, joilla korvataan ainakin osittain fossiilisen öljyn lähteiden käyttö liikenteen energianlähteenä ja joilla on mahdollista edistää hiilen poistamista liikenteestä ja parantaa liikenteen alan ympäristötehokkuutta”. Vaihtoehtoisia polttoaineita ovat muun muassa sähkö, vety, biopolttoaineet, synteettiset ja parafiiniset polttoaineet, maakaasu ja nestekaasu. Direktiivin mukaan jokaisen jäsenvaltion on vahvistettava kansallinen toimintakehys liikenteen vaihtoehtojen polttoaineiden markkinoiden kehittämiseksi ja infrastruktuurin käyttöönottamiseksi. Jäsenvaltioiden on annettava kansalliset toimintakehykset tiedoksi komissiolle 24 kuukauden kuluessa direktiivin voimaantulopäivästä. [1]

2.1.2 Sähköajoneuvojen lataukseen liittyviä osuuksia

Sähkön jakelua liikennettä varten on käsitelty direktiivin 4. artiklassa. Jäsenvaltioiden olisi varmistettava vuoden 2020 loppuun mennessä, että julkisia latauspisteitä asennetaan riittävän tiuhaan, jotta sähkökäyttöiset ajoneuvot voivat liikkua ainakin kaupunkitaajamissa, lähiöissä ja muilla tiheästi asutuilla alueilla ja tarvittaessa jäsenvaltioiden määrittämien verkkojen sisällä. Latauspisteiden lukumäärä olisi määriteltävä ottaen huomioon arviot kussakin jäsenvaltiossa vuon-

na 2020 rekisteröityjen sähköisten ajoneuvojen määrästä. Tarvittaessa EU:n komissio arvioi ja esittää ehdotuksen direktiivin muuttamiseksi, huomioiden sähkökäyttöisten ajoneuvojen markkinoiden kehittymisen, siten, että julkisia latauspisteitä asennetaan vuoden 2025 loppuun mennessä ainakin Euroopan laajuisen liikenneverkon (TEN-T) runkoverkon varrella kaupunkitaajamissa, lähiöissä ja muilla tiheästi asutuilla alueilla. Ohjeellisesti voidaan sanoa, että latauspisteitä olisi oltava keskimäärin vähintään yksi kymmentä autoa kohti ottaen huomioon myös autotyyppi, latausteknologia ja käytettävissä olevat yksityiset latauspisteet. Asianmukainen määrä julkisia latauspisteitä olisi asennettava erityisesti julkisen liikenteen asemille, kuten satamien matkustajaterminaaleihin, lentoasemille ja rautatieasemille. [1]

Sähkökäyttöisen ajoneuvon omistavat yksityishenkilöt ovat suuressa määrin riippuvaisia mahdollisuudesta käyttää latauspisteitä joukkopysäköintialueilla, kuten kerrostalojen sekä toimisto- ja liikekiinteistöjen pysäköintialueilla. Viranomaisten olisi toteutettava ajoneuvojen käyttäjiä auttavia toimenpiteitä varmistamalla, että kiinteistökehittäjät ja kiinteistöjen hoitajat rakentavat tarvittavan infrastruktuurin, jossa on riittävästi sähkökäyttöisten ajoneuvojen latauspisteitä. [1]

Jäsenvaltioiden olisi varmistettava, että niihin rakennetaan julkinen infrastruktuuri moottoriajoneuvojen sähköjakelua varten. Jotta jäsenvaltioiden kansallisissa toimintakehyksissä määriteltäisiin asianmukainen määrä julkisia latauspisteitä, jäsenvaltiot voivat ottaa huomioon alueellaan olemassa olevien julkisten latauspisteiden määrän sekä latauspisteitä koskevat eritelmät, jotta ne voisivat päättää pisteiden käyttöönottoimien keskittämisestä normaaliin tai suuritehoiseen voimanjakeluun. [1]

2.1.3 Vedyn tankkaukseen liittyviä osuuksia

Vedyn jakelua maantieliikennettä varten on käsitelty direktiivin 5. artiklassa. Jäsenvaltioiden, jotka päättävät sisällyttää vetytankkauspaikat kansallisiin toimintakehyksiinsä, olisi varmistettava, että moottoriajoneuvoja varten rakennetaan julkinen vetytankkausinfrastruktuuri viimeistään vuoden 2025 loppuun mennessä, jolla varmistetaan vetykäyttöisten moottoriajoneuvojen liikkuminen jäsenvaltioiden määrittelemissä verkostoissa. Tarvittaessa olisi otettava huomioon rajat ylittävät yhteydet, jotta vetykäyttöiset moottoriajoneuvot voivat liikkua koko unionin alueella. [1]

2.1.4 Kaasun tankkaukseen liittyviä osuuksia

Unionissa on tällä hetkellä käytössä noin 3 000 maakaasukäyttöisten ajoneuvojen tankkauspaikka. Uusia tankkauspaikkoja voitaisiin ottaa käyttöön ja niihin voitaisiin syöttää maakaasua unionin olemassa olevan hyvin kehittyneen jakeluverkon alueella edellyttäen, että kaasun laatu kelpaa käytettäväksi nykyistä ja edistynyttä teknologiaa hyödyntävissä maakaasukäyttöisissä ajoneuvoissa. Nykyistä maakaasun jakeluverkkoa voitaisiin täydentää paikallisilla tankkauspaikoilla, joissa olisi paikallisesti tuotettua biometaania. [1]

Maakaasun jakelua liikennettä varten on käsitelty direktiivin 6. artiklassa. Jäsenvaltioiden olisi varmistettava kansallisten toimintakehysten avulla, että moottoriajoneuvoja varten rakennetaan asianmukainen määrä julkista infrastruktuuria paineistetun maakaasun (CNG) tai paineistetun biometaanin jakelua varten ainakin nykyisen Euroopan laajuisen liikenneverkon (TEN-T) runkoverkon varrelle, jotta paineistettua maakaasua käyttävien moottoriajoneuvojen liikkuminen on mahdollista kaupunkitaajamissa, lähiöissä ja muilla tiheästi asutuilla alueilla sekä kaikkialla unionissa. Direktiivissä on lisäksi säädetty nesteytetyn maakaasun tankkauspaikkoja raskaan liikenteen ja meriliikenteen tarpeisiin. [1]

Rakentaessaan verkkoja paineistetun maakaasun moottoriajoneuvoihin jakelua varten jäsenvaltioiden olisi varmistettava, että asennetaan julkisia tankkauspaikkoja, ottaen huomioon paineistettua maakaasua käyttävien moottoriajoneuvojen vähimmäistoimintamatkan. Ohjeellisesti esitetään, että tankkauspaikkojen välisen keskietäisyyden olisi oltava n. 150 km. Markkinoiden toiminnan ja yhteentoimivuuden varmistamiseksi moottoriajoneuvoille tarkoitetuissa paineistetun maakaasun kaikissa tankkauspaikoissa jaettava kaasun laadun olisi sovellettava nykyistä ja edistynyttä teknologiaa hyödyntäviin, paineistettua maakaasua käyttäviin ajoneuvoihin. [1]

2.1.5 Latauspisteitä koskevat tekniset eritelvät

Sähkökäyttöisten ajoneuvojen normaalitehoiset vaihtovirtalatauspisteet on varustettava yhteentoimivuuden varmistamiseksi vähintään standardissa EN 62196-2 kuvailuilla tyyppin 2 pistorasioilla tai ajoneuvon liittimillä. Yhteensopivuuden ylläpitämiseksi tyyppin 2 kanssa nämä pistorasiat voidaan varustaa esimerkiksi mekaanisilla sulkimilla. [1]

Sähkökäyttöisten ajoneuvojen suuritehoiset vaihtovirtalatauspisteet on varustettava yhteentoimivuuden varmistamiseksi vähintään standardissa EN 62196-2 kuvailuilla tyyppin 2 liittimillä. [1]

Sähkökäyttöisten ajoneuvojen suuritehoiset tasavirtalatauspisteet on varustettava yhteentoimivuuden varmistamiseksi vähintään standardissa EN 62196-3 kuvailuilla tyyppin "Combo 2" liittimillä. [1]

2.1.6 Moottoriajoneuvojen vetytankkauspisteitä koskevat tekniset eritelvät

Moottoriajoneuvoissa polttoaineena käytettävän kaasumaisen vedyn ulkona sijaitsevien tankkauspisteiden on oltava asianomaisen kaasumaisen vedyn tankkausasemia koskevat tekniset eritelvät sisältävän standardin ISO/TS 20100 (Gaseous Hydrogen Fuelling specification) mukainen. [1]

Vetytankkauspisteistä jaettavan vedyn puhtauden on oltava ISO 14687-2 -standardiin sisältyvien teknisten eritelmien mukainen. [1]

Vetytankkauspisteissä on käytettävä tankkausalgoritmeja ja laitteita, joiden on oltava standardin ISO/TS 20100 (Gaseous Hydrogen Fuelling specification) mukaiset. [1]

Kaasumaisen vedyn tankkaukseen tarkoitettujen moottoriajoneuvojen liittimien on oltava moottoriajoneuvojen tankkausliittimiä koskevan ISO 17268 -standardin mukaiset. [1]

2.1.7 Maakaasun tankkauspisteitä koskevat tekniset eritelvät

Paineistetun maakaasun (CNG) liittimien/säiliöiden on oltava Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomission (UN/ECE) säännön nro 110 (jossa viitataan ISO 14469 -standardin osiin I ja II) mukaiset. [1]

2.2 Turvallisuuteen liittyviä EU-tason säädöksiä

Keskeisiä palo- ja räjähdysvaaran torjuntaan liittyviä säädöksiä ovat:

- ATEX-laitedirektiivi, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 94/9/EY räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäväksi tarkoitettuja laitteita ja suojajärjestelmiä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä
- ATEX-työolosuhdedirektiivi, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 1999/92/EY vähimmäisvaatimuksista räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamalle vaaralle mahdollisesti alttiiksi joutuvien työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden suojelun parantamiseksi
- Seveso II-direktiivi, Euroopan neuvoston direktiivi 96/82/EY vaarallisista aineista aiheutuvien suuronnettomuusvaarojen torjunnasta (Seveso III-direktiivi eli parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/18/EU vaarallisista aineista aiheutuvien suuronnettomuusvaarojen torjunnasta annettu 4.7.2012, kumoaa Seveso II-direktiivin 1.6.2015).

Painelaiteturvallisuuteen liittyviä säädöksiä ovat

- Painelaitedirektiivi eli Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 97/23/EY painelaitteita koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä
- Kuljetettavat painelaitteet -direktiivi eli Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/35/EU kuljetettavista painelaitteista.

Koneturvallisuuden liittyviä säädöksiä ovat

- Konedirektiivi eli Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta (uudelleenlaadittu).

Sähköturvallisuuden liittyviä säädöksiä ovat

- Pienjännitedirektiivi eli Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/95/EY tietyllä jännitealueella toimivia sähkölaitteita koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä
- EMC-direktiivi eli Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/108/EY sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä ja direktiivin 89/336/ETY kumoamisesta

Työntekijän turvallisuuden varmistamiseen liittyvä säädös on Työsuojelun puitedirektiivi eli Neuvoston direktiivi 1989/391/ETY toimenpiteistä työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden parantamisen edistämiseksi työssä.

Erityisesti vedyn tankkauslaitteita käsitteleviä kansainvälisiä standardeja ja ohjeita ovat

- ISO 17268:2006: Compressed hydrogen surface vehicle refuelling connection devices, käsittelee kaasumaisen vedyn tankkausaseman ja ajoneuvon välisen liitoksen suunnittelua, turvallisuutta ja käyttöä.
- SAE J2600: Compressed Hydrogen Surface Vehicle Refuelling Connection Devices, sovelletaan vetytankkauslaitteisiin, joiden toimintapaine on 25 MPa, 35 MPa, 50 MPa tai 70 MPa; sovelletaan suuttimiin ja liittimiin, joiden tavoitteena on estää ajoneuvon tankkaaminen liian korkeapaineisella vedyllä, mahdollistaa tankkaaminen oikealla tai matalampipaineisella vedyllä, estää muiden kaasujen tankkaaminen ja estää vedyn tankkaaminen muita kaasumaisia polttoaineita käyttäviin ajoneuvoihin.
- SAE J2799: 70 MPa Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fuelling Connection Device and Optional Vehicle to Station Communications, Määrittelee ajoneuvojen tankkaukseen käytettävien laitteistojen vaatimukset käytettäessä 70 MPa painetta
- ISO/TS 20100:2008: Gaseous hydrogen - Fuelling stations, Käsittelee ajoneuvojen käyttöön tarkoitettujen, ulkotiloissa sijaitsevien yleisessä ja ei-yleisessä käytössä olevien vedyn tankkausasemien suunnittelua, käyttöä ja kunnossapitoa.
- SAE J2601: Fuelling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles, määrittelee turvallisuusrajat ja tehokkuusvaatimukset kaasumaisen vedyn tankkaukselle.
- ISO/TR 15916:2004: Basic considerations for the safety of hydrogen systems, sisältää ohjeita koskien kaasumaisen ja nestemäisen vedyn käyttöä ja käsittelyä.

2.3 Turvallisuuden liittyviä kansallisia säädöksiä

Keskeisiä sovellettavia kansallisia säädöksiä on kuvattu alla.

Kemikaalilaki ja -asetus

- 3.6.2005/390 Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta
- 20.12.2012/855 Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta
- 27.4.1989/421 Valtioneuvoston päätös vaarallisia aineita sisältävistä säiliöistä ja niiden merkinnöistä

Palavia nesteitä koskevat säädökset

- 9.6.1998/415 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös vaarallisten kemikaalien käsittelystä ja varastoinnista jakeluasemalla
- 23.2.2000/181 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös bensiinin käsittelystä ja varastoinnista

Palavia kaasuja koskevat säädökset

- 15.3.2000 Turvatekniikan keskus (TUKES) Muistio Maakaasusäädösten soveltaminen biokaasuun. Maakaasusetuksen (1058/1993) 5 §:n mukaan maakaasusetusta so-

velletaan biokaasun tekniseen käyttöön sekä biokaasun talteenottoon, siirtoon, jakeiluun ja käyttöön tarkoitettuihin putkistoihin ja laitteisiin. Asetusta ei kuitenkaan sovelleta biokaasun valmistukseen ja siihen välittömästi liittyvään käyttöön ja varastointiin.

Maakaasuputkistoja, kaasulaitteita ja niiden asennuksia koskevat säädökset (osin päällekkäistä edellisen kanssa)

- 390/2005 Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta
- 551/2009 Valtioneuvoston asetus maakaasun käsittelyn turvallisuudesta
- 1286/1993 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös kaasuasennuksista / Muutos: 1200/1995
- 1434/1993 Kaasulaiteasetus / Muutokset: 804/1994 ja 1169/1995

Säädökset palo- ja räjähdysvaaran torjuntaan (ATEXin pohjalta)

- 18.6.2003/576 Valtioneuvoston asetus räjähdyskelpoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta
- 27.11.1996/918 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös räjähdysvaarallisiin ilmaseoksiin tarkoitetuista laitteista ja suojausjärjestelmistä

Painelaitteita koskevat säädökset

- 869/1999 Painelaitelaki
- 10.9.1999/890 Asetus painelaitelaissa tarkoitetuista tarkastuslaitoksista
- 22.9.1999/917 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös yksinkertaisista painesäiliöistä
- 30.9.1999/938 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaitteista
- 18.10.1999/953 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös painelaiteturvallisuudesta

Sähköturvallisuuteen liittyvät säädökset

- Sähköturvallisuuslaki
- 17.12.1999/1193 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta
- 30.12.1993/1694 Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteiden turvallisuudesta
- 27.12.2007/1466 Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta

Pelastustoimeen liittyviä kansallisia säädöksiä

- 379 / 2011 Pelastuslaki
- 407/2011 Valtioneuvoston asetus pelastustoimesta

2.4 Standardit, viranomais määräykset ja ohjeet

Keskeiset standardit ja ohjeet, joita sovelletaan vedyn ja kaasun tankkaukseen sekä sähköautojen lataukseen:

- Sähköturvallisuusstandardit
- Sähköajoneuvojen lataukseen liittyvät standardit (standardien sisältöä ja käytännön vaikutuksia on kuvattu lisää kappaleessa 2.7)
 - EN 62196
 - EN 61851-1
 - EN 61851-23
 - SFS 6000-7-722
 - SFS 6000-8-813
- Sähköasennusstandardit (EN 60364)
- Nestekaasua ja palavia kaasuja koskevat standardit
 - SFS-käsikirjasarja numero 58: Palavien kaasujen käyttölaitosten suunnittelussa, rakentamisessa, tarkastamisessa ja käytössä tarvittavat keskeisimmät säädökset, viranomaisohjeet ja standardit.
- Suunnitteluohje maa- ja biokaasun tankkausasemille (Suomen kaasuyhdistys ja TuKes)
- Sähköajoneuvojen lataaminen kiinteistöjen sähköverkoissa -lataussuositus (Sesko)

2.5 Yhteenvedo maa- ja biokaasuun liittyvistä säädöksistä tämän selvityksen näkökulmasta

Kaasun tankkausasemien sijoittumisen yleiset edellytykset ja vaatimukset ovat:

- Maankäyttö- ja rakennuslain määräykset (yhtenevä muuhun rakentamiseen)
- Rakennuslupa (huolto- jakelu- ja liikenneasema), toimenpidelupa (automaattiasema)
- Asemakaava- ja yleiskaavamääräykset
- Ympäristönsuojelulain 86/2000 määräykset
- Ympäristönsuojeluasetus 169/2 ja muut säädökset
- KTM:n määräykset vaarallisten kemikaalien varastoinnista ja käsittelystä jakeluasemilla
- Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 3.6.05 / 390
- Jakeluasemastandardi (SFS 3352)

Kaasutekniikkaan ja kaasun turvallisuuteen liittyvän lainsäädännön perustana toimii laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (390/2005). Tarkemmat säädökset ja vaatimukset ovat valtioneuvoston asetuksessa maakaasun käsittelyn turvallisuudesta (551/2009). Kaasulaitteita koskevat vaatimukset on annettu kaasulaitteasetuksessa (1434/1993).

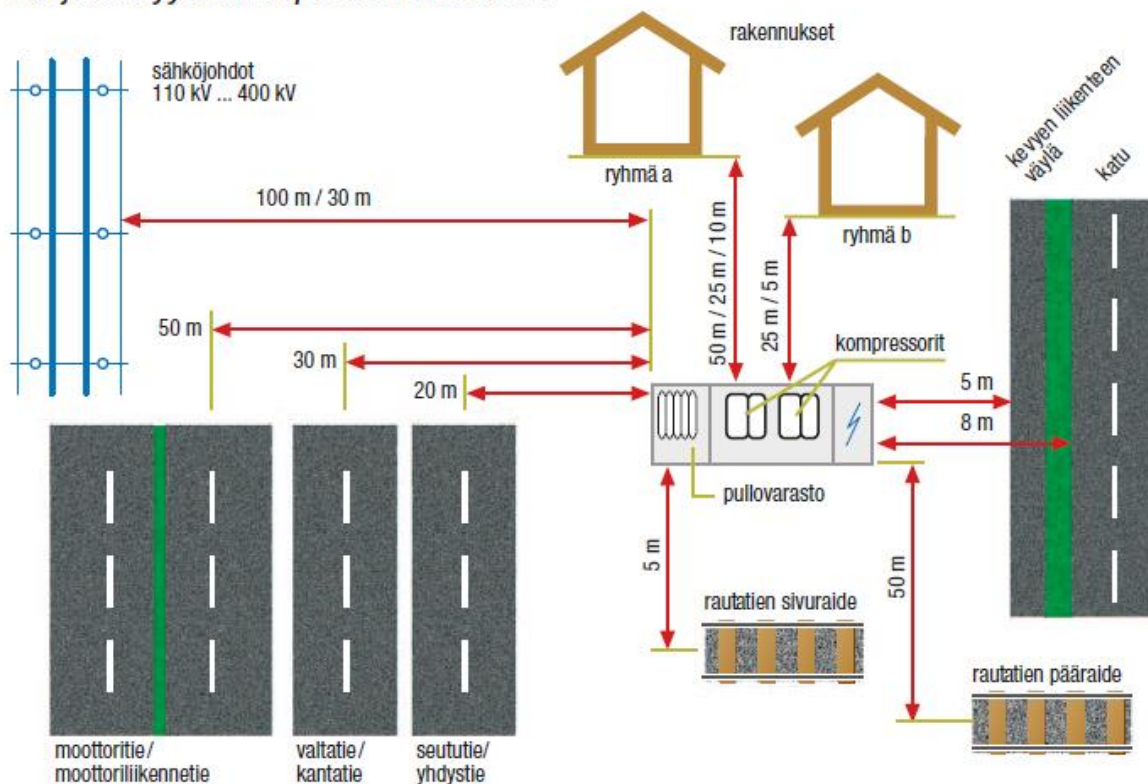
Suomen kaasuyhdistys on yhdessä Turvallisuus- ja kemikaaliviraston (Tukes) kanssa julkaissut suunnitteluohjeen maa- ja biokaasun tankkausasemille. Suunnitteluohjeesta löytyvät perusohjeet tankkausasemien sijoittamiselle sekä tekniset vaatimukset, merkinnät, tarkastukset sekä käyttöön ja kunnossapitoon liittyvät asiat.

Merkittävin suunnitteluun ja kustannuksiin vaikuttava tekijä ovat tankkausaseman vaatimat suojaetäisyydet esimerkiksi muista rakennuksista ja teistä. Tankkausaseman laitteistojen, varastosäiliöiden, kompressorien sekä tankkauspisteiden, tulee sijaita vähintään 4 metrin etäisyydellä kiinteistön rajasta. Tankkausaseman laitteistot tulee sijoittaa siten, että räjähdysvaaralliseksi luokiteltavat tilat eivät ulotu asema-alueen kiinteistörajajen ulkopuolelle. Siirtoputkistoon liittyvän tankkausaseman vähimmäisetäisyys ulkopuolisista kohteista (rakennuksista) on 25 m tai 50, kun (kaasupaine >16 bar). Tulopaineen ollessa alle 16 ovat vaadittavat suojaetäisyydet rakennuksiin 5-25 m, kaasuväestön toteutuksesta riippuen. Suojaetäisyydet ovat vähimmäisetäisyyksiä kaasuväestöstä ja kompressoriyksikön suojarakennuksesta. Varsinainen tankkauspiste voi sijaita lähempänä rakennuksia [2].

Rakennukset luokitellaan lainsäädännössä kahteen eri ryhmään niille aiheutuvan riskin ja käyttö-tarkoituksen mukaan. **Ryhmään A** kuuluvat yleiset kokoontumiseen tarkoitetut rakennukset: majoitushuoneistot (hotelli, sairaala, vanhainkoti), kokoontumishuoneistot (koulu, elokuvateatteri, suurmyymälä), asuinhuoneistot (kerrostalo). Lisäksi ryhmään A kuuluu räjähteitä valmistava, varastoiva tai käytävä laitos sekä vaarallisia kemikaaleja teollisesti käsittelevä tai varastoiva laitos. **Ryhmään B** kuuluvat asuinhuoneistot (omakotitalo, rivitalo), työpaikkahuoneistot tai muut kuin asumiseen tarkoitetut rakennukset, missä ihmisiä säännöllisesti oleskelee sekä erillinen rajattu alue. Maakaasun tankkausaseman etäisyydet kohteista on esitelty alla olevassa taulukossa.

Rakennusten ja teiden lisäksi omia suojaetäisyyksiä on esimerkiksi ilmassa kulkevilla sähköjojoilla.

Suojaetäisyydet ulkopuolisiin kohteisiin



Kuva 1 Yhteenveto suojaetäisyyksistä [2].

2.6 Yhteenveto vedyn tankkaukseen liittyvistä säädöksistä tämän selvityksen näkökulmasta

Suomen lainsäädäntöön kuuluvia säädöksiä, joihin sisältyy vedyn käyttöä ja vetytankkausasemia koskevia vaatimuksia ovat esimerkiksi kemikaali-, ATEX-, painelaitte-, pelastus- ja rakennussäädökset. Myös muissa säädöksissä on kemikaaleja, sähkölaitteita, ohjausjärjestelmiä jne. koskevia vaatimuksia, jotka koskevat tai voivat koskea myös vetytankkausasemia.

Asetuksen 59/1999 mukaisesti vedyn teollinen käsittely ja varastointi on laajamittaista, jos vetyä on tuotantolaitoksessa vähintään 2 tonnia. Tätä pienemmillä määrillä vedyn käsittely luokitellaan vähäiseksi. Vetytankkausasemilla varastoitavan vedyn määrä ei ole niin suuri, että toiminta olisi laajamittaista. Vetytankkausasemilla tapahtuva vedyn käsittely ja varastointi on siis asetuksen 59/1999 mukaisessa tarkoituksessa luokiteltavissa vähäiseksi.

Vedyn vähäinen teollinen käsittely ja varastointi on ilmoituksenvaraista, jos vetyä on tuotantolaitoksessa vähintään 0,1 tonnia (100 kg). Ilmoitus tehdään pelastusviranomaiselle ennen käsittelyn tai varastoinnin aloittamista. Pelastusviranomaisen tarkastaa vähäistä teollista käsittelyä tai varastointia harjoittavan, ilmoitusvelvollisen tuotantolaitoksen, kuten vetytankkausaseman, kolmen kuukauden kuluessa toiminnan aloittamisesta.

Vetytankkausasemia koskevat myös kemikaaliturvallisuuslakiin (390/2005) sisältyvät räjähdysten estämiseen ja räjähdyksiltä suojautumiseen liittyvät velvoitteet.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöstä painelaiteturvallisuudesta (953/1999) sovelletaan mm. kuljetettavien painelaitteiden (esimerkiksi vetysäiliöiden) sijoitukseen, käyttöön ja niihin liittyvään tarkastukseen.

Rakentamiseen liittyviä tärkeimpiä säädöksiä ovat Maankäyttö- ja rakennuslaki ja Maankäyttö- ja rakennusasetus. Rakentamiseen liittyviä lupia ovat rakennuslupa ja toimenpidelupa. Vetytankkausasemien osalta yhteydenpito kunnan rakennusvalvontaviranomaisen kanssa tarvitaan jotta selkeimmät toimintaohjeet saadaan.

Suomessa ei toistaiseksi ole vetytankkausasemia koskevia viranomaisohjeita. Edellisessä kappaleessa mainittua suunnitteluohjetta maa- ja biokaasun tankkausasemille ei sellaisenaan voi käyttää vetytankkausasemien suunnitteluohjeena, mutta siinä on kohtia, jotka soveltunevat myös vetytankkausasemille [3].

2.7 Yhteenveto sähköajoneuvojen lataukseen liittyvistä säädöksistä tämän selvityksen näkökulmasta

Latauspisteiden pistokytkimiä koskevat standardit EN 62196-1 ja EN 62196-2 on julkaistu vuoden 2011 lokakuussa. Standardeilla määritetään pistokytkimien rakenne- sekä testausvaatimukset

Sähköauton latauksessa on käytössä kolme erityyppistä latauspistokytkintä:

- Tyyppi 1 on USA:ssa ja Japanissa käytössä oleva yksivaiheinen maksimissaan 32 A pistokytkin, joka tunnetaan nimellä Yazaki ja SAE J1772.
- Tyyppi 2 on koko Euroopassa käytössä oleva, alkujaan saksalainen, nykyisin myös italialaisten ja ranskalaisten käyttämä pistokytkin - maks. 70 A yksivaiheisena tai kolmivaiheisena maks. 63 A. Tyyppi 2 tunnetaan paremmin kaupanimestään Mennekes. Euroopan komissio on suosittanut, että Tyyppi 2 tulee olemaan vallitseva standardi Euroopassa.
- Tyyppi 3 on standardoitu pistokytkin maks. 32 A yksivaiheisena tai kolmivaiheisena maks. 63 A. Se on kuitenkin jäämässä sivuun EU:n ehdotuksen myötä.

Sähköautojen lataukseen on käytössä on neljä erilaista lataustapaa:

- Mode 1 – hidas lataustapa. Lataus tehdään tavallisesta vikavirtasuojatusta shukopistorasiasta maksimissaan 16 A virralla. Sitä käytetään yleensä vain pienkoneissa ja esim. mopoautojen latauksessa.
- Mode 2 – tilapäinen lataustapa, jossa on kiinteästi latauskaapeliin sijoitettu suojalaite.
- Mode 3 – peruslataustapa, jossa lataaminen tapahtuu erillisestä lataamiseen suunnitellusta asemasta, ja jossa ladattava auto ja asema "keskustelevat" latauskaapelin kautta keskenään.
- Mode 4 – tehollataus, jossa käytetään suuritehoista tasasähköä. Käyttö esimerkiksi palveluasemilla ja muissa paikoissa, joissa tarvitaan nopeaa latausta

Näiden lisäksi sähköautojen lataukseen on kehitetty induktiivista eli langatonta latausta. Toistaiseksi sen käyttö on kuitenkin ollut vähäistä.

Sähköautojen pikalautuksen standardeja ovat

- CCS (Combined Charging System) tai Combo. CCS -latauksessa yhdistetään autoon yksi- ja kolmivaiheinen vaihtovirtalataus ja tasavirtalataus sekä julkisille paikoille sopiva erikoisnopea tasavirtalataus. Tämä on hallitseva järjestelmä Euroopassa ja USA:ssa.
- CHAdeMO on tasavirtakäyttöön perustuva japanilainen latausstandardi, jota käyttävät mm. Nissan, Toyota ja Mitsubishi.
- Chameleon on Renaultin käyttämä ratkaisu. Muunnin on sijoitettu autoon ja autoa voidaan ladata maks. 43 kW vaihtovirralla. Latausasemat ovat tässä järjestelmässä vaihtoehtoisia ratkaisuja edullisempia.

Latausasemat voidaan varustaa molempien standardien (CCS ja CHAdeMO) mukaisesti ja niihin voidaan sijoittaa myös vaihtovirtalataukselle sopiva lisäpistorasia.



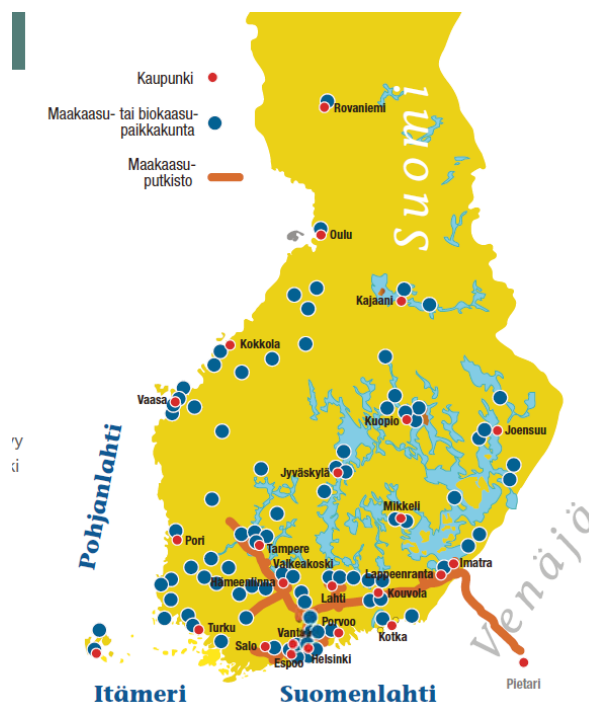
Kuva 2 Multistandardi vs. yksittäiset tankkauspisteet [4]

3. BENCHMARK: ESIMERKKEJÄ VAIHTOEHTOISTEN POLTOAINEIDEN JAKELUN RATKAISUISTA

3.1 Liikennekaasun jakeluasemia Suomessa

Suomessa on 25 kaasuautojen julkista tankkausasemaa, joista 20 on Gasumin omistamia (tilanne syyskuussa 2014). Tankkausasemaverkosto kehittyy nopeasti kaasuverkon alueella, mutta biokaasun myötä tankkausasemaverkosto laajentuu myös kaasuverkon ulkopuolelle. Envor Biotechin biokaasun tankkausasema avattiin joulukuussa 2013 ja Joutsan Ekokaasu Oy:n asema avattiin maalikuussa 2014. Lisäksi on selvitetty lähtökohtia useille tankkausasemahankkeille ja useita on selvityksen alla.

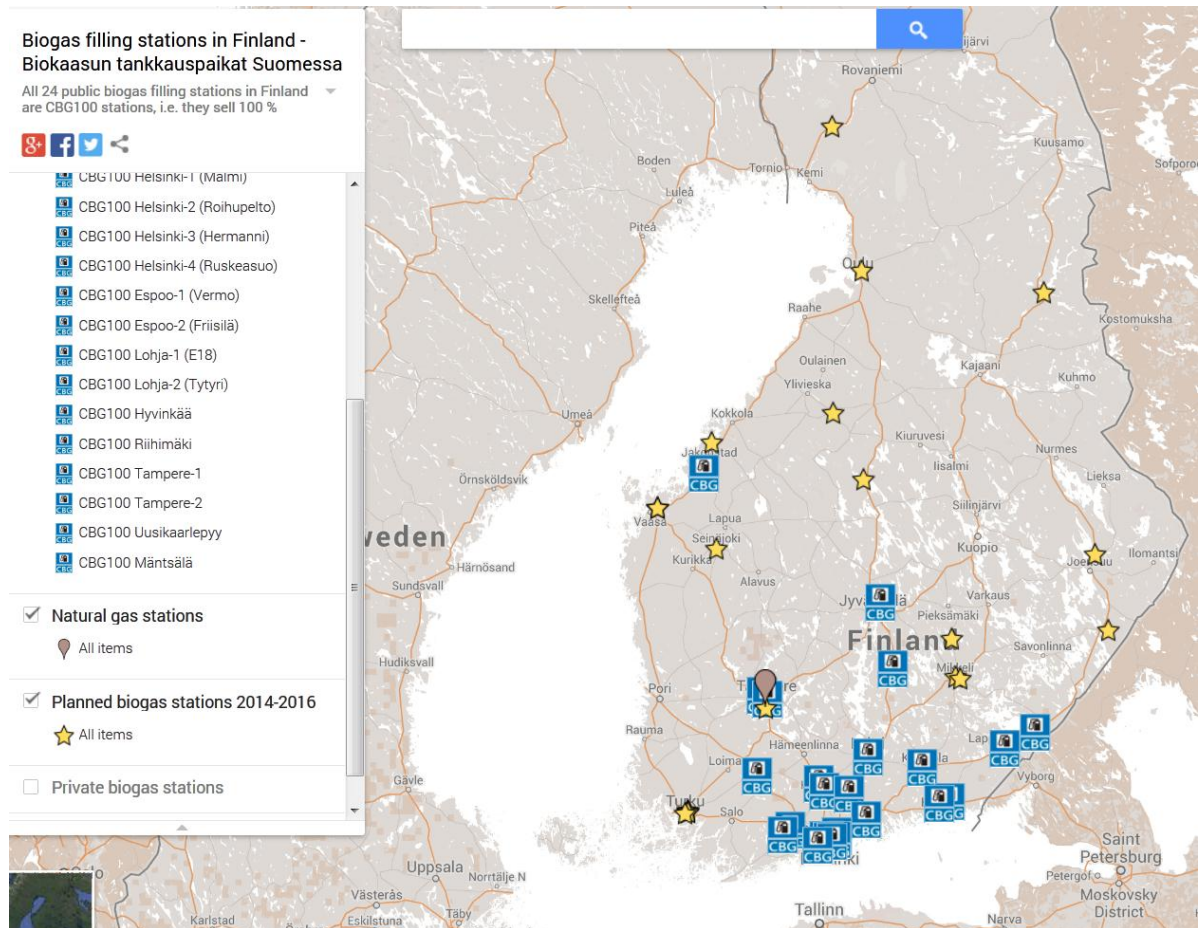
Seuraavassa kuvassa on esitetty Suomen biokaasutuotantolaitosten ja kaasuverkoston sijainti:



Kuva 3 Suomen biokaasuntuotantolaitosten ja kaasuverkoston sijainti [5]. [4]

Vaasassa kaupunki on sitoutunut ostamaan 12 kaasubussia, jotka käyttävät paikallisesti tuotettua biokaasua. Liikenne aloitetaan keväällä 2015, ja samalla avataan myös julkinen biokaasun tankkauspaiste.

Biokaasun jakelua helpottaa nesteytetty maakaasu LNG, joka voi toimia tulevaisuudessa biokaasun tankkausasemilla varapolttoaineena.



Kuva 4 Bio- ja maakaasun tankkausasemat Suomessa [6]

Joutsan Ekokaasu Oy on yksi viimeisimpiä toteutettuja hankkeita. Gasum on siinä mukana n. 10% omistussuhteella. Laitos käsittelee 7 000 tonnia/a lietteitä ja biojätteitä tuottaen n. 2 GWh/a biokaasua. Tankkauspaiste sijaitsee n. 100 m etäisyydellä VT 4:stä Joutsan taajaman kohdalla.



Kuva 5 Joutsen Ekokaasu, biokaasun tankkausasema [7].

3.2 Vedyn tankkausasemat Suomessa

Ensimmäinen vetytankkausasema otettiin käyttöön tammikuussa 2012 Arctic Driving Centerissä, joka halusi tarjota autovalmistajille vetykäyttöisten polttokennoajoneuvojen testausmahdollisuuden. Vedyn tankkaus toteutettiin yhteistyössä Oy Woikoski Ab:n kanssa, joka vuokrasi vetytankkausaseman tanskalaiselta H2Logicilta. Asema on siirrettävä, 30 jalan (eli 9 metrin) merikonttiin rakennettu vetytankkausasema, joka tuotiin Tanskasta maantiekuljetuksena. Tankkausasema sijoitettiin sitä varten valetun betonilaatan päälle. Tankkausasemaan korkeapainevarastoihin mahtuu yhteensä 37,4 kg vetyä. Korkeapaine-varastojen lisäksi tankkausasemassa on matalamman paineen varasto, 16,8 kg vetyä. Rovaniemen vetytankkausasemalla pystyttiin tankkaamaan ajoneuvoja, joiden käyttämän vedyn maksimipaine on 700 bar. Tankkausaseman kapasiteetti on noin 30 kg vetyä/vrk. Tämä mahdollistaa noin 10 ajoneuvon tankkaamisen vuorokaudessa. Woikoski toimitti tankattavan vedyn pullokonttilavoilla 200 bar paineessa.

Oy Woikoski Ab:n ensimmäinen omaa tuotantoa oleva vedyn tankkausasema esiteltiin Voikoskella 23.1.2014. Tankkausasemaa testataan Suomen ensimmäiseen polttokennovetyautoon. Vety täytetään ajoneuvoon joko 350 tai 700 barin paineella. Muutamia minutteja kestäväällä täytöllä auto kulkee noin 600 km. Tankkausasema rakentuu kolmesta pääosasta: komprimointiyksiköstä, puskurivarastosta ja annosteluyksiköstä. Vety tuodaan tankkausasemalle joko muualta tuotantolaitoksilta tai valmistetaan paikan päällä. Vetyä valmistetaan vedestä elektrolyysillä, höyryreformoimalla sitä maakaasusta tai biokaasusta tai hyödyntämällä esim. kemianteollisuuden eri prosesseista sivutuotteena syntyvää vetyä.



Kuva 6 Vedyn tankkausasema [8]

Woikoski avasi 19.3.2014 toisen vedyn tankkausaseman Vuosaaren satamassa Helsingissä.

Vedyn liikennekäyttöön liittyen Woikoski tekee yhteistyötä Tekesin, Lappeenrannan Teknillisen Yliopiston sekä VTT:n kanssa, jonka kautta yhteistyökanava on auki johtavaan vetytutkimusyliopistoon Fukuokaan Japanissa [3][8].

3.3 Sähköautojen latauspisteet Suomessa

Suomessa oli vuoden 2013 elokuussa 261 julkista latauspistettä, joista yhdeksän oli pikalatauspisteitä. Syksyllä 2013 17 keskeistä kotimaista energiayhtiötä perusti sähköautojen latausoperaattoriyhtiö Liikennevirta Oy:n, ja tavoitteeksi asetettiin että kesään 2014 mennessä pikalatauspisteiden määrä kaksinkertaistuu.

Syksyllä 2014 pääkaupunkiseudulla on hieman yli 30 latausasemaa ja niissä yhteensä lähes 100 latauspistettä. Pääkaupunkiseudun lisäksi latauspisteitä on suurissa kaupungeissa ja valtateiden varsilla [9]

Suomen julkiset sähköautojen latausasemat ja pisteet 14.5.2014 on esitetty seuraavassa taulukossa[9]:

Taulukko 1 Suomen julkiset sähköautojen latausasemat ja pisteet 14.5.2014 [9]

Latausasema	Kunta	Pisteiden lkm	Lataustapa
ABC Deli Pohjois-Tapiola	Espoo	1	pika
P-Kaupinkallio / Tapiola	Espoo	7	hidas
S-market Nihtisilta	Espoo	4	normaali
Kauppakeskus Sello	Espoo	4	hidas
ABC Nihtisilta	Espoo	1	pika
McDonald's Ala-Tikkurila	Helsinki	1	normaali
P-Stockmann / Helsinki	Helsinki	6	hidas
P-ElieI	Helsinki	2	hidas
Fredrikinkatu 51-53	Helsinki	1	normaali
Kauppakeskus Kaari	Helsinki	8	hidas
Q-Park Finlandian halli	Helsinki	2	normaali
Pikku Satamakatu 4-6	Helsinki	1	normaali
Pohjoinen Makasiinikatu 9	Helsinki	1	normaali
P-Kluuvi / EuroPark - Hki	Helsinki	2	hidas
Sähkötalo	Helsinki	1	normaali
Sähkötalo Pikalataus	Helsinki	1	pika

Säästöpankinranta 2	Helsinki	1	normaali
Tammasaarenkatu 7	Helsinki	1	normaali
Verkkokauppa.com Jätkäsaari	Helsinki	3	hidas
Prisma Viikki	Helsinki	4	hidas
ABC Hyvinkää	Hyvinkää	1	pika
Kauppakeskus Komppi	Ikaalinen	1	normaali
Seinäjoen lentokenttä	Ilmajoki	1	normaali
ABC Imatra	Imatra	1	pika
Hämeen Auto, automyynti	Jyväskylä	1	normaali
P-Prismakeskus Järvenpää	Järvenpää	2	hidas
Kosmos-rakennus	Kemi	2	pika
Kempeleen Ekokortteli	Kempele	1	normaali
Hotelli Ravintola Alma	Kesälahti	1	normaali
KS1	Kokemäki	1	normaali
ABC Amiraali	Kotka	1	pika
Avain Vaunu, automyynti	Kuopio	2	normaali
Kurikan tori	Kurikka	1	normaali
Hotelli Pitkä-Jussi	Kurikka	1	normaali
Kurikan Lukio	Kurikka	1	hidas
Koulutuskeskus SEDU	Kurikka	1	hidas
Sisustuskeskus Sella	Kurikka	1	normaali
Lahti Energia Oy:n toimitalo	Lahti	2	hidas
ABC Kivimaa	Lahti	1	pika
ABC GrilliMarket Tytyri	Lohja	1	pika
ABC Kuninkaantie	Loviisa	1	pika
Mikkelin Toriparkki	Mikkeli	3	normaali
VTT konttori Linnanmaalla	Oulu	1	normaali
Oulun Energian toimitalon piha	Oulu	1	hidas
P-Stockmann / Oulu	Oulu	4	hidas
Technopolis Sairaalaparkki Parkkihalli	Oulu	3	hidas
Oulun lentokenttä P1	Oulu	162	hidas
ABC Prisma Limingantulli	Oulu	1	pika
Delta Auto - Ensto Chago eFill	Oulu	1	normaali
Nissan Peugeot Seat	Oulu	1	pika
Pilot Business Park	Oulunsalo	1	normaali
Pori Energia	Pori	1	hidas
Aurinkokatos	Porvoo	1	normaali
Ensto EVC Charging Station, Porvoo	Porvoo	1	normaali
Premier Park, Porvoo	Porvoo	3	normaali
Torin parkkipaikka	Porvoo	1	normaali
Rihkamatorin parkkipaikka	Porvoo	1	normaali
Bussipysäkin parkkipaikka	Porvoo	1	normaali
P-Frenckell	Tampere	4	hidas
P-Stockmann / Tampere	Tampere	4	hidas
Sellukatu 1	Tampere	2	normaali
Sähkötalo	Tampere	1	normaali
P-Stockmann / Turku	Turku	4	hidas
Laten Kone	Turku	3	normaali
Alatori 1	Vaasa	4	hidas
ABC Deli Ilola	Vantaa	1	pika
Tikkuparkki	Vantaa	10	hidas
ALD Automotive Koivuhaka	Vantaa	2	normaali
Europcar aviapolis	Vantaa	1	pika
Kauppakeskus Jumbo	Vantaa	5	hidas

3.4 Esimerkki toteutetusta hybridiasemasta: Lohjan Tytyrin ABC

Toteutetusta hybridiasemasta (multifuel-asemasta) esimerkki on Lohjalla ABC GrilliMarket Tytyri, jossa on sekä perinteisten polttonesteiden että bioetanolin RE 85 tankkauspisteet, kaasuautojen tankkauspiste ja sähköautojen pikalatauspiste.

Investoija on Suur-Seudun Osuuskauppa SSO yhteistyössä ABC-ketjun kanssa. Asema on toteutukseltaan pienehkö ABC-liikennemyymälä, investoinnin kokonaisarvon ollessa noin kaksi miljoonaa euroa. Asema avattiin keväällä 2013.

ABC-ketju, Fortum ja Nissan ovat yhteistyössä toteuttaneet sähköautojen pikalatauspisteen. Latauspisteen maksimiteho on 50 kW. Siinä on kaksi tasasähköistä pikalatausvaihtoehtoa sekä CHAdeMO- (esim. Nissan, Mitsubishi), että CCS-standardin (esim. BMW, VW) mukaisten ajoneuvojen lataus. Pikalataus kestää noin 30 minuuttia. Tuona aikana saadaan ladattua 80 prosenttia akkujen varauskapasiteetista [16].

Gasum Oy rakensi samalle tontille liikennekaasun jakelupisteen ja hallinnoi sitä.

3.5 Vihreälle moottoritiele E18 suunniteltu hybridiasema

Vaihtoehtoisten polttoaineiden hybridiasemaa suunniteltiin E18 Vihreä Moottoritie-esiselvityksen yhteydessä vuosina 2010 – 2011. Kohteena oli E18-tien (VT7) Porvoo-Vaalimaa osuus, tarkemmin Pyhtään liittymä. Esiselvitykseen osallistuivat mm. Fortum Oyj, Neste Oil Oyj, St 1 Oy, Ensto Oy, Falck Oy, Loviisan kaupunki, Porvoon kaupunki, Haminan kaupunki, Kymenlaakson liitto ja Itä-Uudenmaan liitto [17].

Tavoitteena oli luoda ekosysteemi ja markkinapaikka kestäville liikenteen palveluille ja teknologioille, joka toimii myös innovaatiotestialustana ja ns. "living lab -konseptina". Uskottiin että tien hiilijalanjälki voidaan puolittaa tavanomaiseen moottoritiehen verrattuna. Tämä olisi edellyttänyt, että uusiutuvien polttoaineiden osuus on 40 % myytävästä polttoaineesta, sähköautojen osuus liikennesuoritteesta on 6 % ja tien varrelle rakennetaan 30 tuulivoimalaa sähköntuotantoa varten [17].



Kuva 7 Kaaviokuva Vihreälle moottoritiele E18 suunnitellusta hybridiasemasta [17]

Liikenneviraston E18 Koskenkylä–Kotka-hanke käsittää nykyisen moottoriliikennetien täydentämisen moottoritieksi Koskenkylästä Loviisaan ja moottoritien rakentamisen Loviisasta Kotkaan. Moottoritiele rakennetaan 6 uutta eritasoliittymää: Loviisan itäinen, Ruotsinpyhtää, Ahvenkoski, Pyhtää, Siltakylä ja Heinlahti. Loviisan läntistä ja Sutelan eritasoliittymää parannetaan. Rakentaminen alkoi marraskuussa 2011. Moottoritie avataan liikenteelle osittain jo vuonna 2013 ja kokonaisuudessaan vuonna 2014. Kaiken kaikkiaan tiejärjestelyt ovat valmiita vuoden 2015 lopussa.

Toteutettavia E18-tien Vihreitä suunnitteluratkaisuja ovat mm. älykäs tievalaistuksen ohjaus, kaapeleiden suojausputkitukset sähköautojen latauspaikoille, liityntäpysäköintipaikat, telematiikka ja älykäs tie koko matkalla. Hybridiasemaa ei ole mainittu näissä suunnitelmissa.

3.6 Mikkeliin suunniteltu monipolttoaineasema (multifuel-konsepti)

Vaihtoehtoisten polttoaineiden monipolttoainejakelusta on viime aikoina kiinnostunut Mikkelin kaupunki, tarkemmin mikkeliläisen kaupunkienemmistöisen kehitysyhtiö Miktechin vetämä kehityshanke, jossa keskustassa sijaitsevalle Satamalahden uudistettavalle alueelle suunnitellaan ekologisia energiaratkaisuja. Yhtenä tällaisena ratkaisuna nähdään monipolttoainejakelu, jossa tavoitteena on yhdistää jakeluasemaan paikallisesti tuotettua biokaasua, sähköä ja vetyä. Hankkeesta on kiinnostunut mm. paikallinen energiayhtiö Etelä-Savon Energia, Ensto Oy, biokaasuntuottaja Biohauki sekä vedyn tuottaja Woikoski Oy.

Nykytila

Keskustelut ovat käynnissä kaavoittajan sekä biokaasun tuottajien ja käyttäjien kanssa. Viitostien varressa asema palvelisi mainiosti myös mm. pääkaupunkiseudulta tulevaa vapaa-ajan liikennettä.

Tämän selvityksen tavoitteita ja tilannetta esiteltiin kiinnostuneille toimijoille Mikkeliissä Bio-Saimaa-kehityshankkeen järjestämissä tilaisuuksissa 11.6.2014 ja 30.9.2014. Molempiin tilaisuuksiin osallistui keskeisiä Mikkelin multifuel-konseptin toimijoita. Toimijoiden kesken syntyi vahva kiinnostus toisaalta hyödyntää tämän selvityksen tuloksia ja toisaalta tarjota selvitykseen case käytännön tarkasteluille, joita on kuvattu tarkemmin luvussa 10.

3.7 Vety- ja hybridiasemia Saksassa

Organisaatio Clean Energy Partnership Projects (CEP) toimii vetyteknologian edistäjänä Saksassa. CEP:n partnereihin kuuluu teknologia-, öljy- ja energiayhtiöitä sekä autovalmistajia. Myös liittovaltiot Baden-Württemberg, Hesse ja North Rhine-Westphalia ovat CEP:n liitännäisjäseniä [18].



Kuva 5 CEP:n partnereita [18]

Syksyllä 2013 Saksassa oli 15 julkista vedyn tankkauspistettä, joista suurinta osaa operoi CEP:hen kuuluva toimija. Kansallinen tavoite on lisätä lukumäärä 50:een vuoteen 2015 mennessä. H2 Mobiliteet-hanke haluaa nostaa lukumäärän 100 asemaan välillä 2015 - 2017 ja 400 asemaan vuoteen 2023 mennessä, kustannusarvio tälle lisäykselle on 350 miljoonaa euroa.

CEP ylläpitää listaa vedyn tankkausasemista Saksassa. Alla on tietoja kahdesta käytössä olevasta hybridiasemasta.

Holzmarktstraße filling station (Linde/Total), Berlin

- Type of station: Public
- Fuels: Conventional fuels, bio natural gas, LPG, charging station, liquid and gaseous hydrogen at 350 und 700 bar
- On-site production: Electrolysis
- Delivery of liquid hydrogen
- Capacity: 5 buses or 50 cars per day

Ilmakuvan mukaan tankkausaseman pohjapinta-ala on noin 40 m x 40 m, ja tankkausaseman yhdessä kulmassa on vetysäiliö. Vetysäiliöstä on noin 40 – 50 m suojaetäisyys rakennuksiin ja tiehen.

Heidestraße filling station (Linde/Total), Berlin

- Type of station: Public
- Fuels: Conventional fuels, natural gas, LPG, charging stations (planned), gaseous hydrogen at 700 bar
- Delivery of hydrogen from the BtH (biomass to hydrogen) facility in Leuna and from wind electrolysis (wind to hydrogen) in Prenzlau
- Capacity: 200 kg / day



Kuva 6 Saksaan suunniteltu 50 vetyaseman verkosto v. 2015. [19]

Uusin TOTALin monopolitoainemasema lähellä Berliinin Schönefeldin lentokenttää avattiin touku-kuussa 2014. Kyseessä oli yli 10 miljoonan euron kokonaisinvestointi, johon osallistuivat projek-tin partnerit TOTAL Deutschland GmbH, Linde AG, McPhy S.A., ENERTRAG AG ja 2G Energy AG. Julkisen rahoituksen osuus oli n. 50 %.



Kuva 7 "Green Hydrogen Hub" (H2BER) Berlin-Schönefeld. H2BER project concept.[20]

Vetyä tuotetaan paikan päällä elektrolyysillä. Kapasiteetti on 500 kW, jolla voidaan tuottaa 200 kg vetyä päivässä, mikä riittää n. 50 auton tankkaukseen.

The CO₂-neutral hydrogen will be produced on site in a McPhy 45-bar pressure electrolyser, which will be operated by ENERTRAG. With a capacity of 500 kW, the application-optimised and extendable alkali electrolyser can produce more than 200 kg of hydrogen per day. That is enough to refuel around 50 fuel cell vehicles. McPhy operates an innovative solid-state storage system with a capacity of 100 kg.

Linde is responsible for the whole hydrogen handling process from production in the electrolyser to the dispenser. This process includes storing the gaseous H₂ in a 45 bar high-level tank, its compression to 900 bar, subsequent high pressure storage and refuelling of cars and buses. Linde also supplies industrial clients with a part of the hydrogen produced on-site.

2G has installed a block heat power plant which is operated using the CO₂-neutral energy sources and can convert the "green" hydrogen into electricity and heat. The power plant can alternatively be operated with natural gas (10% organic) and supplies all of the fuelling station buildings from the H2BER control room and the convenience shop to the car wash.

TOTAL operates two H₂ dispensers at the site, one for cars and one for buses. [18]

Total operoi kahta vedyn tankkauspistettä, toinen on tarkoitettu henkilöautoille ja toinen linja-autoille. Lisäksi asemalla on perinteisiä polttoaineita sekä kaasun tankkauspisteet (CNG, LBG) ja kaksi sähköautojen pikalatauslatauspistettä.

Google Maps-kuvan pohjalta voidaan päätellä päällystetyn tankkausaseman tilantarpeeksi noin 100 m x 100 m alueen, jonka ympärillä on noin 20 metrin suoja-alue.

3.8 Norjan vetytankkausasemat

HyNor-projekti käynnistyi Norjan "Hydrogen highway"-projektina vuonna 2003. Sen käynnistämiseksi oli mukana mm. Statoil ja NorskHydro. Useita vetytankkausasemia rakennettiin Oslost Stavangeriin menevän valtatievarrelle. Ensimmäinen asema avattiin v. 2006 Stavangerin lähelle., seuraava Porsgrunniin v. 2007.

Muita asemia ovat

- Drammen – avattiin v. 2009, orgaanisesta jätteestä tuotetaan biokaasua, jota hyödynnetään vedyn tuotantoon. Integroitu Statoilin asemaan
- Oslo – kuten Drammen
- Lillestrøm- v. 2011, kaatopaikkakaasusta tuotetaan vetyä
- Akershus EnergiPark Skedsmo – avattiin v. 2012

Stavangeria lukuunottamatta kaikki em. asemat ovat toiminnassa

Uusi yhtiö, HyOP, on omistanut ja operoinut asemia kevästä 2012 lähtien. Toiminta on osa "Scandinavian hydrogen highway partnership"-toimintaa.



Kuva 8 Vedyntankkausasema Herøya, Porsgrunn [21]

3.9 USA: The California Hydrogen Highway

Vuonna 2004 kehitettiin konsepti the Hydrogen Highway, jossa suuri määrä vetytankkausasemia olisi rakennettu Kaliforniaan. Taloudellinen taantuma hidasti kehitystä. Marraskuussa 2013 oli USA:ssa vasta 10 vetytankkausasemaa joista 9 Kaliforniassa.

Toukokuussa 2014 "Hydrogen Highway" sai lisärahoitusta, kun California Energy Commission sitoutui investoimaan \$46.6 M vedyn jakeluasemien kehittämiseen. Suunnitelma sisältää 28 uutta tankkausasemaa.

San Diego: hybriditankkausasema

E85, propane, biodiesel, CNG, regular gasoline, diesel and electric car plug-in stations at Pearson Ford Fuel Depot. The station is located at a car dealership that also includes the EcoCenter for Alternative Fuel Education, an alt-fuel promotion center that is a destination for schoolchildren on field trips in the area.[22]

3.10 Valikoituja kustannustietoja suomalaisista liikenneasemista

Ison liikennepalveluaseman rakentaminen valtatievarrelle maksaa tyypillisesti 4–10 miljoonaa euroa. Suur-Seudun Osuuskauppa SSO:n mukaan Lohjan ABC GrilliMarket Tytyrin kokonaisinvestointi on noin kaksi miljoonaa euroa. Tässä kyseessä on pienehkö taajamaan sijoitettu liikenneasema.

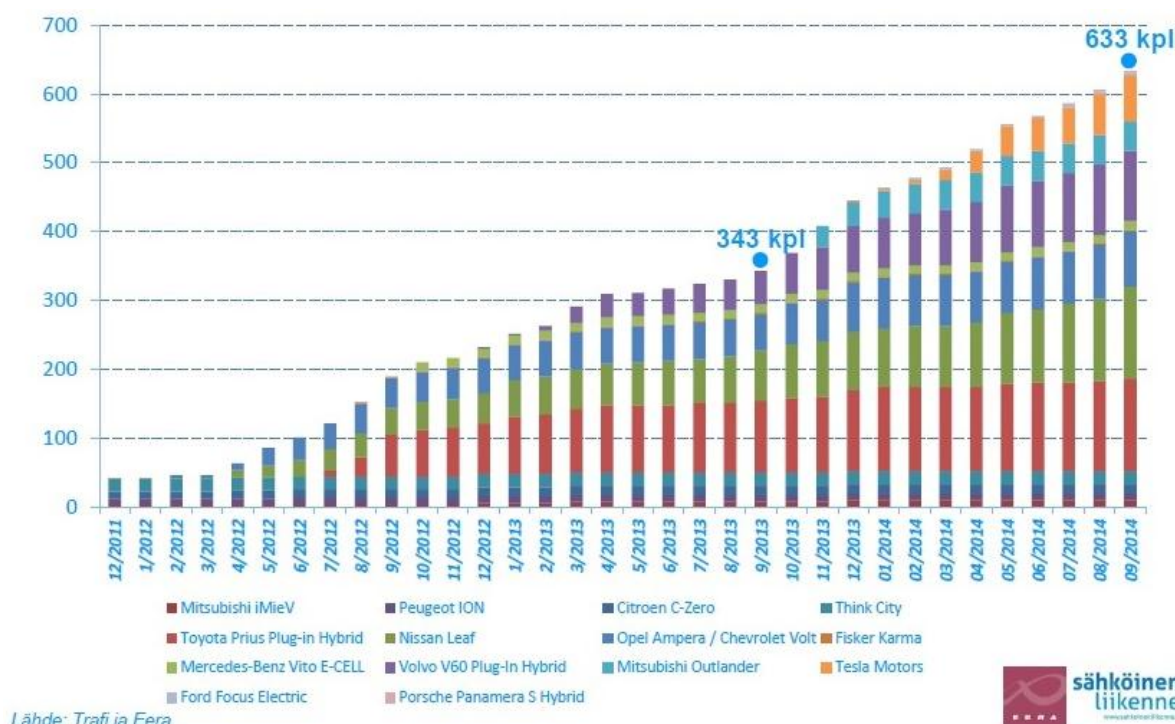
Maapohjan (tontin) hinta vaihtelee voimakkaasti sijaintipaikan mukaan. Alla on kaksi esimerkkiä liikenneasemien tonttien hinnoista.

- Imatran kaupunki myi Korvenkannan kaupunginosasta tontin Etelä-Karjalan EeKoo Kiinteistöt –yhtiölle, jonka tarkoitus on rakentaa 3,5 hehtaarin suuruiselle tontille ABC-liikenneasema. Tontti myytiin noin 700 000 euron hinnalla.
- Espoon kaupunki myi tontin Niipperistä päivittäistavarakauppa-liikenneaseman rakentamista varten. Tontin pinta-ala oli 6 595 m² ja rakennusoikeus 1 979 k-m². Tontin kauppahinta oli 672 860 euroa.

4. ENNUSTEET VAIHTOEHTOISTEN POLTTOAINEIDEN KÄYTÖN KEHITTYMISESTÄ

4.1 Sähköajoneuvot ja tarvittavat latauspisteet

Suomessa on tällä hetkellä (10/2014) reilut 630 ladattavaa sähköautoa (pl. muutos sähköautot) ja niiden määrä on kasvanut nopeasti – sähköautojen määrä on tähän asti lähes tuplaantunut vuosittain. Täyssähköautojen osuus ladattavien autojen määrästä on karkeasti arvioituna hieman yli puolet. Sähköautojen määrän viimeaikainen kehitys on esitetty seuraavassa kaaviossa:



Kuva 9 Sarjavalmistettujen ladattavien sähköautojen kannan kasvu [10]

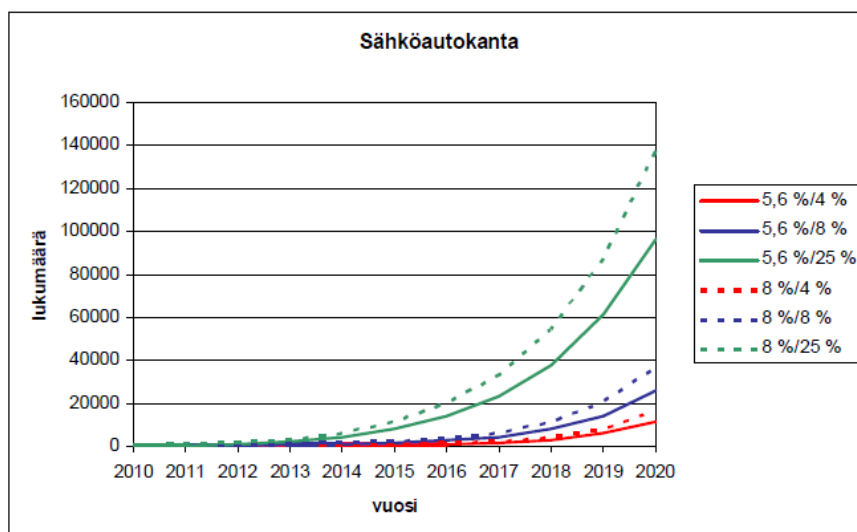
Sähköautojen määrän kehitymisestä on olemassa useita erilaisia skenaarioita ja ennusteita. Liikenne- ja viestintäministeriö on ennustanut vuonna 2011, että Suomen sähköautokanta vuonna 2020 voisi olla välillä 11 000 – 140 000 ajoneuvoa. Vaihteluväli on suuri ja Liikenne- ja viestintäministeriön mukaan autokanta on todennäköisimmillään noin 35 000 ajoneuvoa, mikä on noin 1,5 % osuus koko autokannasta. Ennuste on linjassa kansainvälisen IEAN:n ennusteen kanssa, jonka mukaan sähköautojen osuus uusien autojen myynnistä on noin 10 % vuonna 2020, mikä tarkoittaa, että sähköautojen osuus ajoneuvokannasta vuonna 2020 on vain joitakin prosentteja. Sähköautojen määrä kasvaa suuremmassa määrin vasta todennäköisesti vuoden 2030 paikkeil-

la.[11] Liikenne- ja viestintäministeriö selvittää parhaillaan vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkkoa ja tässä työssä lähtökohtana heillä on, että luonnos jakeluverkosta tulee perustumaan toimijoiden suunnitelmiin. Selvityksen tiedotteessa 30.6.2014 on arvioitu, että vuonna 2020 la-dattavia sähköautoja olisi 20 000 – 40 000. [12]

VTT on arvioinut niin sanotussa maksimiskenaariossaan, jossa yksi vaihtoehtoinen polttoaine ke-hittyy perinteisten bensiini- ja dieselautojen rinnalla, että akkusähköautojen lukumäärä vuonna 2020 voisi olla maksimissaan 27 000 ja vuonna 2030 137 000. Tämän lisäksi lataushybridiautoja, joissa sähköllä voi ajaa arviolta 25-60 kilometriä, on arvioitu olevan vuonna 2020 138 000 ja vuonna 2030 yli 625 000. Todellisuudessa sähköajoneuvojen lukumäärä on tätä maksimiennus-tetta pienempi, koska vaihtoehtoiset polttoaineet kilpailevat toisiaan vastaan. [13]

Ennusteet vaikuttavat korkeilta huomioiden nykyisen sähköautokannan. Sähköautojen määrän tulisi yli kaksinkertaistua vuosittain, jotta esimerkiksi 35 000 ajoneuvon kantaan päästäisiin. Mi-käli kasvu jatkuu viimeisen vuoden tasolla, 70 %:n vuosikasvu, sähköautojen määrä vuonna 2020 on vain noin 12 000. Tämä on lähempänä Liikenne- ja viestintäministeriön ennusteskenaa-riota (ks. kuva 10), jossa autokannan keski-ikä ei muutu nykyisestä ja uusista myytävistä autois-ta neljä prosenttia on sähköautoja. Tästä eteenpäin suhteellinen kasvutahti hidastuu: 70 %:n vuosikasvu tarkoittaisi, että vuonna 2030 sähköajoneuvokanta olisi jo 2,4 miljoonaa ajoneuvoa. Tämä ei ole realistista huomioiden Suomen kokonaisajoneuvokannan: VTT ja Trafi arvioivat, että vuonna 2020 liikennekäytössä olevien henkilöautojen määrä on noin 3 miljoonaa.[13][14]

Sähköautokannan mahdolliset kehitysskenaariot on esitetty seuraavassa kaaviossa.



Kuva 10 Sähköautokannan mahdollinen kehittyminen Suomessa. Sähköautojen osuus uusien au-tojen myynnistä 4, 8 ja 25 % vuonna 2020. Kaluston uusiutumisenopeus 5,6 % (kaluston keski-ikä ei muutu) ja 8 % (kalusto uusiutuu ILPO:n tavoitteiden mukaisesti).[11]

Yhteenvedon voidaan todeta, että ennusteiden vaihteluväli on todella suuri: vuonna 2020 sähköautokanta on todennäköisesti 12 000 – 40 000 auton paikkeilla. Vuoteen 2030 ulottuvaa kas-vuskenaariota ei ole käytettävissä lukuun ottamatta VTT:n maksimiskenaariota. Vuonna 2020 tarvitaan kuitenkin 1 000 – 4 000 sähköautojen latauspistettä, jotta EU-direktiivin minimivelvoite (1 latauspiste/10 autoa) täyttyy. Seuraavassa kuvassa on esitetty skenaario julkisten latauspis-teiden verkostosta.[12]

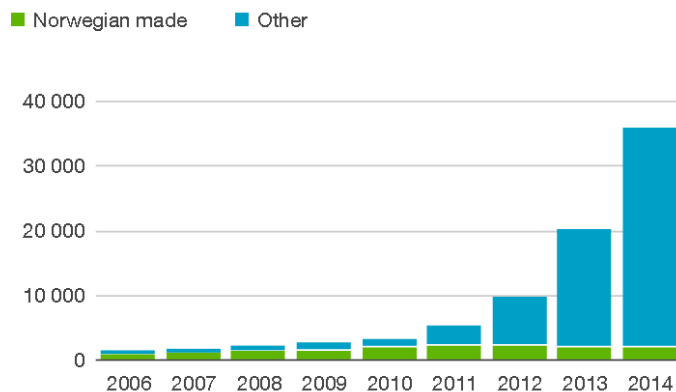


Kuva 11 Sähköautojen julkiset latauspisteet vuonna 2020[15]

4.2 Esimerkki sähkökäyttöisten ajoneuvojen yleistymisessä Norjassa

Sähköisen liikenteen mallimaana pidetään yleisesti Norjaa, jossa sähköautot ovat yleistyneet erittäin nopeasti ja saavuttaneet merkittävän jalansijan maan automyyntistä. Tiedut sähköautomallit ovat olleet ajoittain jopa maan myydyimpiä autoja. Sähköautojen hankintaa on tuettu Norjassa runsaasti valtion toimesta, mikä selittää sähköautojen suurta menestystä. Toisena merkittävänä tekijänä ovat olleet erilaiset kannustimet, joilla sähköautoilua on tuettu epäsuorasti. Myös maan korkealla tulotasolla on oma vaikutuksensa, joskaan sitä ei voida pitää johtavana syynä sähköautojen yleistymiseen.

Volume



Kuva 12 Sähköautojen määrän kehitys Norjassa [3]

Norjassa sähköautot on vapautettu sekä ajoneuvon hankintaverosta että vuosittaisesta käyttöverosta. Koska ajoneuvojen verotus on Norjassa varsin kovaa, tekee verovapautus sähköautoista

hankintahinnaltaan kilpailukykyisiä polttomoottoriautoihin nähden. Lisäksi koska sähköautojen käyttökustannukset ovat selvästi polttomoottoriautoja matalammat, ovat sähköautot kokonaisuudessaan selvästi polttomoottoriautoja edullisempia. Työsuhdeautoille on tarjottu myös oma verohelpotuksensa ja julkisella sektorilla työskenteleville sähköautoilijoille on myönnetty korotettu kilometrikorvaus. [37]

Taloudellisen hyödyn lisäksi Norjassa on sallittu sähköautojen hyödyntää bussikaistoja ja ne on vapautettu tietullimaksuista. Tämän lisäksi niille on tarjottu ilmainen pysäköinti julkisilla pysäköintipaikoilla. Sähköautojen latausta varten rakennettiin melko nopeasti n. 2 000 pisteen latauspisteverkosto, joka on laajentunut entisestään. Maassa on nykyisin myös koko maan kattava pikalatausverkosto. [37]

Sähköautojen menestymiseen Norjassa ei siis ole yhtä tiettyä syytä, vaan menestys johtuu edellä mainittujen kannustinten ja tukiaisten yhteisvaikutuksesta. Sähköautoilua on tuettu Norjassa jo 1990-luvulta lähtien. Valtion intressi panostaa sähköautoiluun liittyy osittain oman sähköautoteollisuuden tukemiseen, osin ympäristötietoisuuteen ja osin haluun hyödyntää maan runsaita vesivoimavaroja. [37]

4.3 Kaasukäyttöiset ajoneuvot ja tarvittavat tankkauspisteet

Vuonna 2012 Suomessa oli noin 1 300 kaasuaajoneuvoa ja vuonna 2014 noin 1700 kaasuaajoneuvoa. Kaasuautojen määrä on kasvanut nopeasti viimeisen kymmenen vuoden aikana. Vuonna 2002 kaasuaajoneuvoja oli vain muutamia kymmeniä ja keskimääräinen vuosikasvu näin ollen yli 50 %. Verrattuna esimerkiksi Ruotsiin, jossa kaasuaajoneuvojen käyttöä on edistetty aktiivisesti, Suomi on ajoneuvomäärissä kuitenkin huomattavasti jäljessä. Ruotsin kaasuaajoneuvokanta vuonna 2012 oli yli 44 000 ajoneuvoa. Vuonna 2002 Ruotsin kaasuaajoneuvokanta oli 3 300, joten keskimääräinen vuosikasvu oli reilut 40 %. Seuraavassa taulukossa on esitetty Suomen ja Ruotsin kaasuaajoneuvokanta ja niiden kehitys vuosina 2002–2012. [23]

Taulukko 2 Suomen ja Ruotsin kaasuaajoneuvokanta ja niiden kehitys vuosina 2002–2012 [17]

	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002
Suomi, lkm	1300	1100	700	700	475	150	84	84	77	75	34
Suomi, kasvu %	18,2	57,1	0,0	47,4	216,7	78,6	0,0	9,1	2,7	120,6	
Ruotsi, lkm	44300	40000	32000	23000	16900	13400	10400	6700	4200	3300	1550
Ruotsi, kasvu %	10,7	25,1	39,1	36,1	26,1	28,7	55,3	58,3	28,4	112,9	

Mikäli Suomen kaasuaajoneuvokannan kasvu jatkuu tasaisesti ja vuosikasvun oletetaan tasautuvan seuraavina vuosina yli 50 prosentin kasvusta lähemmäksi Ruotsin 40 prosentin vuosikasvua, on Suomessa vuonna 2020 jo yli 19 000 kaasuaajoneuvoa. Mikäli kasvun oletetaan edelleen seuraavan Ruotsin kehitystä, kasvu tasaantuu vähitellen. Esimerkiksi 25 prosentin kasvuvauhdilla vuosina 2020–2025 ja siitä edelleen 10 prosentin kasvuvauhdilla vuosina 2026–2030 päästäisiin lähes 95 000 kaasuaajoneuvoon vuonna 2030. Em. ennuste ei perustu mihinkään skenaarioon kaasun yleistymisestä liikennekäytössä, vaan tarkoituksena on vain havainnollistaa autokannan mahdollista suuruusluokkaa. Liikenne- ja viestintäministeriön asettama työryhmä arvioi, että maakaasun ja biokaasun osuus henkilöautojen käyttövoimana olisi vuonna 2020 korkeintaan vain muutaman prosentin luokkaa ja vuonna 2030 osuus voisi olla arviolta 4–5 prosentin luokkaa. Mikäli työryhmän arviot suhteutetaan ennusteisiin koko autokannasta, ollaan suuruusluokkana yli edellä esitettyjen kaasuaajoneuvomäärien [24].

Liikenne- ja viestintäministeriö on arvioinut tiedotteessaan 30.6.2013, että jos kaasuaajoneuvojen vuosittainen kasvuprosentti olisi 30 %, olisi Suomessa vuonna 2020 yli 10 000 kaasuaajoneuvoa

ja vuonna 2030 noin 150 000 kaasujoneuvoa [12]. VTT:n maksimiskenaarion, jossa yksi vaihtoehtoinen polttoaine kehittyy perinteisten bensiini- ja dieselautojen rinnalla, mukaan kaasujoneuvojen määrä vuonna 2020 voisi olla maksimissaan 113 000 ja vuonna 2030 658 000. Todellisuudessa kaasujoneuvojen lukumäärä on tätä maksimiennustetta pienempi, koska vaihtoehtoiset polttoaineet kilpailevat toisiaan vastaan [13].

Lukuun ottamatta VTT:n maksimiskenaariota ennusteiden vaihteluväli ei ole yhtä suuri kuin esimerkiksi sähköajoneuvojen osalta.

Edellä luvussa 3.1. on käsitelty liikennekaasun jakeluasemien nykytilannetta, joita Suomessa on tällä hetkellä noin 20. Euroopan unionin direktiivissä kaasun tankkausasemia suositellaan sijoitettavaksi vähintään 150 kilometrin välein ja alkuperäisessä direktiiviehdotuksessa tämän pohjalta Suomen määrälliseksi tavoitteeksi oli asetettu 60 asemaa. [24] Tavoitetta täytyy verrata todennäköiseen kaasujoneuvojen määrän kehittymiseen pohjautuen esimerkiksi edellä esitettyyn mahdolliseen kehityskuvaan, mutta mikäli 60 asemaa on riittävä, tarkoittaisi tämä noin 40 uuden tankkausaseman avaamista vuoteen 2020 mennessä. Kaasualan toimijoiden laatiman vision mukaan kaasun tankkausverkosto kattaa vuonna 2020 kaupunkikeskittymät ja päätieverkoston ja asemien määrä asettuu direktiiviehdotuksen tasolle, 50–70 kpl **Error! Reference source not found.**[12].

Ruotsissa oli vuonna 2009 reilut 100 tankkausasemaa noin 23 000 kaasujoneuvoille. Muista maista löytyy esimerkkejä myös huomattavasti tiheimmistä tankkausverkostoista: esimerkiksi Itävallassa oli vuonna 2008 130 tankkausasemaa vain 4 400 autolle. Myös esimerkiksi Saksassa tankkausasemia on Ruotsia enemmän suhteutettuna autokantaan: vuosina 2010–2011 Saksassa oli 900 asemaa 92 000 autolle [25]. Nykytilanteessa Suomessa on siis noin 65 autoa per tankkausasema, Ruotsissa 230, Saksassa 100 ja Itävallassa 33. Mikäli edellä esitetty määrällinen tavoite 60 asemasta suhteutetaan edellä esitettyyn mahdolliseen kehityskuvaan kaasujoneuvojen määrästä, tarkoittaisi tämä vuonna 2020 noin 315 ajoneuvoa per kaasun tankkausasema (40 %:n kasvuvauhdilla) tai noin 166 ajoneuvoa per kaasun tankkausasema (30 %:n kasvuvauhdilla). Nykyisin Suomessa perinteisiä polttoaineasemia kohden on noin 1 700 ajoneuvoa (ml. raskasliikenne) per asema [26].

4.4 Vetykäyttöiset ajoneuvot ja tarvittavat tankkauspisteet

Vetykäyttöisiä ajoneuvoja on Suomessa toistaiseksi vain koekäytössä. Vetytankkausasemia on kaksi kappaletta Mäntyharjun Voikoskella ja Helsingin Vuosaarella. Kaasuyhtiö Oy Voikoski Ab:n arvion mukaan Suomessa voisi jatkossa olla kymmeniä vetytankkausasemia, kun autojen sarjatuotanto alkaa lähivuosina. VTT:n mukaan vuonna 2015 Suomessa on noin 10 vetyautoa ja vuonna 2020 noin 100 [27].

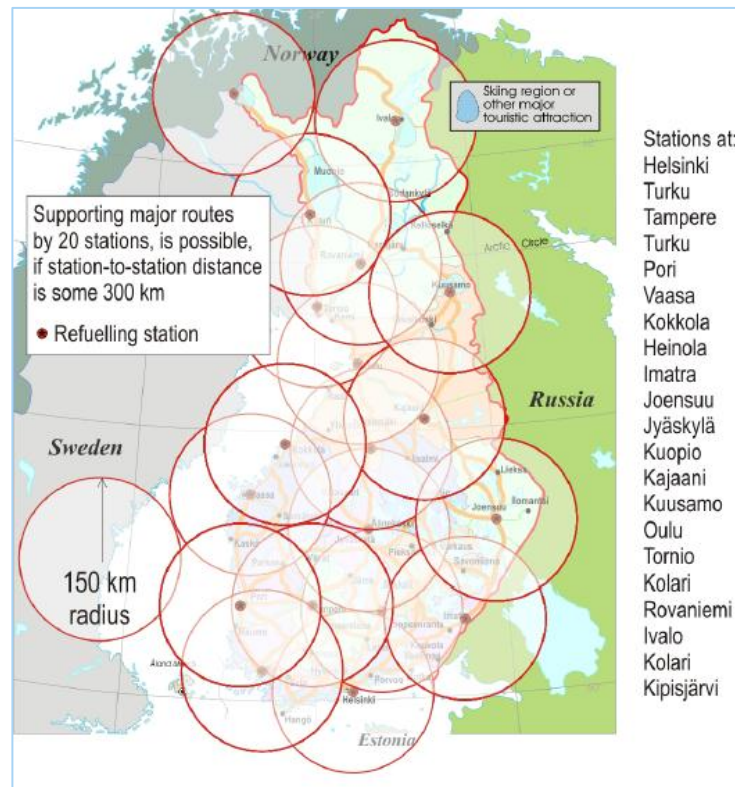
VTT on tehnyt erilaisia skenaarioita vetyautoista ja realistisen skenaarion mukaan vuonna 2015 Suomessa on noin 10 vetyautoa ja vuonna 2020 noin 100. VTT:n maksimiskenaarion, jossa yksi vaihtoehtoinen polttoaine kehittyy perinteisten bensiini- ja dieselautojen rinnalla, mukaan vetyajoneuvojen määrä vuonna 2020 voisi olla maksimissaan 21 000 ja vuonna 2030 112 000. Todellisuudessa vetyajoneuvojen lukumäärä on tätä maksimiennustetta pienempi, koska vaihtoehtoiset polttoaineet kilpailevat toistensa kanssa. [13]

VTT:n raportissa Vetytiemä – Vetyenergian mahdollisuudet Suomelle on käsitelty ennusteita vedyn liikennekäytöstä. Ennusteiden taustalla on VTT:n skenaario vetyautojen myyntiosuuksista. Mikäli vetyautojen osuus uusien autojen myynnistä olisi 0,5 prosenttia vuosina 2010–2020, vuoden 2020 vetyautokanta olisi noin 7 500 ajoneuvoa. Samalla skenaariolla on arvioitu vetyautokannaksi vuonna 2030 82 500 ajoneuvoa siten, että vuoden 2020 jälkeen vetyautojen osuus uusien autojen myynnistä on 5 prosenttia vuodessa. Henkilöautojen vuosimyyntiksi on arvioitu 150 000 ajoneuvoa, mikä on hieman enemmän kuin henkilöautojen todellinen vuosimyynti viime vuosina: 110 000 – 120 000 ajoneuvoa **Error! Reference source not found.** [30] Tämä skenaario vetyajoneuvojen määrästä on huomattavan suuri verrattuna nykytilanteeseen, jossa vetyautoja on vain koekäytössä. Mikäli Liikenne- ja viestintäministeriön asettaman työryhmän arvio vuodelta 2011 vedyn osuudesta henkilöautojen käyttövoimana suhteutetaan ennusteisiin auto-

kannan kehittymisestä, jää vetyajoneuvojen määrä myös huomattavasti em. skenaariota alhaisemmalle tasolle [24]. VTT:n skenaariota ei tulekaan pitää tässä varsinaisena ennusteena autokannan kehittymisestä.

Tulevaisuuden vetyjakeluverkko voitaisiin toteuttaa samaan tapaan kuin esimerkiksi maakaasun jakeluverkon asemat on sijoitettu: suurten kauppakeskusten lähimaastot pääkaupunkiseudulla (ja muissa suurissa kaupungeissa), jolloin tankkaus hoituu muun asioinnin yhteydessä. Pääkaupunkiseudulta jakeluverkko laajenee muihin suuriin kaupunkeihin, joissa potentiaalista kysyntää on mahdollista luoda riittävästi, ja kaupunkiseutujen välille luodaan valtateiden varsille käytävät, joissa, asemia olisi noin 150–200 km välein. Vetyauton toimintamatkan on yli 500 km yhdellä tankkauksella.

Seuraavassa kuvassa on esitetty esimerkki, kuinka 20 asemaa riittäisi toteuttamaan riittävän jakeluverkoston, joka mahdollistaisi liikenteen pääkaupunkiseudulta Lappiin, mikäli asemat sijoitettaisiin 300 km välein. 300 km oli Euroopan komission alkuperäinen ehdotus (24.1.2013) suositeltavaksi asematiheydeksi [30].



Kuva 13 Esimerkki vedyn jakeluasemaverkostosta, mikäli asemat sijoitettaisiin 300 kilometrin välein [30]

Alla taulukossa vertailun vuoksi ennuste- ja suunnittelutietoja Saksasta: FCVE = Vetykäyttöiset ajoneuvot, HRS = vedyn tankkausasemat. Saksassa vedyn tankkausasemien määrän arvioidaan kymmenkertaistuvan ja autokannan lisääntyvän lähes 400-kertaiseksi vuoteen 2030 mennessä [31].

	2015	2020	2030
No. of FCVE (Thousands)	5	150	1.800
No. of HRS	100	400	1000

4.5 Yhteenveto

Seuraavassa taulukossa on esitetty tiivistettynä edellisissä luvuissa esitettyjen eri skenaarioiden pohjalta arviot ajoneuvojen ja huoltoasemien lukumäärän kehityksestä vaihteluväleineen. Vaihteluväli eri ennusteiden välillä on suuri ja maksimimäärä ei todennäköisesti toteudu, koska vaihtoehdot polttoaineet kilpailevat toistensa kanssa ja kehittyvät rinnakkain. Taulukossa sähkön osalta vuosina 2020 ja 2030 latauspisteiden lukumäärä on EU-direktiivin vaatimuksen mukaisesti 1/10 autoa. Sähköajoneuvojen lukumäärässä eivät ole mukana lataushybridit, joiden lukumäärä voi olla kymmeniä tuhansia ja lisäävät kysyntää sähkölatauspisteille. Kaasu- ja vetyasemien lukumäärä vuonna 2030 on laskettu siten, että 1700 ajoneuvoa/asema perustuen nykyisen huoltoasemaverkoston palvelukykyyn.

Taulukko 3 Yhteenveto ajoneuvojen ennustemääristä

	Henkilö- autot 2014	Huolto- asemat 2014	Ajon./ asema 2014	Ajoneuvot 2020	Asemat 2020	Ajoneuvot 2030	Asemat 2030
Sähkö	500	500	1	12 000–27 000	1 200–2 700	-137 000	-13 700
Kaasu	1 700	20	85	10 000–113 000	60	150 000–658 000	90–390
Vety	1	2	0,5	7 500–21 000	20	82 500–112 000	50–65

Taulukosta voidaan päätellä, että vuonna 2020 Suomessa on potentiaalia korkeintaan muutamalle kymmenelle vaihtoehtoisten polttoaineiden monipolttoaineasemalle. Vuonna 2030 potentiaalia on jopa muutamalle sadalla kaasun tankkaus ja sähkön lataus -asemalle riippuen pääosin kaasuajoneuvojen lukumäärän kehityksestä. Kaiken kaikkiaan sähkölatauspisteiden tarve on huomattavasti suurempi, mutta valtaosa julkisesta latauksesta tapahtunee parkkihalleissa esimerkiksi työpaikoilla tai kauppakeskuksissa ja varsinaisten huoltoasemille sijoittuvien sähkön pikalatauspisteiden lukumäärä on kokonaislukumäärää selvästi alhaisempi. Vedyn tankkausasemien tarve on selvästi vähäisempi siinäkin tilanteessa, että vetyajoneuvojen kehityksen maksimiskenaario toteutuisi.

Käytännössä, pääosin kaupallisista syistä, vaihtoehtoisten polttoaineiden tankkauspiestet kehittyvät pääosin nykyisten huoltoasemien yhteyteen eivät erillisenä, omana konseptinaan.

5. JAKELUASEMAN INFRASTRUKTUURIKUSTANNUKSET

Yhteisten infrastruktuurikustannusten tarkastelujen pohjana on hybriditankkausasema, jossa on kaksi maa- tai biokaasun ja kaksi vedyn tankkauspiestetä henkilö- ja pakettiautoliikenteelle sekä sähköautojen latauspisteet sijoitettuna kaupallisesti niille sopiville paikoille.

Tankkauspiestet sijaitsevat mittarikentissä 6 metrin etäisyydellä toisistaan. Kaasun kompressorija varastoaseman edellyttämät etäisyydet ovat kevyen liikenteen väylään 5 metriä ja moottoritiehen 50 m. Suojaetäisyydet rakennuksiin vaihtelevat välillä 5-50 m. Käytännössä useimmissa ratkaisuissa suojaetäisyydet rakennuksiin ovat vain 5-10 m. Lisäksi etäisyyden sähkölatauspisteisiin on oltava vähintään 10 m. Parkkipaikat voivat sijaita 5 metrin etäisyydellä kaasutankkauspiesteistä.

Biokaasua, vetyä ja sähköä jakelevan tankkausaseman vaatima pinta-ala on minimissään n. 700 m². Käytännössä helposti liikennöitävissä olevan tankkausaseman pinta-alarive on yleensä 1 200 – 2 500 m².

Vertailutietona voidaan käyttää esim. seuraavia tietoja, jotka kuvaavat jakelukentän kokoa ilman suoja-alueita, kentällä sijaitsee 1-2 kaasun jakelupistetä

- Gasum Roihupelto pinta-ala 1 148 m² liikennekaasuasema (noin 35 x 35 m)
- Gasum Malmi pinta-ala 2 826 m² (noin 50 x 50 m)

Edelläkuvatuilla oletuksilla vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluaseman infrastruktuurin investointikustannukset (yhteiset kustannukset) muodostuvat seuraavassa taulukossa kuvatuista osista. Yhteiset kustannukset on arvioitu pääosin kaasuntankkausaseman mukaan, ja ovat riittäväällä tarkkuudella sovellettavissa vedyn tankkausasemaan. Kustannusten arviointi perustuu Rambollin asiantuntijoiden keräämiin tietoihin kymmenistä toteutuneista liikenneasemaprojekteista.

Taulukko 4 Vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluaseman infrastruktuurin yhteiset kustannukset

Toiminto tai rakenne	Kustannuskomponentit	Yksikköhinta (jos tarpeen)	Arvio € Oletus 1 (50 m x 50 m)	Arvio € Oletus 2 (75 m x 75 m)
Kaavoitus ja luvitus	Kaavoitus		30000	30000
	Ympäristölupa		10000	10000
	Rakennus- ja toimenpidelupa, muut luvat		10000	10000
Suunnittelu	Arkkitehtisuunnittelu		10000	10000
	Maankäytön, maapohjan ja pohjarakenteiden suunnittelu		10000	10000
	Tiivistys- ja pintarakenteiden suunnittelu		15000	15000
	Betoni- ja teräsrakenteiden suunnittelu (katokset)		10000	10000
	LVI-suunnittelu		15000	15000
	Sähkö-, valaistus- ja automaatio-suunnittelu		15000	15000
	Pelastus- ja paloturvallisuussuunnittelu		10000	10000
	Ympäristöasioihin liittyvä suunnittelu		15000	15000
	Investoinnit yhteisiin rakenteisiin	Tarvittavan maapohjan hankinta	20 eur/ m ²	50000
Maanrakennus- ja perustustyöt, pohjarakenteet, asfaltti, viemärointi, suojaputket ym.		80 eur/ m ²	200000	450000
Sähköjärjestelmät, valaistus			20000	50000
LVI-järjestelmät			20000	50000
Jakeluaseman yhteinen infrastruktuuri yhteensä n.				~440000

Tarkastelun lopputuloksena muodostuu yhteisille infrastruktuurikustannuksille arvio 450 000 euroa – 800 000 euroa.

Infrastruktuurikustannukset muodostuvat jakeluaseman (jakelukentän) perustamiseen liittyvistä kustannuksista. Kokonaiskustannusten näkökulmasta tähän tulee lisätä jakelupisteiden ja -järjestelmän kustannukset sekä kaasujen varastoinnin ja putkistojen kustannukset. Näitä kustannuksia on tarkasteltu tarkemmin seuraavissa luvuissa.

6. LATAUSPISTEEN STAND ALONE -KUSTANNUKSET

6.1 Lataustavat

Sähkökäyttöisten henkilöautojen lataamiseen on olemassa käytännössä kolme erilaista vaihtoehtoa: hidas kotilataus, sähköautoille erityisesti suunniteltu keskinopea lataus ja pikalataus. Lataustavat eroavat toisistaan lähinnä lataustehon osalta. Huoltoasemilla on järkevää tarjota korkeatehoista pikalatausta, jolla auton akut saadaan ladattua mahdollisimman nopeasti täyteen. Keski-tehoiset pisteet sen sijaan soveltuvat etenkin erilaisiin palvelukohteisiin, kuten kauppakeskusten tai pysäköintilaitosten yhteyteen.

Alla olevassa taulukossa 1 on esitetty yleisimmät sähköautojen lataustavat keskimääräisine latausaikoinen.

Taulukko 5 Sähköautojen lataustavat

	Hidas kotilataus	Keskinopea lataus	Pikalataus
Tyypillinen antoteho	<3,7 kW	n. 22 kW	n. 50 kW
Tyypillinen ottovirta	16 A	3x32 A	3x125 A
Keskimääräinen latausaika	>4 h	1–2 h	15–30 min. (80 %)

Yhdysvaltalaisella Teslalla on oma pikalatausasemansa, jonka teho on tällä hetkellä 120 kW [38]. Tällä teholla esim. Nissan Leafin 24 kWh:n akusto olisi teoriassa ladattavissa tyhjästä täyteen 12 minuutissa. Litium-ioni-akkujen ominaisuudet sekä laturin hyötysuhde kuitenkin rajoittavat jonkin verran lataustehoa. Akku- ja latausteknologian kehittyessä on kuitenkin hyvin todennäköistä, että tulevaisuuden pikalatausasemien tehot nousevat entisestään.

Sähköhenkilöautojen akuston kapasiteetti vaihtelee tällä hetkellä yleisesti n. 16–24 kWh välillä, jolloin autojen yhden latauksen toimintasäde jää alle 200 km:iin. Kuitenkin Tesla Model S -mallissa on parhaimmillaan jopa 85 kWh akusto, jolla auton toimintasäde lähentelee ideaaliolosuhteissa 500 km:ä [38]. Tulevaisuudessa akustojen kapasiteetin ennustetaan yleisesti kasvavan, mikä parantaa sähköautojen toimintasädettä. Akuston kapasiteetti vaikuttaa paitsi auton toimintasäteeseen luonnollisesti myös sen latausaikaan.

Sähköajoneuvojen lataamiseen on kehitetty myös johdotonta eli induktiivista latausta. Sitä on tutkinut mm. Volvo ja Suomessa Metropolia. Se ei ole saavuttanut kaupallisen käytön astetta. Tulevaisuudessa se voisi kuitenkin tarjota sähköä kaikille tiellä liikkuville ajoneuvoille esim. risteysalueilla suoraan ajon aikana.

6.2 Latausinfra investointikustannusten erittely

Sähköautojen latausinfra investointikustannukset koostuvat pääasiassa latauspisteen hankintahinnasta, sähköliittymän hinnasta sekä latauspisteen perustamiskustannuksista. Investointikustannusten suuruuteen vaikuttaa oleellisesti myös se, rakennetaanko latauspisteet uusien rakennuskohteiden toteuttamisen yhteydessä vai vanhojen, olemassa olevien rakennusten yhteyteen, jolloin on esim. kaivettava auki vanhaa asfalttia ja tehtävä muutoksia olemassa oleviin sähköjärjestelmiin.

Seuraavassa taulukossa esitetty eri latauspistevaihtoehtojen kustannusjakaumat.

Taulukko 6 Sähköautojen latauspisteiden kustannusjakaumat (alv 0 %)

	Hidas kotilataus	Keskinopea lataus	Pikalataus
Hankintahinta [39][40][41]	350–1 200 €	1 500–20 000 €	32 000–44 000 €
Perustamis-/ asennuskustannukset [42]	100–500 €	500–3 000 €	3 000–6 000 €
Uusi sähköliittymä [43][44][45]	0–650 €	0–3 000 €	4 000–13 000 €
YHTEENSÄ	450–2 350 €	2 000–26 000 €	39 000–63 000 €

Keskinopean latauksen suuri hintahaitari johtuu siitä, että keskinopeita latausasemia on saatavilla sekä seinäasenteisina että pylväsmallisina versioina. Seinämalliset versiot ovat selkeästi halvempia niin hankintahinnoiltaan kuin asentamiskustannuksiltaan. Myös pylväsmallisista lataustolpista löytyy edullisempia, n. 3 000 € maksavia versioita [40]. Kalliimmat versiot on puolestaan tarkoitettu julkiseen, maksulliseen lataukseen, jolloin niihin on liitetty paljon maksuliikenteen ja käyttäjän tunnistamisen vaatimaa älykkyyttä. Pylväsmallisten latauspisteiden asentaminen on seinäpisteitä kalliimpaa, sillä pylväsmallisten pisteiden kaapeloinnit on käytännössä kaivettava maahan. 22 kW:n latausteholla lataavat pisteet vaativat panostuksia myös sähköliittymään, jos niitä rakennetaan samaan kohteeseen useampia kappaleita. Tällöin sähköliittymän hinta yhtä latauspistettä kohden saattaa nousta useisiin tuhansiin euroihin.

Pikalatauspisteiden yksikköhankintahinta on tällä hetkellä n. 40 000 € [40][41]. Pikalatauspisteiden hankintahintaan vaikuttaa erityisesti niiden tekniset ominaisuudet, kuten se, onko niissä kosketusnäyttö, maksuominaisuus, asiakkaan RFID-tunnistus jne. [41]. Perusmallit, joissa näitä ominaisuuksia ei ole, ovat hinnaltaan jonkin verran yli 30 000 € [40]. Pikalatausaseman hankintahinnan lisäksi niiden kustannuksia lisää korkea sähköliittymän hinta. Yhden pikalatausaseman hankinnassa saattaa selvitä muutaman tuhannen euron sähköliittymällä, mutta useamman aseman tapauksessa sähköliittymän hinta per latausasema voi nousta jopa yli 10 000 euroon [43][44][45].

Sähköliittymien hintojen kohdalla esiintyy huomattavia alueellisia vaihtoehtoja. Sähköliittymän hintaan vaikuttaa myös se, miten lähelle olemassa olevaa muuntoasemaa sähkön käyttöpaikka rakennetaan (ns. vyöhykehinnoittelu) [43][44][45]. Mitä kauemmas muuntoasemasta käyttökohde tulee, sitä kalliimpi on myös sähköliittymän hinta, koska sähköliittymän hinnalla kompensoidaan sähkönjakeluverkon rakentamisesta syntyviä kustannuksia.

Työ- ja elinkeinoministeriö myöntää vielä selvityksen tekohetkellä (2014) sähköautojen latauspisteiden rakentamiseen energiainvestointitukea. Tuki kattaa 35 % kaikista latauspisteiden hankinnasta ja perustamisesta aiheutuvista kustannuksista. [46]. Tuen avulla latauspisteiden rakentaminen on merkittävästi halvempaa. Vielä ei ole kuitenkaan tiedossa, miten pitkälle tulevaisuuteen tukea on tarjolla.

6.3 Vertailutietoa latausinfraan kustannuksista

Joni Markkula on Tampereen teknilliselle yliopistolle tekemässään diplomityössä Sähköautojen latauspalvelut ja latausliiketoiminta selvittänyt erilaisten latauspisteiden rakentamisesta ja ylläpidosta aiheutuvia kustannuksia, palvelun hinnoittelumalleja ja muodostuvia tuloja sekä latausliiketoimintaan liittyviä riskejä. [47]

Työssä on esitetty laskelmia ja ratkaisuvaihtoehtoja kolmelle erityyppiselle latausasemalle. Näistä ensimmäinen on korkeatehoinen DC-latausasema, joka koostuu kahdesta 50 kW:n latauspistokkeesta. Yhden lataustapahtuman kesto nopeatehoisella asemalla on 20 – 35 minuuttia. Aseman arvioidaan pystyvän palvelemaan päivän aikana yhteensä 30 asiakasta. Toinen laskelmissa käytetty asematyyppi on keskitehoinen AC-latausasema. Asema koostuu kahdesta 22 kW:n latauspistokkeesta ja yksi täysi lataus kestää 1 – 1,5 tuntia. Keskitehoinen asema kykenee suorittamaan päivän aikana arviolta 15 latausta. Kolmas asematyyppi on matalatehoinen latausasema, jonka latausteho on alle 3,7 kW. Tällä asemalla lataus kestää useita tunteja ja päivän aikana ehditään palvella yhtä tai kahta asiakasta. [47]

Taulukko 7 Vertailutietoa latausasematyyppinen kustannuksista [47]

		DC-asema	AC-asema	Matalatehoinen asema
Investointi-kustannukset	Hankintahinta	15 000 – 40 000 €	2 000 – 4 000 €	300 – 700 €
	Uusi sähköliittymä	6 000 – 13 000 €	3 500 – 6 000 €	0 €
	Latausaseman perustaminen	1 500 – 6 000 €	500 – 2 000 €	200 – 1 500 €
Kiinteät kustannukset	Verkkopalvelun perusmaksu	3 000 – 5 300 €/v	3 000 – 5 000 €/v	0 €/v
	Muut kustannukset	1 500 €/v	600 €/v	200 €/v
Muuttuvat kustannukset	Sähkön ostohinta	5 senttiä/kWh	5 senttiä/kWh	5 senttiä/kWh
	Sähkön siirtohint	3 senttiä/kWh	3 senttiä/kWh	4,5 senttiä/kWh

Markkula on tehnyt laskelman myös laajan latausverkoston investointi- ja vuosikustannuksista. Tavoitteena oli selvittää, montako latausasemaa laajan sähköautoilun mahdollistamiseksi pitäisi olla, ja paljonko tarvittavan järjestelmän kustannukset olisivat.

Laskelmat määrittivät, että verkosto koostuisi 300 korkeatehoisesta DC-asemasta (2 x 50 kW), 100 keskitehoisesta AC-asemasta (2 x 22 kW) ja 10 000 matalatehoisesta asemasta (2 x 3,7 kW). Verkoston investointikustannusten suuruudeksi saatiin 19 miljoonaa euroa ja vuosittaisten kiinteiden kustannusten suuruudeksi 6,5 miljoonaa euroa. Energiakustannukset täydellä kapasiteetilla olisivat 12 miljoonaa euroa ja kilowattituntia kohden lasketut kustannukset 13,5 senttiä (2,70 €/100 km). Järjestelmän kapasiteetti olisi lähes 10 000 lataustapahtumaa päivässä. [47]

Laajaa latausverkostoa rakennettaessa tulee Markkulan mukaan huomioida kapasiteetin lisääntymisnopeus jonka tulisi olla suhteutettuna sähköautojen kasvuun. Tulee myös ottaa huomioon, että lähekkäin sijaitsevat latausyksiköt vähentävät toistensa asiakasmäärää. [47]

Yhteenvedo tehdyistä kustannustarkasteluista on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 8 Yhteenvedo sähköajoneuvojen latauspisteen kustannustarkasteluista.

Tarkasteltu tapaus (Lähde)	Minimi, euroa - tarkennus	Maksimi euroa - tarkennus
Keskinopea lataus (Ramboll)	2 000 € - 1500 (hankinta) + 500 (perust/as)+ 0 (sähköliittymä)	26 000 € - 20 000 + 3000 + 3000
Keskinopea (Joni Markkulan diplomityö)	6000 € - 2000 + 3500 + 500	12 000 € - 4000 + 6000 + 2000
Pikalataus (Ramboll)	39 000 € - 32 000 + 3000 + 4 000	63 000 € - 44 000 + 000 + 13 0000
Pikalataus (Joni Markkulan diplomityö)	22 500 € - 15 000 + 6 000 + 1500	59 000 € - 40 000 + 13 000 + 6000

6.4 Latauspisteen kustannusten skaalautuvuustarkastelu

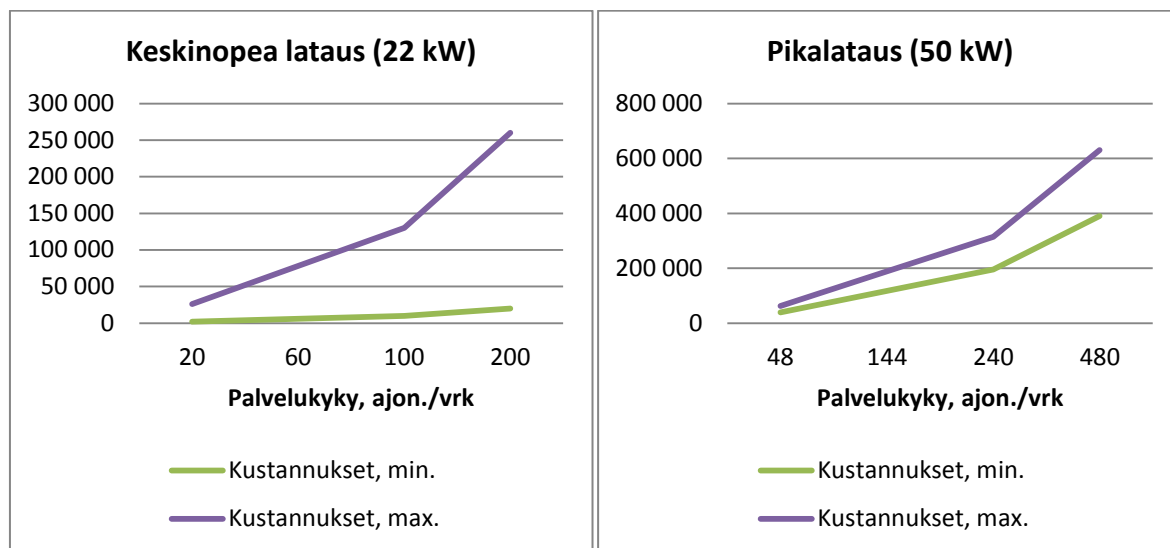
Tämän hetkisten tietojen pohjalta sähköautojen akut voidaan ladata keskinopealla latauksella täyteen 1–2 tunnissa ja pikalatauksella 80 % varaustasoon n. 30 minuutissa. Näiden tietojen perusteella voidaan laskea kunkin latausasematyyppin teoreettinen palvelukyky eli se, kuinka monta ajoneuvoa ne kykenevät lataamaan vuorokauden aikana, jos lataustapahtumia oletetaan tapahtuvan tasaiseen tahtiin ympäri vuorokauden. Keskinopealla (22 kW) latauksella kyetään palvelemaan yksi auto reilussa tunnissa kun pikalatauksella kyetään parhaimmillaan palvelemaan kaksi autoa tunnissa. On kuitenkin huomattava, että tällainen palvelutaso vaatisi autojen saapumista latausasemalle juuri sopivaan aikaan eli siten, että autot eivät joudu missään vaiheessa jonotta-

maan latauspisteelle pääsyn vuoksi. Käytännössä teoreettista palvelutasoa on täten hyvin vaikea saavuttaa.

Taulukko 9 Latauspisteiden teoreettinen palvelukyky

Latauspisteiden määrä	Palvelukyky, ajon./vrk	
	Keskinopea lataus (22 kW)	Pikalataus (50 kW)
1	20	48
3	60	144
5	100	240
10	200	480

Alla olevat kuvaajat esittävät, kuinka paljon tietyn palvelutason aikaansaaminen maksaisi kullakin latausvaihtoehdolla (minimi ja maksimi, käyttäen edellä esitettyjä kustannuksia). On huomioitava, että keskinopealla latauksella ei pystytä palvelemaan yhtä montaa ajoneuvoa vuorokaudessa kuin pikalatauksella, minkä lisäksi tunnin mittainen lataustapahtuma voi olla monelle autolijalle liian pitkä aika odottaa, eli auto ladattaisiin vain osassa lataustapahtumissa täyteen asti.



Kuva 14 Latauspisteiden kustannusten skaalautuvuustarkastelu.

7. KAASUN TANKKAUSPISTEEN STAND ALONE - KUSTANNUKSET

7.1 Kaasun tankkausinfraan kustannusten muodostuminen

Kaasun jakeluaseman infrarakentamisen (massanvaihdot, vesienhallinta, asfaltti) kokonaiskustannuksien on arvioitu olevan 150 000–300 000 euroa asemaa kohden. Kaasun tankkausaseman kustannuksiin vaikuttaa merkittävästi myös mahdollisten kaasun varastosäiliöiden sijoittelu, ovatko ne maan alla vai maanpäällä, pystyssä vai vaakatasossa vai onko tankkausasema yhteydessä kaasunsiirtoputkistoon. Lisäksi kustannuksiin vaikuttavat varastosäiliön teräsbetoniperustus, esimerkkinä 9 x 9 m pohjalaatta (1 metrin paksuus), jonka kustannusarvio on n. 200 e/m². Koko tankkausaseman alueelta (myös teräsbetonin alta on tehtävä massanvaihdot) a' n. 40 e/m², + asfaltointi n. 30 e/m². Myös mahdollisen kaasunjalostusaseman tilantarve on huomioitava.



Kuva 15. Esimerkki biometaanin jakeluasemasta, kaasuvarasto maan pinnalla pystyasennossa.

Kokonaiskustannusten arvioita kaasunvarastosäiliöille ja tankkausasemille, saatuna eri lähteistä ja arvioituna eri kokoonpanoille, on kuvattu alla olevaan taulukkoon. Kustannukset eivät sisällä siirtoputkistoja kaasuntuotantolaitoksilta tankkausasemalle eikä esim. biokaasun jalostuslaitosta.

Taulukko 10 Yhteenveto kaasun tankkausaseman kustannustarkasteluista

Tarkasteltu tapaus (Lähde)	Minimikustannus, euroa	Maksimikustannus, euroa
Biokaasun tankkauspiste kaasuverkon tai tuotantolaitoksen yhteydessä ilman varastointia [32][34]	220 000, lisättyä 150 000 infran rakentaminen, yhteensä 370 000	250 000, lisättyä 300 000 infran rakentaminen, yhteensä 550 000
Paineistetun kaasun pullovarastokontti[32]	80 000	100 000
Jakeluverkon ulkopuoliset tankkausasemat, sis. kaikki kustannukset [33]	600 000 (yksi tankkauspiste, LNG-varastosäiliön kanssa)	1 800 000 (kolme tankkauspistettä, LNG-varastosäiliöineen)

Vertailutietona voidaan hyödyntää myös seuraavaa kuvausta kokonaiskustannuksista Turun liikennebiokaasuhankkeesta.

Rakennettavan liikennebiokaasun jakeluaseman arvioidut investointikustannukset sisältäen kaasuputkistot, kompressorit, jakeluyksikön ja varasäiliöt vaihtelevat noin 2 – 2,5 milj. euron välillä riippuen aseman sijainnista (vaadittavan putkiston pituus ja tankkauspisteiden määrä).

Rakennettavan biokaasun puhdistuslaitteiston kustannukset puolestaan ovat 2,5 - 3,5 miljoonaa euroa. Sen lisäksi Topinojalle sijoittava LNG - varmuusvarasto kustantaa noin 0,5 milj. euroa. Mikäli seudun liikennebiokaasun jakelu käynnistetään kahden pikatankkaukseen perustuvan jakelu-aseman avulla, kokonaisinvestointikustannukseksi voidaan arvioida noin 9 miljoonaa euroa.

Investointitarve koostuu tässä toteutusmallissa seuraavista osista;

1. Kaasun puhdistusyksikön rakentaminen Topinojalle 2,5 milj. € (2014)
2. Kaasun varmuusvaraston rakentaminen Topinojalle 0,5 milj. € (2014)
3. Jakelupisteen rakentaminen Orikedolle 1,8 milj. € (2014)
4. Jakelupisteen rakentaminen Raunistulaan 2,4 milj. € (2015)
5. Jakelupisteen rakentaminen varikolle Hevoskadulle 1,8 milj. € (2015)

Lähde: www.liikennebiokaasu.fi

7.2 Kaasun tankkausaseman kustannusten skaalautuvuustarkastelu

Henkilöauto- ja pakettiautoliikenteen liikennekaasun jakeluaseman mittarikentän ja kaasuvaramon investointikustannukset ovat infrakustannuksineen 220 000 – 370 000 € (6-7 auto/h) tai 300 000 – 450 000 € (14 autoa tunnissa) [32][34]. Jakeluaseman sijaitessa kaukana tuotantolaitoksesta tai kaasuverkon ulkopuolella voidaan kaasunsiirto toteuttaa vaihdettavalla kaasuvaramonilla, jonka kuljetuskapasiteetti on noin 3 500 kg (tällöin tarvitaan kaksi kaasuvaramoa, joiden yhteiskustannus noin 200 000 € [32]) tai vaihtoehtoisesti kaasua voidaan siirtää kaasunsiirtoputkistolla (kustannus 70 - 200 €/m), kohdealueesta riippuen tai LNG-säiliöön.

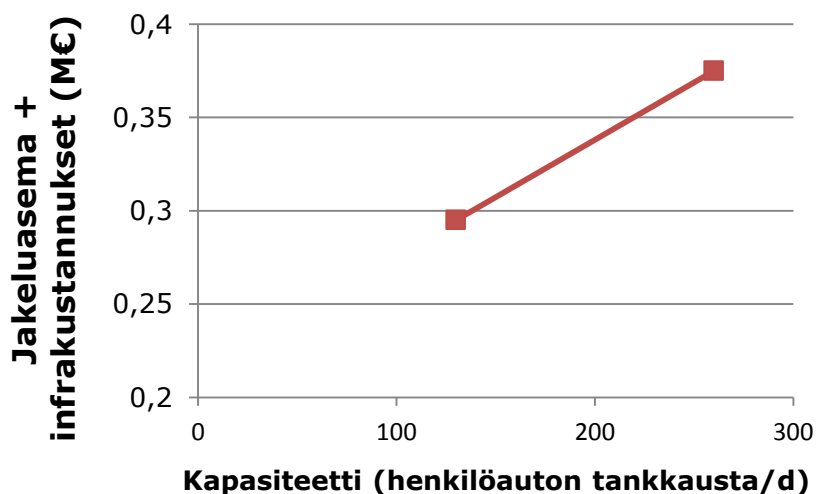
Taulukko 11 Biokaasun tankkaus- ja jalostusaseman investointikustannukset eri kokoluokissa

	Jakeluasema biokaasulaitoksen tai maakaasuverkon yhteydessä [32][34]	Jakeluaseman kapasiteetin kaksinkertaistus biokaasulaitoksen tai maakaasuverkon yhteydessä [32] ¹	Jakeluasema + vaihdettava (mobiili) varasto (tankkausasema ei biokaasun tuotantolaitoksen tai maakaasuverkon yhteydessä [32])
Kapasiteetti (kg/d)	2400	4 800	3 500 (edellyttää kahta pullovarastoa, varaston vaihto kulutuksen mukaan) ²
Henkilöautojen tankkausten (18 kg/auto) lkm./d	130 (6-7 autoa/h)	260 (14 autoa/h)	130 (6-7 autoa/h)
Jakeluaseman ja varastoinnin investointikustannus, €	220 000 – 370 000 (pullovarastokapasiteetti 140 kg)	300 000 – 450 000 (varastokapasiteetin 140 kg:n laajennus + toinen tankkauskahva)	420 000 – 480 000 (1-2 tankkauskahvaa)
Kaasunjalostus tarvittaessa (milj. €)	0,7 – 1,3	1,3 – 2,2 (eri teknologioista johtuen suuri vaihtelu)	---

¹ Tankkausaseman laajennus edellyttää lisää varastokapasiteettia ja toisen tankkauskahvan. Raskaskalusto edellyttää oman NGV2-tankkauskahvan [32].

² Vaihtoehtoisesti LNG-varasto (75 m³, noin 25 000 kg, kaasuntilavuus nestemäisenä 1/600 normaalipaineeseen verrattuna, investointikustannus 140 000 €). LNG-varasto edellyttää kuitenkin suurempaa kulutusta [34].

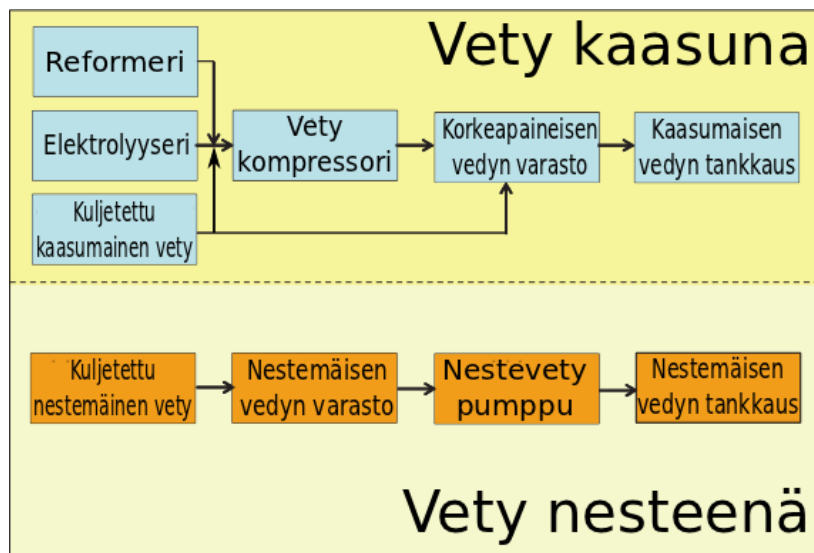
Alla olevat kuvaaja esittää vahvasti keskimääräistävän arvion kaasun jakeluaseman kustannusten skaalautuvuudesta. Kustannukset riippuvat vahvasti toteutustavasta. Infrakustannuksiin ei tässä ole sisällytetty maapohjan arvoa.



8. VEDYN TANKKAUSPISTEEN STAND ALONE-KUSTANNUKSET

8.1 Vedyn tankkauksen perusratkaisut

Vety voidaan tankata ajoneuvoon joko kaasumaisena tai nestemäisenä. Kaasumainen vety täytyy tankkausta varten paineistaa korkeaan paineeseen, jotta ajoneuvon tankkaus onnistuu nopeasti ja tankkiin saadaan halutun käyttöasteen varmistava määrä vetyä. Nestemäisen vedyn tankkauksen suurimpana haasteena on tarvittavan matalan lämpötilan ylläpitäminen ja varmistaminen. Lähes kaikki nykyisistä polttokennoajoneuvoista tankkaavat kaasumaista vetyä [3].



Kuva 17 Vedyn tuotanto- ja tankkausjärjestelmän periaatekaavio [3]

Polttokennoautot on tyypillisesti varustettu 700 bar vetytankeilla, jotta tankkauksella päästään riittäviin käyttöasteisiin. Uusimpiin vetyautoihin tankkiin mahtuu 5–7 kg vetyä, tankkaus kestää muutaman minuutin ja tankillisella ajaa 500–600 kilometriä [3].

Tankkausaseman tavoitellusta kapasiteetista riippuu, millä tavoin vety on kannattavinta toimittaa asemalle ja varastoida siellä. Vaihtoehtoja ovat säiliökuljetus, putkikuljetus vetyä tuottavasta tehtaasta, vedyn tuotanto paikanpäällä esim. elektrolyysillä. Toiminnan käynnistysvaiheessa vety voidaan toimittaa tankkausasemalle esimerkiksi 200–300 barin paineessa olevilla kuljetettavilla vetysäiliöillä. Kuljetettavat kaasusäiliöt toimivat myös tankkausaseman vetyvarastona [3].

Tankkausasema muodostuu vedyn paineistukseen käytettävistä kompressoreista, tankkausaseman korkeapainesäiliöistä (gaseous hydrogen buffer storage) ja vedyn annosteluun käytettävästä laitteistosta (dispenser, gaseous hydrogen fuelling connector). Näiden lisäksi tankkausasemalla on vedyn siirtoon, sen puhtauden varmistamiseen ja annostelun hallintaan liittyviä laitteita ja järjestelmiä [3].

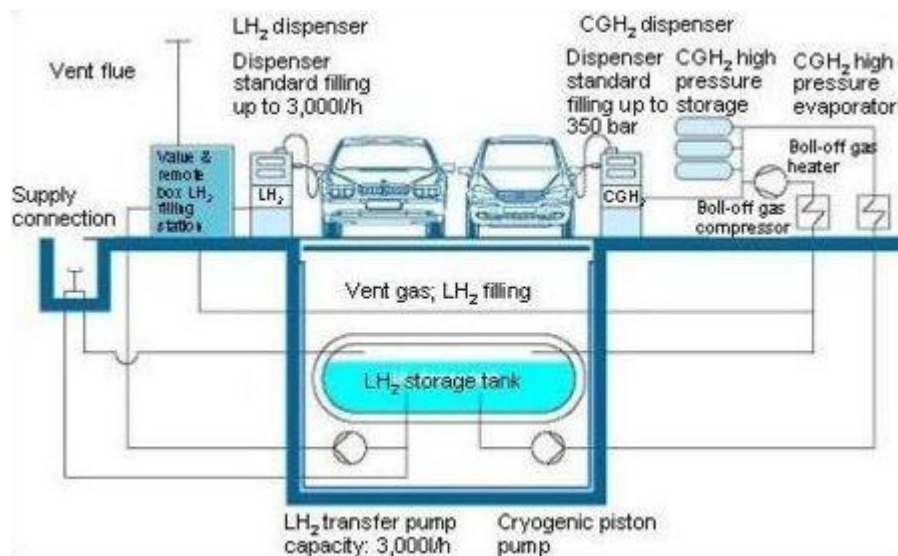
Tankkausaseman kompressorit nostavat tankkausasemalle toimitetun vedyn paineen tankkauksen vaatimaan paineeseen. Jotta vedyn tankkaus onnistuu, on paineen tankkausaseman korkeapainesäiliöissä oltava selvästi korkeampi kuin ajoneuvon tankin maksimitäyttöpaine [3].

Korkeapaineisen vedyn tankkauksen yhteydessä vedyn lämpötila nousee. Tämän takia tankkausasemassa on vedyn esijäähdytyslaitteisto, joka varmistaa ettei tankkausasemalla sallittuja vedyn lämpötila- ja painerajoja ylitetä [3].

Vedyn tankkausta varten tankkausaseman annostelijassa oleva tankkaussuutin yhdistetään ajoneuvoon. Kun kaasutiivis yhteys tankkausaseman ja ajoneuvon vetytankin välille on luotu, tapahtuu vedyn siirto ajoneuvon tankkiin tankkausaseman toimintaa ohjaavan automatiikan avulla [3].

8.2 Vedyn tankkausaseman kustannusten muodostuminen

Perusinfrastruktuurin osalta kustannukset ovat pitkälti samoja kuin kaasun tankkauksessa. Näitä kustannuksia on tarkasteltu kappaleessa 5. Varastosäiliöt ovat yksi keskeinen kustannuselementti. Vedylle on sekä maanpäällisiä että maanalaisia varastosäiliöitä. Maanalaisissa säiliössä maapohjan ja perustusten vaatimat massanvaihdot ovat suuremmat. Alla olevasta kuvasta voi päätellä infran lisäksi myös säiliöiden mittakaavaa.



Kuva 18 Kaaviokuva vedyn tankkausasemasta [35]

Maanpäälliset varastosäiliöt vastaavat rakenteiltaan ja vaatimuksiltaan melko kattavasti liikennekaasun varastosäiliöitä. Maanpäällisten säiliöiden osalta perustustyöt voidaan arvioida samaksi kuin biokaasun tankkausasemalle, mahdollisesti turvatolppia (aitausta) voidaan tarvita enemmän vedyn haasteellisen varastoinnin ja reaktiivisuuden vuoksi. Tankkauspaikat ovat yleensä kalettuja vastaavasti kuin biokaasuillekin. Lisäksi kustannuksiin vaikuttavat seuraavat seikat:

- Valaistusta tarvitaan operatiivisiin osiin ja koko kenttäalueelle.
- Suoja-alueisiin liittyvät kustannukset
Piha-alueilla tarvitaan hulevesien johtamisjärjestelyt, asfaltti ja öljynerotuskaivot
Sähköliittymät
- Alueen tilantarve tulee mahdollistaa myös raskaan liikenteen kääntymisen (ainakin bussit, jäteautot, jakeluautot)



Kuva 19 Vedyn maanpäällinen varastosäiliö [35]

8.3 Vedyn tankkausaseman kustannusten skaalautuvuustarkastelu

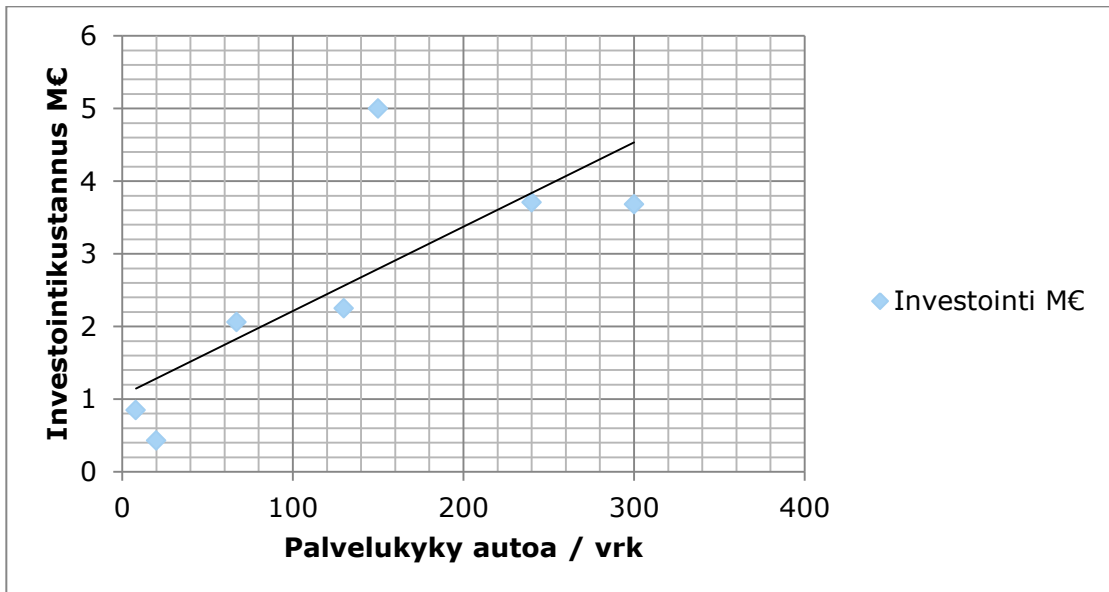
Vetytankkauksen kustannustietoja on tarkasteltu eri selvityksissä. Ruotsissa, Saksassa, Tanskassa ja USA:ssa. Alla on ko. tarkasteluista muodostettu yhteenvetotaulukko, joka osoittaa kustannustarkastelujen runsaat variaatiot.

Yhteenvetona voidaan todeta että pienikapasiteettisen tankkausaseman investointi vaihtelee 500 000 ja 1 000 000 euron välillä.

Taulukko 12 Yhteenvedo vedyn tankkausaseman kustannustarkasteluista

	Ruotsi (Skåne)	Tanska	Hampur (Vattenfall)	Saksa	Saksa suunniteltu	USA 1	USA 2	USA 3	USA 4
Kapasiteetti vuorokaudessa, kg	40		750	100		333	650	1200	1500
Autoja (5 kg/tankkaus)	8		150	20		67	130	240	300
Tankkaus-pisteen investointikustannus, €	850 000	780 000 per asema	5 000 000 (10 000 000)	430 000	1 100 000 per asema	2 060 000	2 250 000	3 710 000	3 680 000
Kommentti			10 000 000 sisältää tuotannon, arvio 50 % kokonaiskustannuksesta	Lähde [18]	Lähde [18]	Lähde [28]	Lähde [29]	Lähde [29]	Lähde [28]

Edelläolevan taulukon tietojen pohjalta voidaan konstruoida allaoleva graafi, joka kertoo tankkausaseman investointikustannuksen suhteessa tankkausaseman kapasiteettiin (tankattu auto /vrk). Automäärän määrittelyyn on käytetty keskimääräistä tankkausta 5 kg/auto.



Kuva 20 Yhteenveto vedyn tankkausaseman investointikustannuksista suhteessa palvelukykyyn.

9. YHTEENVETO: HYBRIDIASEMAN KUSTANNUSTEN MUODOSTUMINEN

Seuraavassa taulukossa on esitetty pääpiirteittäinen arvio hybridiaseman kustannuksista pohjautuen edellisissä luvuissa tehtyihin tarkasteluihin.

Taulukko 13 Hybridiaseman kokonaiskustannukset, pääpiirteittäinen arvio.

Toiminto tai rakenne	Perustelu, kommentti	Yksikkö-hinta (jos tarpeen)	Arvio € Oletus 1 (50 m x 50 m)	Arvio € Oletus 2 (75 m x 75 m)
Kaavoitus ja luvitus	Yhteinen kustannus Perustuu luvun 5 arvioon		50000	50000
Suunnittelu	Yhteinen kustannus Perustuu luvun 5 arvioon		100000	100000
Investoinnit rakenteisiin	Yhteinen kustannus Tarvittavan maapohjan hankinta	20 eur/ m2	50000	112500
	Yhteinen kustannus Maanrakennus- ja perustustyöt, pohjarakenteet, asfaltti, viemäröinti , suojaputket ym.	80 eur/ m2	200000	450000
	Yhteinen kustannus Sähkö- ja LVI-järjestelmät, valaistus		40000	100000
Sähköajoneuvojen pikalataus	Kapasiteetti noin 100 ajoneuvoa vuorokaudessa Perustuu luvun 6 tarkasteluun		100000	200000
Kaasun tankkaus	Minimiarvio: toimitaan kaasuverkon tai kaasun jakelulaitoksen yhteydessä Maksimiarvio: toimitaan jakeluverkon ulkopuolella. Perustuu luvun 6 tarkasteluihin, joista vähennetty yhteisten infrakustannusten osuutta 100 000 euroa (ne kuvattu omana osionaan tässä taulukossa)		150000	500000
Vedyn tankkaus	Pienelle kapasiteetille Perustuu luvun 8 tarkasteluihin, joista vähennetty yhteisten infrakustannusten osuutta 100 000 euroa (ne kuvattu omana osionaan tässä taulukossa)		300000	700000
Yhteensä			990000	2212500

Kustannustarkastelut osoittavat, että uusien polttoaineiden jakeluinfrastruktuurin kustannuksissa on suuri vaihteluväli jo yksittäisen polttoaineen tai käyttövoiman osalta, ja tämä vaihteluväli kertautuu kun lähdetään tarkastelemaan hybridiasemaa. Edellä kuvattu yhteenveto tuottaa hybridiaseman investointikustannukseksi vaihteluvälin miljoona – reilu kaksi miljoonaa euroa.

Aiemmissa luvuissa on todettu että perinteisen ison liikennepalveluaseman rakentaminen valtatien varrelle maksaa tyypillisesti 4–10 miljoonaa euroa ja perinteinen pienehkö taajamaan sijoitettu liikenneasema noin kaksi miljoonaa euroa, tällöin mukana on investointi ravintola/myymälärakennukseen. Mikäli hybridiasema sijoitetaan perinteisen liikenneaseman alueen yhteyteen edelläkuvatun kokoisena, saadaan infrastruktuurissa synergioita, mutta voitaneen kuitenkin puhua vähintään 0,5 – 1 miljoonan euron lisäinvestoinnista.

10. CASE-TARKASTELU

10.1 Case-tarkastelulle asetetut tavoitteet

Tarkastelun tavoitteena on kuvata ja arvioida vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluasemaa konkreettinen case. Tarkastelussa peilataan ja analysoidaan ko. casea suhteessa hybridiasemaa koskeviin reunaehtoihin ja vaatimuksiin (säädökset, määräykset ja ohjeet) sekä kaupallisen konseptin vaatimuksiin, reunaehtoihin ja muihin tekijöihin

10.2 Case Mikkelin multifuel-polttoaineaseman yleisesittely

Mikkelissä toimiva kehitysyritys Miktech Oy yhteistyökumppaneineen on kehittämässä konseptia multifuel-monipolttoaineaseman toteuttamiseksi Mikkelisiin. Fiksuun liikkumiseen tähtäävä konsepti esiteltiin Miktechin vetämän Biosaimaa-kehityshankkeen uusiutuviin liikennepolttoaineisiin keskittyvässä seminaarissa Mikkelissä 11.6.2014, jossa esiteltiin myös tämän selvityksen tavoitteita ja tilannetta. Case-tarkastelua työstiin työpajamuotoisesti Mikkelissä 30.9.2014. Molempiin tilaisuuksiin osallistui keskeisiä Mikkelin multifuel-konseptin toimijoita. Toteutusta valmistellaan siis parhaillaan, ja tavoitteena on aloittaa pilottikäyttö ennen Mikkelin asuntomessuja, jotka pidetään vuonna 2017.

Multifuel-konseptin kehittäminen kytkeytyy uusiutuvia liikennepolttoaineita – biokaasua, sähköä ja vetyä – käyttävien autojen yleistymiseen. Jakeluasemalla halutaan ohjata vt 5:n erityisesti matkailuun ja vapaa-ajanviettoon liittyviä merkittäviä liikennevirtoja kulkemaan Mikkelin kautta. Samalla halutaan vaikuttaa ihmisten valintoihin ja ohjata kohti fiksumpaa liikkumista. Kyseessä on siis uudenlainen liikennepolttoaineiden jakelukonsepti ja konseptin mukainen pilottiasema Mikkelisiin. Tavoitteena on myös edesauttaa konseptin monistamista muualle Suomeen

Multifuel-konseptin valmisteluun on osallistunut useita toimijoita, mm. Biohauki Oy, Etelä-Savon Energia Oy, Ensto Oy, Metsäsairila Oy, Woikoski Oy, Mikkelin Ammattikorkeakoulu MAMK ja Mikkelin kaupunki. Yhteistyökumppaneilla on varsinkin alkuvaiheessa merkitystä myös uusiutuvien liikennepolttoaineiden kysynnän luomisessa. Kysyntää etsitään aluksi isoilta toimijoilta. Lisäksi haetaan kumppania, jonka kautta konseptia voisi myöhemmin levittää ympäri Suomen. Lähtökohtana Mikkelissä on palveluasema, eikä kylmäasema – perustana tälle on mm. että sähkölaatuspisteiden käyttäjät tarvitsevat ”aktiiviteetteja”. Konseptiin tarvitaan siis jakelija, jonka on alkuvaiheessa jaettava todennäköisesti myös fossiilisia polttoaineita, koska käyttäjäkunta hyvin rajoitettu muutoin.

Mikkelin Satamalahden alue on yksi mahdollisista sijoituspaikoista Multifuel-jakeluasemalle. Tällöin yhtenä tavoitteena on että asema toteutetaan estetiikaltaan ympäristöönsä sulautuvaksi. Uusien liikennepolttoaineiden rinnalla asema tarjoaisi siis alkuvaiheessa perinteisiä polttoaineita, mutta tavoitteena olisi 10 vuoden aikajänteellä tarjota yksinomaan uusiutuvia liikennepolttoaineita. Lisäksi asema tarjoaisi konseptinsa mukaisesti esimerkiksi fiksumpaa liikkumista tukevia palveluita kuten vuokra- ja yhteiskäyttöautoja sekä vuokrapolkupyöriä ja -sähkökoottereita, sekä matkailua tukevia palveluita, kuten eteläsavolaista luomu- ja lähiruokaa. Muita vaihtoehtoja ovat esim. ympäristöystävälliset auton pesupalvelut, joissa ei tällä hetkellä ole juurikaan kilpailua

Multifuel-aseman toteuttamisella haetaan seuraavia alueellisia hyötyjä

- Kaupunki-ilmanlaadun parantuminen
- Imagohyödyt
- Liiketoimintamahdollisuuksia useille toimijoille
- Hyötyjä uusien liikennepolttoaineiden käyttäjille
- Tulevaisuuden polttoaineiden jakelukonseptin luominen
- Synergiaedut Mikkelissä järjestettävien asuntomessujen kanssa

Valtakunnallisiksi hyödyiksi on tunnistettu seuraavia:

- Uusiutuvien liikennepolttoaineiden saatavuuden ja käytön lisääntyminen

- Jakeluverkon täydentyminen
- Kotimaisten energialähteiden hyödyntäminen: vaikutus energiataseeseen
- Alusta uusien konseptiin liittyvien teknologioiden kehittämiseen ja demonstroimiseen

10.3 Sijoittautumisen tarkastelu mitoitus- ym. vaatimusten perusteella

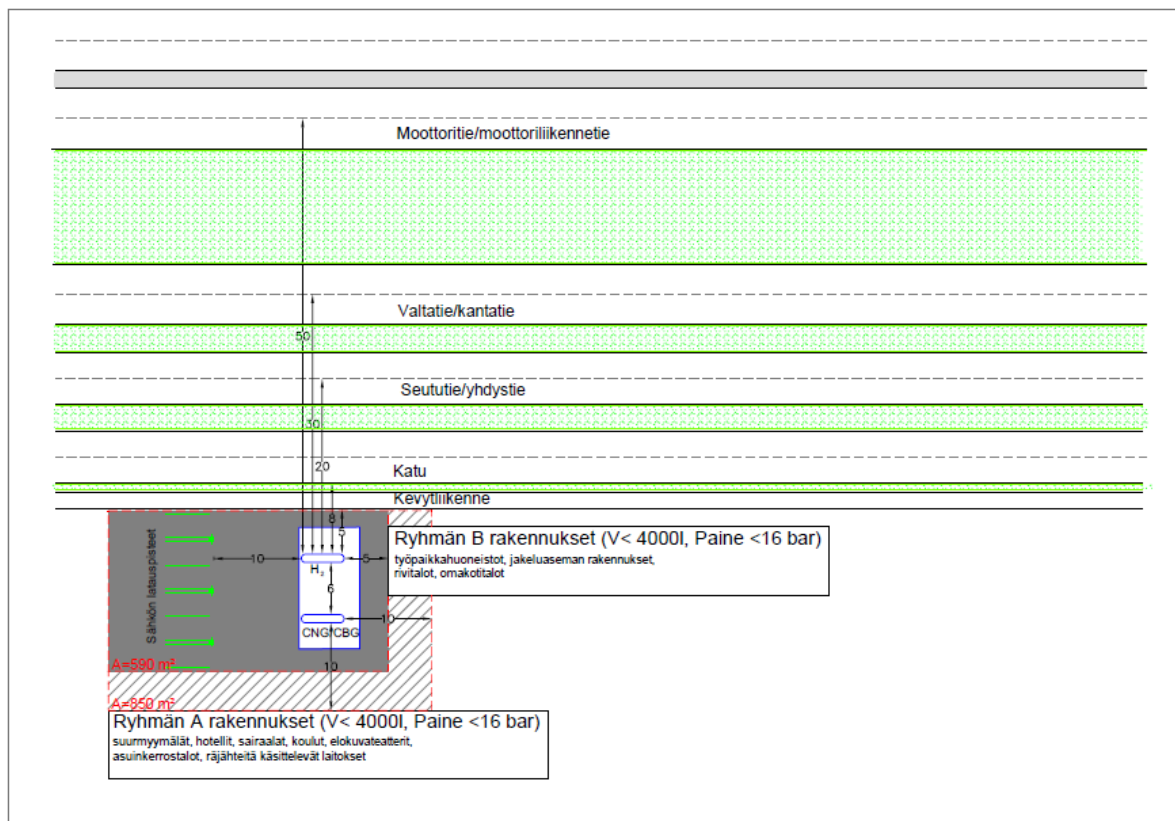
Lähtökohtana ollut uuden aseman perustaminen (eikä esim. toimivan liikennepolttoaineaseman yhteyteen sijoittuminen). On kuitenkin huomioitava että liikenneasemia Mikkelin keskustan ympäristössä on viime aikoina suljettu, joten on syntymässä tarvetta uusille ja mahdollisesti joku sijoituspaikka näistä voisi myös olla harkittavissa uuden aseman paikaksi.

Multifuel-aseman vaihtoehtoiseksi sijoituspaikaksi Mikkelissä on tunnistettu seuraavia:

- Nykyinen Neste/Hesburger Satamalahdessa, ns. Veturitallin alueella
 - Sijaitsee veturitallien pohjoispuolellaliikenneympyrän lähellä
- Graanin alue vt 5:n pohjoispuolelta (Tuppuralankatu)
 - Paikassa on vähemmän liikennettä kuin Neste/Hesburger alueella
- Risteysalueella (vt 5 ja vt 13).
 - Jakelija tässä jo olemassa.
 - Jos lähdetään uudelle tontille, tarvitaan jakelija. ST1:n kanssa keskusteltu alustavasti.
- Pitkäjärven ABC on myös yksi vaihtoehto, alueella mm. autoliikkeitä, jotka ehkä siirtymässä.

Mikkelin kaupungin kaavoittaja on luvannut asetella multifuel-asemaa sijaintipaikkoihin, kun vahvistetaan suojaetäisyydet ja tilavaatimukset. Alla kaavoittajalle annettuja ensimmäisiä arvioita:

- Käytännössä etäisyydet rautatiestä/valtatiestä/ kompressorikontista ovat vähintään 50 m
- Kokonaispinta-alan arviossa käytetään mitoitusta 40–50 m x 40–50 metriä. Pienimmällään 600 m²-1000m² pinta-ala saattaisi riittää, mutta liikennöintialueiden ym kanssa tarvitaan helposti enemmän
- Kaasun saatavuuden lähtökohtana on biokaasun jakeluputki, joka tulee Metsä-Sairilan biokaasutuotannosta



Kuva 21 Mikkelin multifuel-aseman edellyttämän aluesuunnittelun mitoituksen lähtökohdat

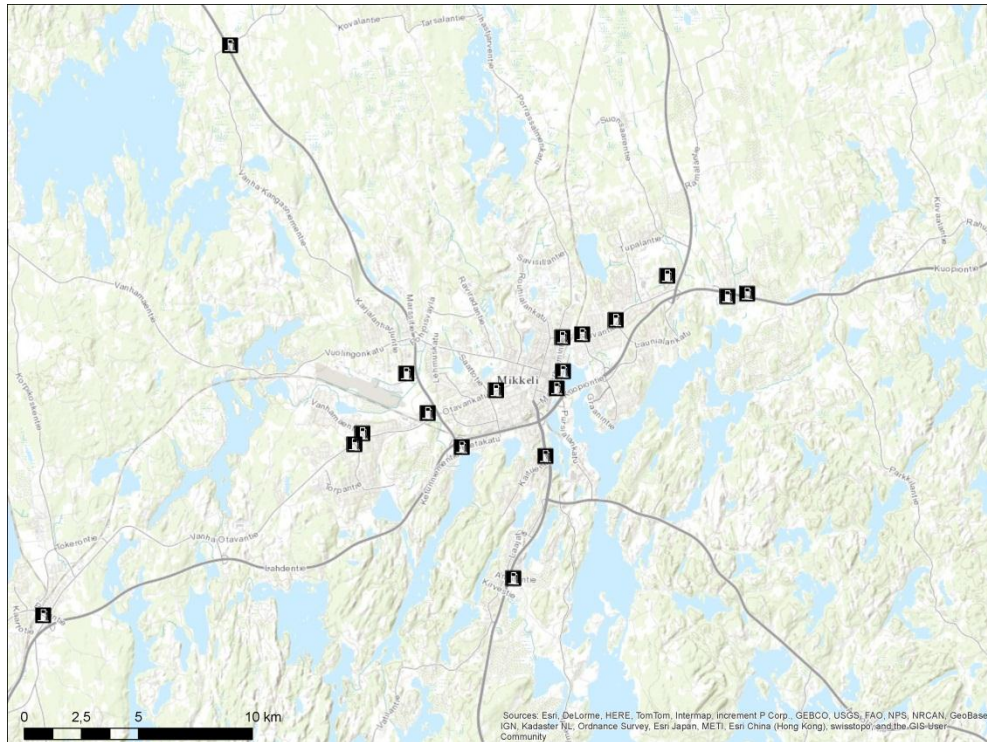
Kuvassa on esitetty tankkausaseman edellyttämä pinta-ala sekä vähimmäisuojaetäisyydet erityyppisiin rakennuksiin tankkausaseman sijaitessa esimerkiksi Mikkelin ns. Veturitalien alueella ja johdettaessa kaasut sinne kaasunsiirtolinjalla. Ko. toimintojen pinta-alan tarve on vähintään 600 – 900 m². Suojaetäisyydet ovat vähimmäisetäisyyksiä kaasun varasto- ja paineistustilasta, joka voi sijaita mittarikentillä tai muualla alueella. Infran tarkempi suunnittelu edellyttää kohdealueen tarkempaa määrittelyä. Tavanomaiset polttoaineet voidaan ottaa jakeluun samoille mittarikentille.

10.4 Kaupallinen konsepti

10.4.1 Kilpailutilanne ja kysyntä

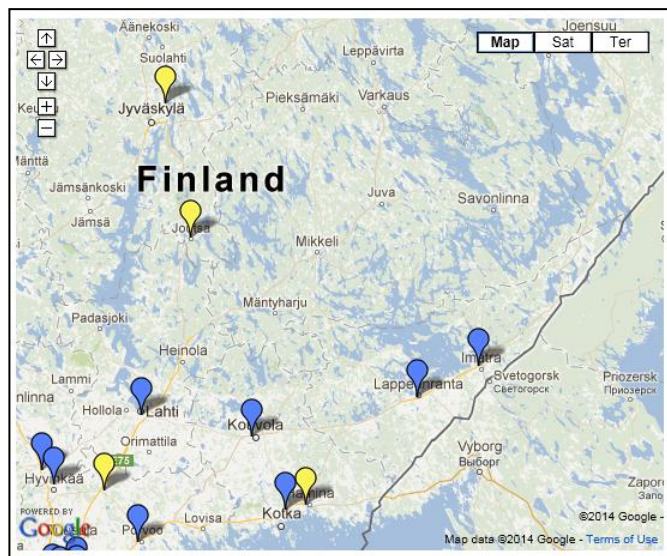
Koko Suomessa on vuonna 2020 kysyntää korkeintaan muutamalle sadalle vaihtoehtoisten polttoaineiden monipolttoaineasemalle ja vuonna 2030 parhaimmillaan muutamalle sadalle.

Mikkeli sijaitsee optimaalisella etäisyydellä pääkaupunkiseudulta ajatellen esimerkiksi pitkämatkalaisten lomaliikennettä pohjoisen suuntaan ja tarvetta pitää taukoja matkalla. Matka-aika pääkaupunkiseudulta Mikkeliin on noin 2,5-3 tuntia (etäisyys noin 230 km). Mikkelin kaupunkialueella on lopettanut useita perinteisiä polttoaineasemia ja paikallisesti tarve korvaaville asemille on jo huomattu. Valtatien 5 varrella Mikkelin kaupungin kohdalla kilpailu pitkämatkalaisia palvelevien huoltoasemien osalta on myös melko maltillinen: kaupungin eteläpuolella valtateiden 5 ja 13 risteysalueella sijaitsee uudehko, konseptin keskimääräisen kokoon verrattuna pienehkö ABC-asema ja kaupungin pohjoispuolella valtatie 5 varrella Visulahdessa sijaitsee vanhempi, pienempi huoltoasema. Varsinaiset pitkämatkalaisia palvelevat kilpailevat huoltoasemakeskittymät ovat sijoittuneet etelässä Kuortti-Vihantasalmi seudulle noin 50–60 kilometrin etäisyydelle Mikkelistä ja pohjoisessa Juvalle, noin 45 kilometrin etäisyydelle.



Kuva 22 Mikkelin huoltoasemat ja kylmäasemat 31.12.2013.

Vaihtoehtoisten polttoaineiden osalta kilpailua on vielä toistaiseksi vähän. Lähimmät sähkölatauspisteet sijaitsevat Mikkelin toriparkissa, mutta ne ovat teholtaan keskinopeita latauspisteitä, jolloin latausaika on selvästi pidempi kuin huoltoasemille soveltuissa pikalatauspisteissä. Kaasun osalta lähin valtatie 5 varrelle sijoittuva tankkausaste sijaitsee Lahdessa noin 130 kilometrin etäisyydellä Mikkelistä, mutta sielläkin asema on irti valtatiestä ja sijaitsee kaupunkirakenteen sisällä. Toisin sanoen asema ei palvele ensisijaisesti pitkämatkalaisia. Valtatie 5 varrelle ei ole pohjoisempaan kaasuntankkausasemia. Muut Mikkeliä lähimpänä sijaitsevat kaasuntankkausasemat sijaitsevat Mikkelin länsipuolelle valtatie 4 varrella Joutsassa ja Jyväskylän pohjoispuolella. Etäisyys molemmille asemille on pyöreästi 100 kilometriä. Lähin vedyn tankkausaste sijaitsee Voikoskella noin 70 kilometriä etelään Mikkelistä. Ko. asema on jo selvästi irti valtatie 5 varrelta.



Kuva 23 Kaasun tankkausasemat [6]

Kysyntää vaihtoehtoisille polttoaineille voidaan arvioida esimerkiksi perustuen alueen liikennemääriin. Valtatien 5 liikennemäärä vaihtelee Mikkelin kaupungin kohdalla noin 13 300 – 17 600 ajoneuvon välillä eli keskimäärin liikenteen voidaan arvioida olevan 15 500 ajoneuvoa vuorokaudessa riippuen tarkemmasta tietosuudesta.[48] Henkilöajoneuvoista tällä hetkellä noin 0,07 prosenttia on vaihtoehtoisilla polttoaineilla toimivia eli em. 15 500 ajoneuvon vuorokausiliikenteestä tämä tarkoittaisi noin 110 ajoneuvoa vuorokaudessa (valtatie vuorokausiliikenteessä on mukana myös raskasliikenne eikä vain henkilöautoliikenne). Ajoneuvojen lukumäärällä mitattuna vaihtoehtoisten polttoaineiden kysyntä on Mikkelissä vielä pientä ja kannattavan toiminnan edellytykset täyttyvät Mikkelissä todennäköisesti vasta 2020-luvulla. Henkilöajoneuvoista vuonna 2020 arviolta 1-5 % vaihtoehtoisilla polttoaineilla toimivia eli 15 500 ajoneuvon vuorokausiliikenteestä tämä tarkoittaisi 150 – 775 ajoneuvoa/vrk. Henkilöajoneuvoista vuonna 2030 arviolta jopa yli 25 % vaihtoehtoisilla polttoaineilla toimivia (maksimiskenaario) ja 15 500 ajoneuvon vuorokausiliikenteestä tämä tarkoittaisi 3 900 ajoneuvoa/vrk. Luvut eivät sisällä hybridi-autoja, jotka lisäävät potentiaalia eikä liikennemääräennusteita ole ollut käytettävissä.



Kuva 24 Valtateiden keskimääräinen vuorokausiliikenne vuonna 2012[48]

10.4.2 Muita kaupalliseen konseptiin vaikuttavia tekijöitä

Satamalahdessa on Mikkelin kaupungin näkökulmasta paras huoltoasemapaiikka ja siellä myös maan hinta on korkea, joten aseman oltava kaupallisesti tuottava. Mahdollisen huoltoasemayrittäjän on kysynnän lisäksi huomioitava myös Mikkelin muu asiointipotentiali suunniteltaessa konseptin täydentäviä osia, joilla huoltoaseman kannattavuusedellytykset voidaan turvata ennen kuin vaihtoehtoisten polttoaineiden myynti on kannattavaa. Muuta kysyntää voidaan arvioida esimerkiksi tuoteryhmä- ja palvelukohtaisten keskimääräisten kulutuslukujen ja markkina-alueen asukasluvun perusteella. Ajomatkaltaan 30 minuutin säteellä Mikkelistä asuu noin 58 000 asukasta.

Lisäksi kysyntää vaihtoehtoisille polttoaineille voidaan lisätä julkisen hallinnon toimilla: kaupunki voi tukea vaihtoehtoisten polttoaineiden kysynnän kasvua esimerkiksi määräämällä kilpailutuksessa tietyt käyttövoimat kaupungin joukkoliikenteeseen..

Raskaan liikenteen synnyttämää kysyntää ei ole tässä arvioitu erikseen. Maailmalla valtaosassa tapauksia kysyntä on lähtenyt liikkeelle paikallisbussiliikenteestä. Mikkelin kohdalla on huomattava, että ns. pohjoisesta risteyksestä kulkee paljon raskasta liikennettä, esim. polttoainekuljetuksia voimalaitokselle. Raskaan liikenteen LNG-kysyntä olisi hyvä lisäelementti suunniteltuun konseptiin, koska yksi rekka-auto vastaa siitä näkökulmasta montaa henkilöautoa.

10.5 Kaasun tarjonta

Kaasun saatavuuden keskeisenä lähtökohtana on biokaasun jakeluputki, joka tulee Metsä-Sairilan biokaasutuotannosta. Ensimmäisenä kapasiteettiin liittyvänä tavoitteena on, että paikallinen biokaasun tuotanto kulutetaan kaasuntankkauksessa. Biokaasun tuotantoa on useassa toimipisteessä yhteensä n. 15 GWh, mikä riittää 800-1 000 henkilöautolle. Optimaalista olisi, jos peruskysyntä ylittäisi oman tuotannon, jolloin kaasua eri muodossaan myös tuotaisiin muualta puskuriksi.

10.6 Liiketoimintamalli ja avaintoimijat

Mikkelin multifuel-konseptin kehittämisen nykyinen toimijaverkosto muodostuu seuraavista toimijoista:

- Metsäsairila Oy, biokaasun tuotanto, sähkö
- Biohauki Oy, biokaasun tuotanto
- Juvan Bioson Oy, biokaasun tuotanto
- Gasum, bio-/maakaasu back-up
- Woikoski Oy, vedyn tuotanto ja jakelu
- Etelä-Savon Energia ESE, sähköautojen lataus
- Ensto Oy, sähköautojen latauspisteet
- ST1 Oy, RE85 jakelu
- Mikkelin kaupunki, kaavoitus, kysynnän aktivointi
- Mikkelin ammattikorkeakoulu MAMK, taustaselvitykset, t&k
- Miktech Oy, koordinointi, esiselvitykset, hankevalmistelu

Kehityshankkeessa on seuraavaksi määritettävä liiketoimintamalli, erityisesti kuka toimija tai ketkä toimijoista ovat hankekehittäjiä ja investoijia. Liiketoimintamalli vaikuttaa myös mm. siihen, mitä rahoitusta ja tukia voidaan hakea, koska osa tuista suunnattu investorille ja osa julkiselle sektorille. Näin ollen tukien hakemisenkin näkökulmasta on pystyttävä määrittämään, kuka lähtee viemään hanketta eteenpäin.

Toimijoiden työpajassa 30.9 hahmotettiin alustavasti seuraavanlainen kaksiosainen konsepti ja toimintamalli multifuel-aseman toteuttamiseen:

- Uusien polttoaineiden multifuel-konsepti suunnitellaan konseptitasolla valmiiksi erityisesti sijoituspaikan ja teknisten vaatimusten osalta
- Järjestetään kilpailu kaupallisesta konseptista. Sijoituspaikalle kilpailutetaan kaupallinen toimija, jolle ehtona multifuel-konseptin toteuttaminen. Erityisen tärkeää on selvittää, mitä muita kaupallisia palveluita toimija lisää konseptiin
- Julkinen toimija voi hakea rahoitusta multifuel-konseptin määrittämiseen, tähän on tunnistettu useita mahdollisuuksia, mm. Biotalous Inka-ohjelma ja Tekesin Fiksu-kaupunki-ohjelma
- Kun kaupallinen toimija on valittu, voidaan hakea esim. TEMin energiatukea

Toimintamallin osalta on olemassa alustavaa tietoa Woikoski Oy:n mahdollisuuksista saada julkista rahoitusta seuraavaan vedyn tankkausasemaan. Mikkelin olisi tälle yksi potentiaalinen sijaintipaikka.

10.7 Caselle asetetut tavoitteet

Mikkeliin, lähtökohtaisesti Satamalahteen, kehitteillä oleva multifuel-asema täyttää lähtökohtaisesti kattavasti selvityksessä caselle asetetut tavoitteet ja toiveet

- testiympäristö polttoaineille ja jakelutekniikoille
- demonstraatio energiavaihtoehtojen monimuotoisuudesta.
- ”tietokeskus”, joissa käyttäjille esitellään uusia polttoaineita
- harjoite uusien polttoaineiden tuomiselle yleiseen jakeluun samalla jakelupaikalla, toimintamalli, jossa samalla liikepaikalla toimii usean eri jakeluyhtiön jakelupisteitä
- sosiaalinen yhteisön ja ”ekosysteemin” muodostuminen palveluntarjoajista ja käyttäjistä

Asetetuista tavoitteista ”kansainvälisyys ja monikielisyys” eivät oletusarvoisesti ole priorisoituneet korkealle, mutta niitä kannattaa tuoda esille erityisesti kun ajatellaan ulkomaisten matkailijoiden ja loma-asukkaiden tuomaa potentiaalia

10.8 Casen jatkotoimenpiteet

Työpajassa 30.9.2014 tunnustettiin Mikkelin multifuel-konseptin avaintoimijoiden kanssa seuraavia jatkotoimenpiteitä hankkeen eteenpäinviemiseksi

- Sijaintivaihtoehtojen sisällyttäminen kaupunkisuunnitteluun ja kaavaan
- Hankekehityksen organisointi ja kuvaaminen sen eri vaiheissa
- Liiketoimintamallin ja konseptin tarkennus, lopputuloksena määrittely niin että multifuel-konsepti voidaan toteuttaa osana kaupallista kilpailutusta
- Rahoitusvaihtoehtojen tarkennus ja rahoituksen haku erityisesti em. määrittelyvaiheeseen
- Kysynnän lisäämiseen tähtävien toimenpiteiden tunnistus ja käynnistys

Mikkelissä järjestetään asuntomessut vuonna 2017, ja tavoitteena olisi saada multifuel-asema valmiiksi ennen tätä. Yhtenä ideana on noussut esille energiateeman jatkaminen asuntomessualueelle, mm. asentamalla sähkön kotilatauspisteitä messualueen taloihin. Aseman toteutukseen voisi liittää myös mm. tuuliturbiinin, jolla voidaan tuottaa käyttösähköä aseman tarpeisiin

11. YHTEENVETO JA LOPPUSANAT

Tehty selvitys vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelu-infrastruktuurista ja sen laajentamisesta toi esille seuraavia keskeisiä huomioita

1. Sähköajoneuvojen latauspisteiden ohjeistuksesta, tekniikasta ja kustannuksista löytyy kansallisella tasolla eniten kokemusperäistä ja julkista tietoa. Latauspisteverkoston laajentamisessa on mukana monia toimijoita, joilla on tähän kaupallinen intressi – toki kaikki odottavat sähköajoneuvojen määrän merkittävää kasvua Suomessa
2. Liikennekaasun tankkausasemien mitoitusta ja turvallisuutta koskevat monet säädökset on vedetty ansiokkaasti yhteen Kaasuyhdistyksen ja Tukesin yhteistyönä tekemässä ohjeessa. Vetytankkauksesta ei ole vastaavaa kansallista ohjeistusta
3. Liikennekaasun ja -vedyn tankkausasemien sijoitukseen ja luvitukseen liittyvissä asioissa kannattaa kääntyä paikallisten viranomaisten puoleen, erityisesti jos on kyse laajemmasta maa-alueesta tai sijoittumisesta taajamaan. Kansallisesti kuvatut menettelytavat jätävät tässä jonkin verran tulkintavaraa. Sen sijaan palaviin kaasuihin liittyvästä turvallisuudesta on olemassa selkeät yksityiskohtaiset säännökset ja ohjeet.
4. Jakeluinfrastruktuuriin liittyvät säädökset ovat syntyneet jokaiselle polttoaineelle erikseen ja pohjautuvat eri lähtökohtiin. Selvityksen pohjalta säädökset eivät kuitenkaan aiheuta

silmiinpistäviä ongelmia eri jakeluinfrastruktuurien yhteensovittamisessa, erityisesti kun on kyse liikennekaasusta ja latauspisteistä, jollaisia yhdistelmiä onkin jo toteutettu. Kaasutankkausasemia vastaavaa käytännön ohjeistusta tarvittaneen vetytankkaukseen sen mahdollisesti laajentuessa.

5. Kaasun ja vedyn osalta jakeluinfrastruktuuriin liittyvät kustannukset ovat vahvasti sidoksissa kaasun ja vedyn paikalletuonnin tapaan ja tarjottavaan kapasiteettiin. Kaasua voidaan tuottaa lähes paikan päällä (biokaasu), tuoda putkistoa pitkin tai jaella varastosta. Vetyä voidaan tuoda putkistoa pitkin, tuottaa paikan päällä tai jaella varastosta. Maa-kaasun jakeluverkostoon liittyvistä kaasun jakeluasemista on suurimmalla toimijalla Gasumilla jo paljon referenssejä sekä kokemuseräistä tietoa.
6. Vahvasti yleistäen voinee sanoa, että yhden sähköajoneuvojen pikalatauspisteen investointikustannukset ovat noin 40 000 euroa, kaasun tankkausaseman investointikustannukset vaihtelevat välillä 200 000 – 600 000 euroa ja pienikapasiteettisen vedyn tankkausaseman investointi vaihtelee 500 000 ja 1 000 000 euron välillä.
7. Vahvasti yleistäen arvioimme, että laajamuotoisemman vaihtoehtoisten polttoaineiden hybridiaseman kustannustaso vaihtelee miljoonasta kahteen miljoonan euroon, kun asemalla on 2-3 kaasun ja vedyn tankkauspaikkaa sekä useita latauspisteitä
8. Case-tarkastelu osoitti että sijaintipaikan merkitys korostuu haettaessa kaupallista toteuttavuutta vaihtoehtoisten polttoaineiden jakelussa. Suomen ajoneuvokanta (kysyntä) on ja pysyy suhteellisen pienenä ja keskittyy asuinkeksuksiin, joissa liikennöinti muodostuu tyypillisesti päivittäisistä liikkumistarpeista ja viikonloppujen mökkimatkailuista. Maa-seudulla henkilöautokanta harvenee mutta autot muuttuvat yhä tarpeellisemmaksi julkisen liikenteen harvetessa ja asiointimatkojen pidetessä.

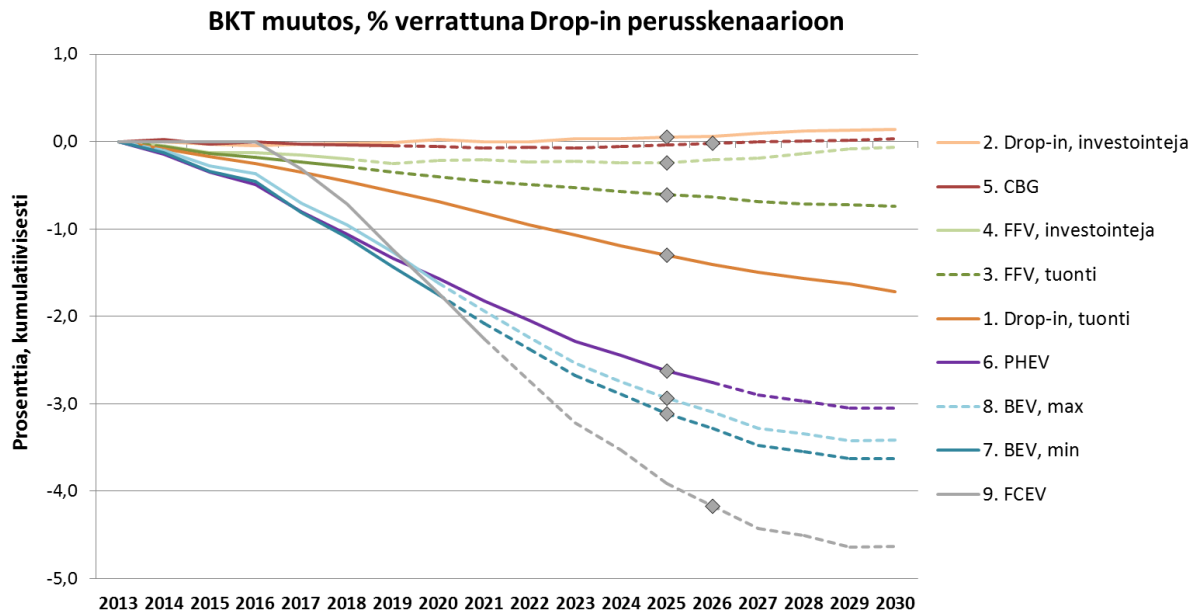
Tehdyt benchmark-selvitykset osoittivat että ajoneuvoihin sekä niiden polttoaineisiin ja käyttövoimiin liittyvien teknologioiden kehitys on toisaalta nopeaa ja toisaalta maakohtaisesti vaihtelevaa. Nopeudesta on esimerkkinä sähköajoneuvojen ja niiden lataustekniikan kehitys, vaihtelevuudesta taas kaasu- ja vetykäyttöisten autojen käytön kasvunopeus eri maissa. On selvää, että kansallisilla lainsäädännöllisillä toimenpiteillä ja tuilla voidaan merkittävästi vaikuttaa siihen, mitä vaihtoehtoisia polttoaineita lähdetään laajemmin käyttämään. Suomi lienee tässä asiassa parhaillaan valintojen edessä, tekeepä valinnat sitten kuluttajat asenteiden, mieltymysten ja rahakukkaron näkökulmasta tai julkiset tahot lainsäädännön keinoja soveltamalla.

LÄHDELUETTELO

- [1] Vaihtoehtoisten polttoaineiden infrastruktuuri, Euroopan parlamentin hyväksytyt tekstit, 15.4.2014. [viitattu 27.10.2014] Saatavissa:
<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P7-TA-2014-0352+0+DOC+XML+V0//FI>.
- [2] Suunnitteluohje maa- ja biokaasun tankkausasemille [www]. TUKES & Suomen Kaasuyhdistys. Saatavissa:
http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/oppaat/Maakaasu_tankkausasemaohje.pdf.
- [3] Nissilä, M. 2012. Polttokennoajoneuvojen tarvitseman vedyn jakelu ja tankkaus. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- [4] Kuva ABB:n nettisivuilta 2014, www.abb.com
- [5] Turun liikennebiokaasuhanketta valmisteleavan työryhmän raportti Kuvan lähde: Trafix Oy.
- [6] Biokaasuyhdistys. 2014. Saatavissa:
http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=54&Itemid=79
- [7] Joutsan Ekokaasu Oy. 2014. Saatavissa:
<http://joutsanekokaasu.fi/>
- [8] Woikoski Oy.
<http://www.woikoski.fi/>
- [9] Sähköinen liikenne latauspisteet. <http://www.sahkoinenliikenne.fi/suomen-julkiset-latauspisteet>
- [10] Lähde: Trafi ja Eera, <http://www.sahkoinenliikenne.fi/uutiset/sahkoautokanta-kipuaaylospain>, haettu 15.10.2014.
- [11] Sähköautojen tulevaisuus Suomessa. Sähköautot liikenne- ja ilmastopolitiikan näkökulmasta. Liikenne- ja viestintäministeriö, 12/2011.
https://www.lvm.fi/docs/fi/1551284_DLFE-11701.pdf, haettu 23.5.2014.
- [12] Vaihtoehtoisten polttoaineiden jakeluverkkoa selvitetään, tiedote 30.6.2014, Liikenne- ja viestintäministeriö, <http://www.lvm.fi/tiedote/4414676/vaihtoehtoisten-kayttovoimien-jakeluverkkoa-selvitetaan>, haettu 2.9.2014.
- [13] VTT, Juhani Laurikko, 24.9.2014.
- [14] Trafi,
http://www.trafi.fi/filebank/a/1359463064/12c9876d55c4b5834d4ad8e9fc33305d/11230-Liite_liikennekaytossa_olevien_henkilautojen_ennuste_2020.pdf, haettu 17.10.2014.
- [15] Sähkön latauspisteet 2020. Eera Oy/Sähköinen liikenne, <http://www.lvm.fi/lvm-mahtiportlet/download?did=140877>, haettu 2.9.2014.
- [16] SSO. Suur-Seudun Osuuskauppa. Nettisivut S-kanava <https://www.s-kanava.fi/web/s/sso>
- [17] Vihreä moottoritie loppuraportti.
http://www.loviisa.fi/files/download/1Vihreamoottoritie-esiselvitys_loppuraportti30062011_final.pdf
- [18] Clean Energy Partnership Projects (CEP) – nettisivut 2014.
<http://cleanenergypartnership.de/en/home/>

- [19] National Innovation Programme Hydrogen and Fuel Cell Technology by Dr. Klaus Bonhoff, Thorsten Herbert, Hanno Butsc
- [20] McPhy Energy, nettisivut 2014, <http://www.mcphy.com/>
- [21] HYOP AS, nettisivut 2014, <http://hyop.no/>
- [22] Pearson Fuels, nettisivut 2014, www.pearsonfuels.com/
- [23] IANGV, <http://www.iangv.org/current-ngv-stats/>, haettu 5.6.2014.
- [24] Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä, Liikenne- ja viestintäministeriö, julkaisu 15/2013.
- [25] Kaasuajoneuvon käyttö Euroopassa ja Suomessa, Eeli Mykkänen, Jyväskylä Innovation Oy, seminaariesitys 13.12.2011.
- [26] Huoltoasemien lukumäärän lähde Öljyalan keskusliitto. Liikenne käytössä olevat ajoneuvot Trafi, http://www.trafi.fi/filebank/a/1405075763/768e7a970ddd9d1242bafcd1c40529ab/15126-Ajoneuvokanta_-_liikennekaytossa_olevat_maakunnittain_30062014.pdf, haettu 17.10.2014.
- [27] Lähteet: Helsingin sanomat 3.5.2014, http://www.hs.fi/autot/Auto+jota+on+odotettu+20+vuotta++tulevaisuus+saapuu+Suo+meen+ensi+vuonna/a1399010789294?ref=tf_iHShiseboksi-aihe&jako=628a037fbd01ba5228bb8248aa2135a2&sivu=2, haettu 23.5.2014. Yle uutiset 24.1.2014, http://yle.fi/uutiset/vetyautoille_tehtaillaan_tankkauspisteita_-_autoja_on_suomessa_tasan_yksi/7048701?ref=leiki-uu, haettu 23.5.2014.
- [28] Hydrogen refueling Infrastructure Cost Analysis M.W. Melaina, M. Penev National Renewable Energy Laboratory 2012 Department of Energy Fuel Cell Technologies, USA
- [29] National Renewable Energy Laboratory (NREL), nettisivut 2014, <http://www.nrel.gov>
- [30] Lähde: Vetytielkartta -Vetyenergian mahdollisuudet Suomelle, VTT:n tutkimusraportti VTT-R-02257-13, <http://www.tekes.fi/Global/Nyt/Uutiset/Vetytielkartta.pdf>, haettu 23.5.2014.
- [31] HRS and Car deployment for the H2-Mobility roll-out plan until 2030.
- [32] Metener Oy. Henkilökohtainen tiedoksianto. 28.9.2014.
- [33] Gasum Oy. Henkilökohtainen tiedoksianto. 2013.
- [34] Sarlin Oy. Henkilökohtainen tiedoksianto.
- [35] <http://green.autoblog.com/2006/10/18/autobloggreen-tours-the-taylor-mi-hydrogen-filling-station/>
- [36] What does the Norwegian EV market look like today? [www]. Saatavissa: <http://evnorway.no>.
- [37] Hannisdahl, O. Malvik, H. Wensaas, G. 2013. The future is electric! The EV revolution in Norway – explanations and lessons learned. EVS27, Barcelona.
- [38] Tesla Model S [www]. [viitattu 19.5.2014]. Saatavissa: <http://www.teslamotors.com/models>.
- [39] Hiekkänen, A. Business Manager, IGL-Technologies Oy. Keskustelu 23.4.2014, Ramboll, Tampere.
- [40] Saloranta, P. Sales Manager, EV charging, Ensto Oy. Sähköpostiviesti 17.1.2014.
- [41] Mäkinen, J. Tuotepäällikkö, ABB Oy. Keskustelu 14.5.2014, Sähköisen liikenteen foorumi, Espoo.
- [42] Raatikainen, J. Johtaja, Smart grid, Eltel Networks Oy. Sähköpostiviesti 12.5.2014.
- [43] Kymenlaakson Sähkö. Liittymismaksut [www]. [viitattu 16.5.2014]. Saatavissa: <http://www.ksoy.fi/yrityksille/sopimukset-ja-hinnat/hinnat-ja-ehdot/liittymismaksut>.

- [44] Oulun Energia. Sähkösiirron liittymismaksut [www]. [viitattu 16.5.2014]. Saatavissa: https://www.oulunenergia.fi/sahkonsiirto/hinnastot/sahkonsiirron_liittymismaksut.
- [45] Fortum Oyj. Liittymismaksuhinnasto 1.6.2013 [www]. [viitattu 16.5.2014]. Saatavissa: http://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Sahkon-siirto-ja-liittymat/FSS_Liittymishinnasto_1.6.2013_fi.pdf.
- [46] Sähköinen liikenne. Energiainvestointituki [www]. [viitattu 19.5.2014]. Saatavissa: <http://sahkoinenliikenne.fi/energiainvestointituki/>.
- [47] Markkula, J. 2013. Sähköautojen latauspalvelut ja latausliiketoiminta. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. 71 s. + liitt. 7 s.
- [48] Liikennevirasto, liikennemääräkartat 2012, <http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/aineistopalvelut/tilastot/tietilastot/liikennemaarakartat>, haettu 24.9.2014.



Biopolttoaineet 2020 – 2030 tavoitteissa ja liikenteen muu uusiutuva energia

VATTAGE-mallin tietoperusta ja rakenne

Kirjoittajat: Saara Tamminen ja Juha Honkatukia (VATT)

Luottamuksellisuus: Julkinen

VATTAGE-mallin tietoperusta ja rakenne

Tutkimuksessa käytetään laskennallista VATTAGE yleisen tasapainon mallia, joka perustuu tuotannon, kulutuksen ja julkisen sektorin yksityiskohtaisiin kuvauksiin. Mallissa oletetaan, että niin kuluttajat kuin yrityksetkin toimivat rationaalisesti. Kuluttajien ja yritysten valintoja kuvataan optimointiongelmoina, joiden ratkaisuina saadaan erilaisten tuotteiden kulutuskysyntä tai vaikkapa työvoiman ja investointien kysyntä. Mallissa kaikki markkinat (hyödyke ja pamosmarkkinat) ovat tasapainossa (kysyntä on yhtä suurta kuin tarjonta), ja tasapaino saavutetaan suhteellisten hintojen muutosten kautta. Valtion taloudellisessa tutkimuskeskuksessa kehitetty VATTAGE-malli on dynaaminen yleisen tasapainon malli, jota on sovellettu ennen kaikkea veropolitiikan ja energia- ja ympäristöpolitiikan vaikutusten arviointiin sekä pitkän aikavälin talousskenaarioiden laadintaan. VATTAGE-malli ja sen taustalla oleva teoria on kuvattu tarkemmin julkaisussa *Honkatukia (2009)*.

Kyseisellä mallilla voidaan tuottaa rahamääräisiä arvioita talouden reagoinnista erilaisiin politiikan tai ympäröivän maailman muutoksiin. Skenaariokäytössä mallin avulla voidaan tarkastella erilaisten rakenteellisten tekijöiden yli ajan tapahtuvan muutoksen aikaansaamaa kasvua ja tuotanto- ja kulutusrakenteen muutosta. Varsinaisista ennustemalleista tasapainomalleissa ei ole kysymys. Pikemminkin mallit mahdollistavat erilaisia rakenteellisia tekijöitä koskevien ennusteiden ja näkemysten yhdistämisen konsistenteiksi, kokonaistaloudelliseksi skenaarioiksi.

Talouden kuvauksen perustana VATTAGEssa on tietokanta, joka kuvaa talouden toimijoiden välisiä taloustoimia ja kunkin toimijan joko välituotteisiin tai lopputuotteisiin kohdistuvaa kysyntää. Mallin tietokanta rakentuu koko maan tasolla hyvin yksityiskohtaisten tarjonta- ja käyttötaulukkojen pohjalle, joita on täydennetty kattavalla julkisten sektorien ja muun muassa vaihtotaseen kuvauksilla. Mallin tietoaineistot ovat Tilastokeskuksen tuottamia. Yleisen tasapainon malleissa otetaan huomioon kaikki taloudessa tapahtuva taloudellinen aktiviteetti, joka vaikuttaa talouden eri toimijoiden väliseen vuorovaikutukseen. Vastaavasti kansantalouden tilinpito on tilastollinen kehikko, jossa pyritään kuvaamaan koko kansantalous käsitteellisesti yhtenäisenä kokonaisuutena. Kansantalouden tilinpito on myös eräänlainen malli, jossa yleisesti määriteltujen periaatteiden mukaan erilaiset taloudelliset tapahtumat, transaktiot, määritellään ja luokitellaan yhtenäisellä tavalla. Koska kansantalouden tilinpidolla ja numeerisilla yleisen tasapainon malleilla on selvästi yhtäläisyyksiä, kansantalouden tilinpito on käytännöllinen aineistokehikko ja luonnollinen lähtökohta yleisen tasapainon malleilla tehtäville tarkasteluille.

Perustaltaan malli on suuri joukko kuluttajan ja yrityksen teoriasta johdettuja käyttäytymissääntöjä (kysyntä- ja tarjontafunktioita), jotka kattavat kaikki markkinat, niin tuotteet kuin tuotannon tekijätkin. Lisäksi nämä mallit sisältävät sekä kysynnän ja tarjonnan että tulojen ja menojen kohdentumista koskevia tasapainoehdoja. Malli jakautuu siis teoreettisiin osiin, joissa kuvataan talouden toimijoiden käyttäytyminen. Toisen osan muodostavat tasapainoehdot, minkä lisäksi malli käsittää suurehkon määrän erilaisia simulointitulosten analyysiä helpottavia raportointimuuttujia.

Kuluttaja kuvataan mallissa hyödynmaksimoijana, jonka hyvinvoinnin muutoksia mitataan kulutuksen kautta. Mallissa oletetaan kulutuksen seuraavan lineaarista menojärjestelmää, jonka joustoparametrit on estimoitu aikasarja-aineiston perusteella. Menojärjestelmän budjetiosuudet määräytyvät suoraan Tilastokeskuksen tarjonta- ja käyttötaulukkojen perusteella. Kuluttajan valintaa rajoittavat tuotannon tekijätulot ja julkiselle sektorille maksetut verot sekä julkiselta sektorilta saadut tulonsiirrot. Kuluttajan säästöt kohdentuvat sekä kotimaisiin että ulkomaisiin vaateisiin, joiden osalta tietokanta kattaa toteutuneen historian useiden vuosien ajalta.

Yritykset kuvataan voitonmaksimoijina, jotka toimivat vakioskaalatuottojen ja täydellisen kilpailun mukaisesti. Tuotantofunktiot noudattavat YTP-malleissa yleisesti käytössä olevaa

useampitasoista rakennetta, jossa välituotekäyttö muodostaa oman, lineaarisen osansa, jossa suhteelliset hinnat eivät vaikuta eri hyödykkeiden kysyntään, mutta jossa primaarituotannon tekijöiden välinen substituuatio on mahdollista. Mallissa oletetaan lisäksi, että energiahyödykkeet ja primaarituotannon tekijät ovat substituotavissa keskenään. Pääoman ja työpanoksen väliseksi substituuatiojoustoksi on mallissa oletettu kirjallisuuden perusteella 0.5 (*Jalava, Pohjola, Ripatti ja Vilmunen 2005*). Energiapanosten ja primaarituotannon tekijöiden välinen substituuatiojousto noudattaa kansainvälisellä aineistolla tehtyä arviota (*Badri ja Walmsley 2008*).

Investoinnit määräytyvät mallissa pääoman tuottoasteen mukaisesti. Investoinnit ohjautuvat niille toimialoille, joilla pääoman tuoton odotetaan olevan kasvussa. Pitkällä aikavälillä investointien tuoton odotetaan kuitenkin noudattavan trendiä, mikä tarkoittaa sitä, että (efektiivisen) työpanoksen ja pääoman suhde on pitkällä tähtäimellä vakio. Investointihyödykkeet on mallissa kuvattu toimialoittain Kansantalouden tilinpidosta saatavien investointi- ja hyödyketietojen perusteella.

Julkinen sektori on VATTAGE-mallissa kuvattu varsin kattavasti. Julkista kysyntää on mahdollista tarkastella valtion, kuntasektorin ja sosiaaliturvarahastojen osalta erikseen, minkä lisäksi jokaisen sektorin keräämät verot ja maksut sekä verotuksen kautta maksetut tuet on mallinnettu erikseen. Malli kattaa myös tulonsiirrot julkisen ja yksityisen sektorin välillä sekä kuntasektorin, rahastojen ja valtion välillä. Tästä syystä erilaisten julkisen sektorin tilaa kuvaavien alijäämäkäsitteiden käyttö on mahdollista. Julkisen sektorin mallinnus perustuu Kansantalouden tilinpitoon ja osittain sen lähdeaineistoihin. Julkisen sektorin menokehitystä voidaan kuvata eri tavoin, mutta pääpiirteissään menot riippuvat julkispalvelujen kysyntään vaikuttavien eri väestöryhmien kasvusta mallin arvioidessa kustannuskehityksen julkispalveluja tuottavilla toimialoilla, kun taas siirtomenot voidaan esimerkiksi indeksoida hinta- ja palkka-kehitykseen tai niitä voidaan kohdella päätösmuuttujina.

VATTAGE- mallin keskeinen piirre on julkisten rahavirtojen kiertokulun yksityiskohtainen kuvaus. VATTAGE -mallissa julkisen sektorin tuloja ja menoja sekä niiden välisen eron vaikutuksia valtion velkaan on tarkasteltu erikseen koskien kolmea eri julkista alasektoria; keskushallintoa, paikallishallintoa ja sosiaaliturvarahastoja. Koska tuotantoa kuitenkin tarkastellaan yksityiskohtaisen toimialarakenteen avulla, ja koska julkisten tuotteiden tuotanto keskittyy pääasiassa muutamille toimialoille (esimerkiksi terveydenhuoltopalvelut, sosiaaliturvapalvelut, jne.) on suurin osa julkisten palvelujen tuotannosta helposti identifioitavissa tarkastelemalla panos-tuotostaulujen toimialarakennetta.

Muun maailman osalta VATTAGE-malli rajoittuu tarkastelemaan vientiä ja tuontia EU-maihin ja EU:n ulkopuoliseen maailmaan. Ulkomaankaupan lisäksi tietokanta käsittää maksutaseen. Sekä kotitalouksien että julkisen sektorin vaateet ja vastuut ulkomaille on mallinnettu eksplisiittisesti, samoin ulkomaisten omistukset Suomessa. Finanssi-investoinnit eivät ole mallin kannalta keskeinen kiinnostuksen kohde, mutta niillä on merkitystä hyvinvointivaikutusten arvioinnissa, jos esimerkiksi osa suomalaisyrityksiä koskevista vaikutuksista valuu ulkomaille.

Mallin dynamiikkaan liittyy kaksi keskeistä piirrettä. Ensimmäinen näistä koskee investointeja fyysiseen pääomaan ja arvopapereihin, toinen puolestaan palkkojen määräytymistä. Investoinnit jakautuvat toimialojen välillä pääoman odotetussa tuotossa tapahtuvien muutosten mukaisesti. Odotuksien sopeutumisen voidaan joko olettaa olevan hidasta tai sitten malli voidaan ratkaista rationaalisin odotuksin. Rahoitusvaateilla on siinä mielessä tärkeä osa mallin dynamiikassa, että ne kuvaavat talouden eri sektorien ja koko kansantalouden varallisuuden kehitystä. Palkkojen osalta malli mahdollistaa useita eri lähestymistapoja, joista yksi olettaa reaali-palkkajäykkyyden yli ajan. Reaali-palkkojen sopeutumismuutos onkin yksi keskeisiä talouden sopeutumiseen vaikuttavia tekijöitä.

VIITTEET

Honkatukia, J. (2009): VATTAGE – A dynamic, applied general equilibrium model of the Finnish economy. VATT Research Reports 150. 164 sivua.

https://www.vatt.fi/file/vatt_publication_pdf/t150.pdf

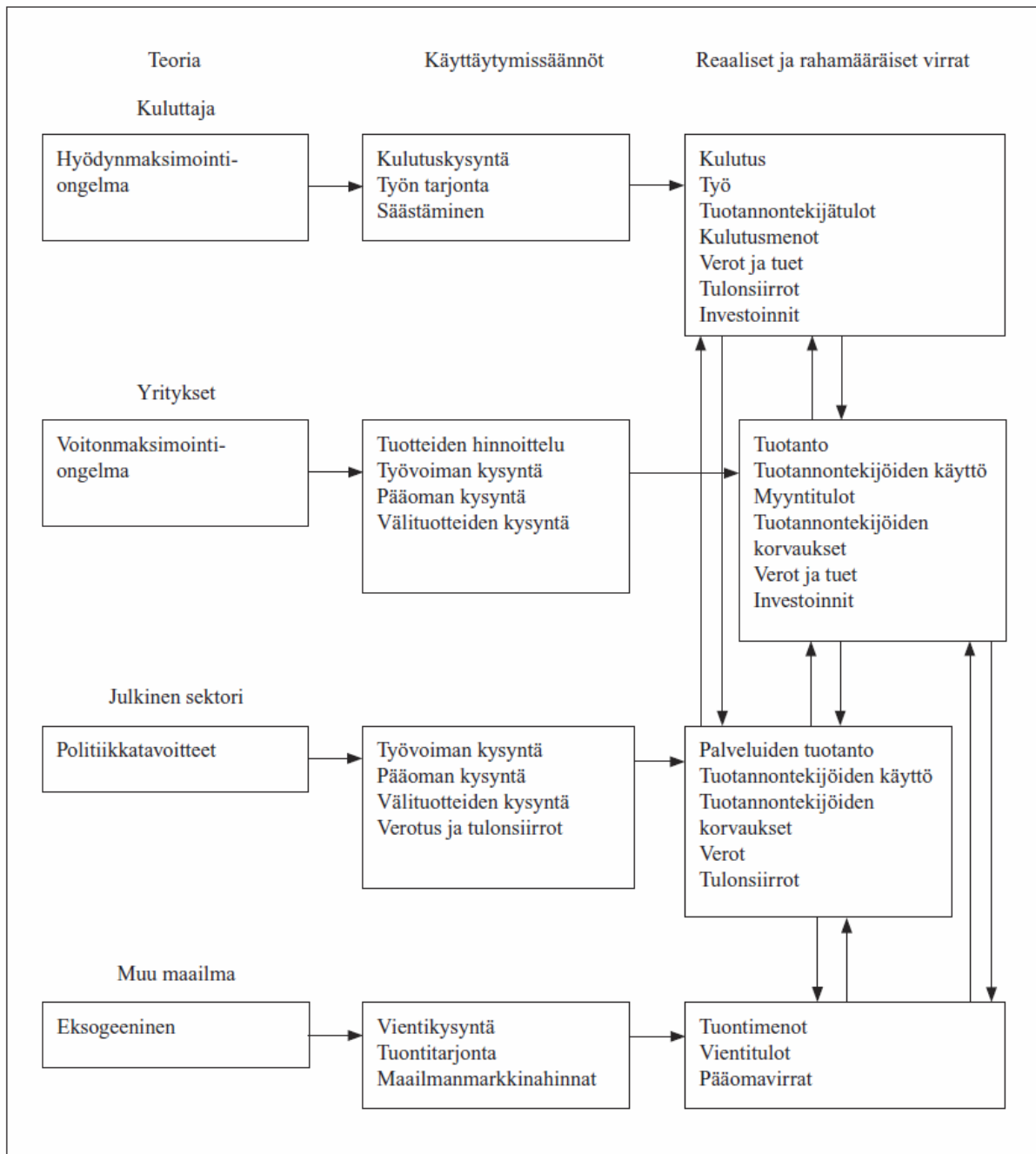
Jukka Jalava - Matti Pohjola - Antti Ripatti - Jouko Vilmunen. Biased Technical Change and Capital-Labour Substitution in Finland, 1902-2003. Discussion Paper No 56 / March 2005. Helsinki Center of Economic Research, Discussion Papers, ISSN 1795-0562.

<http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/eri/hecer/disc/56/biasedte.pdf>

Badri, N. G. ja Walmsley, T.L. (toim.) (2008): Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 7 Data Base, Center for Global Trade Analysis, Purdue University.

https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v7/v7_doco.asp

Kuvio 1 Tasapainomallin yleinen rakenne.



Liite 6: Laskennan tausta-aineistoa

TAULUKKO 6.1: Uusien autojen myynti (yhteinen kaikille skenaarioille)

Uusien autojen myynti (kpl/a)	2015	2020	2025	2030
Henkilöautot	160 000	170 000	180 000	190 000
Pakettiautot	14 000	16 000	16 000	17 000
Kuorma-autot	4500	5500	5500	5500
Linja-autot	550	650	650	700

Taulukko 6.2: Lisäkustannukset eri käyttövoimavaihtoehtojen autoille, henkilö- ja pakettiautot.

Henkilöautot	auto	tekniikka	veroton hinta		lisäkustannus				€/auto 2030	%	
			perus €/auto 2015	lisäkustannus €/auto 2015	Hinnan kehitys (omat arviot)						
					2015	2020	2025	2030			
HA	perus		20 000	0	0	0	0	0	20 000		
HA	FFV (E85)		20 000	0	0	0	0	0	20 000	0 %	
HA	CNG/CBG ¹		22 175	2 175	11 %	2 175	2 000	1 750	1 500	21 500	8 %
HA	hybridi ²		26 000	6 000	30 %	6 000	5 000	4 000	3 000	23 000	15 %
HA	PHEV-G ³		34 000	14 000	70 %	14 000	11 000	9 000	7 000	27 000	35 %
HA	PHEV-D ⁴		34 000	14 000	70 %	14 000	11 000	9 000	7 000	27 000	35 %
HA	BEV ⁵		36 500	16 500	83 %	16 500	14 000	12 000	10 000	30 000	50 %
HA	FCEV ⁶		55 000	35 000	175 %	35 000	30 000	23 000	15 000	35 000	75 %

¹ http://www.ngvaeurope.eu/downloads/studies/CNG_as_Automotive_fuel_for_CEE_english_final.pdf, sivu 18.

² keskimääräinen hinnan ero Toyota Auris normaali- ja hybridiversion välillä, NED, UK, FIN

³ keskimääräinen hinnan ero Toyota Prius HEV ja PHEV mallien välillä, NED, US, JPN, UK, FIN

⁴ oletus: sama kuin PHEV-G

⁵ hinnan ero Nissan Qasqai vs. Nissan Leaf, FIN, ilman autoveroa

⁶ arvio; Toyota Mirai n. 50 - 60 kEUR; http://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Mirai

Pakettiautot	+30% HA kustannuksiin
--------------	-----------------------

Taulukko 6.3: Lisäkustannukset eri käyttövoimavaihtoehtojen autoille, linja-autot.

Linja-autot	veroton hinta	perus		lisäkustannus		lisähinnan kehitys		€/auto		hinnan reduktio	
		€/auto	€/auto	2015	2015	2015	2020	2025	2030	€	%
auto	tekniikka	2015	2015			2015	2020	2025	2030	€	%
LA	diesel	250 000	0	0 %	0	0	0	0	0		
LA	ED95 ¹	250 000	0	0 %	0	0	0	0	0		
LA	CNG/CBG ²	300 000	50 000	20 %	50 000	47 000	45 000	40 000	10 000	-20 %	
LA	LNG ³	320 000	70 000	28 %	70 000	65 000	60 000	55 000	15 000	-21 %	
LA	D-HYB ⁴	320 000	70 000	28 %	70 000	65 000	60 000	50 000	20 000	-29 %	
LA	BEV ⁵	500 000	250 000	100 %	250 000	225 000	200 000	150 000	100 000	-40 %	
LA	FCEV ⁶	1 000 000	700 000	300 %	700 000	550 000	450 000	350 000	350 000	-50 %	

¹arvio; ei merkittävää rakenteellista eroa normaaliin dieseliin

²arvio; kaasubussien hinnat HSL-liikenteessä

³arvio; kuten CBG+kryogeeninen polttoainesäiliö

⁴arvio; markkinoilla olevat autot

⁵arvio; BYD, <http://www.pluginamerica.org/vehicles/byd-auto-electric-bus>

⁶arvio; <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60603.pdf>

Taulukko 6.4: Lisäkustannukset eri käyttövoimavaihtoehtojen autoille, kuorma-autot.

Kuorma-autot	veroton hinta	perus		lisäkustannus		lisähinnan kehitys		€/auto		hinnan reduktio	
		€/auto	€/auto	2015	2015	2015	2020	2025	2030	€	%
auto	tekniikka	2015	2015			2015	2020	2025	2030	€	%
KAIP	diesel	100 000	0	0 %	0	0	0	0	0		
KAIP	ED95 ¹	100 000	0	0 %	0	0	0	0	0		
KAIP	D-HYB ²	140 000	50 000	40 %	50 000	45 000	40 000	35 000	15 000	-30 %	
KAIP	CNG/CBG ³	142 500	42 500	43 %	42 500	40 000	37 000	35 000	7 500	-18 %	
KAIP	LNG ⁴	150 000	50 000	50 %	50 000	47 000	43 000	40 000	10 000	-20 %	
KAIP	BEV ⁵	280 000	180 000	180 %	180 000	160 000	140 000	100 000	80 000	-44 %	
KAP	diesel	150 000	0	0 %	0	0	0	0	0		
KAP	ED95 ¹	150 000	0	0 %	0	0	0	0	0		
KAP	CNG/CBG ³	200 000	50 000	33 %	50 000	45 000	40 000	35 000	15 000	-30 %	
KAP	LNG ⁵	220 000	70 000	47 %	70 000	65 000	60 000	50 000	20 000	-29 %	

¹arvio; ei merkittävää rakenteellista eroa normaaliin dieseliin

²arvio; markkinoilla olevat autot

³arvio; http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/natural_gas_vehicles.pdf; s. 20

⁴arvio; http://lng-fuelledvehicles.com/uploads/files/3112/Annemarie_Timmermans_.pdf; sivu 22

⁵arvio; <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2013/wp29grsg/GRSG-104-32e.pdf>; sivu 8

TAULUKKO 6.5: Kumulatiiviset ajoneuvolisäkustannukset 2030 eri skenaarioissa.

Lisäkustannukset (MEUR)	2030							
	KONV	DROP-IN	FFV	GAS	PHEV	BEV	FCEV	KEHITYS
Henkilöautot, bensiini	0	0	0	0	0	0	0	
Henkilöautot, diesel	0	0	0	0	0	0	0	
Henkilöautot, FFV	0	0	0	0	0	0	0	
Henkilöautot, GAS	0	0	0	2 291	0	0	0	86
Henkilöautot, PHEV	0	0	0	0	13 988	0	0	
Henkilöautot, BEV	0	0	0	0	0	14 190	0	1 158
Henkilöautot, FCEV	0	0	0	0	0	0	25 666	
Henkilöautot, yhteensä	0	0	0	2 291	13 988	14 190	25 666	1 245
Pakettiautot, bensiini	0	0	0	0	0	0	0	
Pakettiautot, diesel	0	0	0	0	0	0	0	
Pakettiautot, FFV	0	0	0	0	0	0	0	
Pakettiautot, GAS	0	0	0	154.3	0	0	0	10
Pakettiautot, PHEV	0	0	0	0	436	0	0	
Pakettiautot, BEV	0	0	0	0	0	578	0	33
Pakettiautot, FCEV	0	0	0	0	0	0	870	
Pakettiautot, yhteensä	0	0	0	154.3	435.7	577.6	870.0	42.3
Linja-autot, diesel	0	0	0	0	0	0	0	
Linja-autot, ED95	0	0	0	0	0	0	0	
Linja-autot, GAS	0	0	0	63	0	0	0	11
Linja-autot, PHEV	0	0	0	0	56	0	0	
Linja-autot, BEV	0	0	0	0	0	182	0	191
Linja-autot, FCEV	0	0	0	0	0	0	212	
Linja-autot, yhteensä	0	0	0	63	56	182	212	201.6
Kuorma-autot, diesel	0	0	0	0	0	0	0	
Kuorma-autot, ED95	0	0	0	0	0	0	0	
Kuorma-autot, GAS	0	0	0	310	0	0	0	23
Kuorma-autot, PHEV	0	0	0	0	292	0	0	
Kuorma-autot, BEV	0	0	0	0	0	482	0	23
Kuorma-autot, FCEV	0	0	0	0	0	0	0	
Kuorma-autot, yhteensä	0	0	0	310	292	482	0	46.0
kalusto, yhteensä, MEUR	0	0	0	2819	14771	15432	26748	1534

TAULUKKO 6.6: Vuosi-identtiset infrastruktuurikustannusolettamat vuoteen 2030.

Kaasu	
minimi EUR/auto	347
maksimi, EUR/auto	470

Sähköinfra	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
minimi EUR/auto	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1020	1020	1020	1020	1020	680	680	680	680	680	680
maksimi, EUR/auto	5500	5500	5500	5500	5500	5500	3300	3300	3300	3300	3300	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Vety																	
EUR/auto		1853	1853	1647	1647	1647	1441	1441	1441	1235	1235	1235	1235	1235	1132	1029	

TAULUKKO 6.7: Kumulatiiviset infrastruktuurikustannukset 2030 eri skenaariossa

Infrastruktuuri	2030							
Lisäkustannukset (MEUR)	KONV	DROP-IN	FFV	GAS	PHEV	BEV	FCEV	KEHITYS
kaasu (keskiarvo)	0	0	0	521	0	0	0	19
sähkö, min	0	0	0	0	0	758	0	350
sähkö, max	0	0	0	0	0	2451	0	1133
vety	0	0	0	0	0	0	XXXX	0
yhteensä	0	0	0	521	0	3208		1503

Ajoneuvomäärät kannassa, myyntiosuudet, energia ja polttoaineet eri skenaarioissa.

TAULUKKO 7.1 Perusskenaario (KONV)

Perusskenaario					Perusskenaario				
Ajoneuvot [kpl]	2015	2020	2025	2030	Uusmyyntiosuudet [%]	2015	2020	2025	2030
Henkilöautot, bensiini	1 967 851	2 047 189	2 072 689	2 181 539	Henkilöautot, bensiini	63 %	66 %	68 %	70 %
Henkilöautot, diesel	707 289	898 218	1 010 060	1 071 037	Henkilöautot, diesel	37 %	34 %	32 %	30 %
Pakettiautot, bensiini	10 491	6 407	4 772	4 724	Pakettiautot, bensiini	1 %	1 %	2 %	2 %
Pakettiautot, diesel	288 406	302 690	300 331	306 907	Pakettiautot, diesel	99 %	99 %	98 %	98 %
Linja-autot, diesel	11 925	12 017	12 350	12 829	Linja-autot, diesel	100 %	100 %	100 %	100 %
Kuorma-autot, diesel	95 954	97 034	99 665	102 763	Kuorma-autot, diesel	100 %	100 %	100 %	100 %
Energia [PJ]					Polttoaineet [Mtoe]				
Henkilöautot, bensiini	54	50	47	46	fossiilinen bensiini	1.22	1.13	1.06	1.03
Henkilöautot, diesel	35	40	40	38	fossiilinen diesel	2.23	2.03	2.03	1.99
Pakettiautot, bensiini	0.2	0.1	0.1	0.1	uusiutuva diesel	0.19	0.45	0.44	0.44
Pakettiautot, diesel	14	14	13	12	etanoli	0.09	0.08	0.08	0.07
Linja-autot, diesel	6	6	6	6	kaasu	0	0	0	0
Kuorma-autot, diesel	45	43	44	44	biokaasu	0	0	0	0
Yhteensä	154	153	149	146	sähkö	0	0	0	0
					vety	0	0	0	0

TAULUKKO 7.2 Perusskenaario (KONV+nykyisen jakeluvaihtoehdon mukaiset biopolttoainemäärät).

Vain NYKYISEN SEKOITTELVAIHTOEHDON MUKAISET biopolttoaineet					Vain NYKYISEN SEKOITTELVAIHTOEHDON MUKAISET biopolttoaineet				
Ajoneuvot [kpl]	2015	2020	2025	2030	Uusmyyntiosuudet [%]	2015	2020	2025	2030
Henkilöautot, bensiini	1 967 851	2 047 189	2 072 689	2 181 539	Henkilöautot, bensiini	63 %	66 %	68 %	70 %
Henkilöautot, diesel	707 289	898 218	1 010 060	1 071 037	Henkilöautot, diesel	37 %	34 %	32 %	30 %
Pakettiautot, bensiini	10 491	6 407	4 772	4 724	Pakettiautot, bensiini	1 %	1 %	2 %	2 %
Pakettiautot, diesel	288 406	302 690	300 331	306 907	Pakettiautot, diesel	99 %	99 %	98 %	98 %
Linja-autot, diesel	11 925	12 017	12 350	12 829	Linja-autot, diesel	100 %	100 %	100 %	100 %
Kuorma-autot, diesel	95 954	97 034	99 665	102 763	Kuorma-autot, diesel	100 %	100 %	100 %	100 %
Energia [PJ]					Polttoaineet [Mtoe]				
Henkilöautot, bensiini	54	50	46	44	fossiilinen bensiini	1.22	1.13	1.00	0.91
Henkilöautot, diesel	35	40	40	38	fossiilinen diesel	2.21	1.98	1.67	1.39
Pakettiautot, bensiini	0.2	0.1	0.1	0.1	uusutuva diesel	0.22	0.49	0.78	1.00
Pakettiautot, diesel	14	14	12	12	etanoli	0.09	0.08	0.12	0.15
Linja-autot, diesel	6	6	6	6	kaasu	0	0	0	0
Kuorma-autot, diesel	45	43	43	44	biokaasu	0	0	0	0
Yhteensä	154	153	147	143	sähkö	0	0	0	0
					vety	0	0	0	0

TAULUKKO 7.3 FFV-skenaario.

Korkeaseosetanoli (FFV/ED95)					Korkeaseosetanoli (FFV/ED95)				
Ajoneuvot [kpl]	2015	2020	2025	2030	Uusmyyntiosuudet [%]	2015	2020	2025	2030
Henkilöautot, bensiini	1 955 438	1 872 383	1 544 653	1 119 638	Henkilöautot, bensiini	57 %	38 %	19 %	0 %
Henkilöautot, FFV	31 864	277 224	787 684	1 547 861	Henkilöautot, FFV	12 %	41 %	71 %	100 %
Henkilöautot, diesel	693 232	800 713	754 090	587 376	Henkilöautot, diesel	32 %	21 %	11 %	0 %
Pakettiautot, bensiini	11 764	9 305	7 759	6 007	Pakettiautot, bensiini	4 %	3 %	1 %	0 %
Pakettiautot, FFV	1 688	18 032	50 463	99 458	Pakettiautot, FFV	8 %	29 %	49 %	70 %
Pakettiautot, diesel	285 444	281 758	246 879	206 164	Pakettiautot, diesel	88 %	69 %	49 %	30 %
Linja-autot, diesel	11 925	11 900	11 808	11 561	Linja-autot, diesel	100 %	93 %	84 %	75 %
Linja-autot, ED95	0	116	543	1 268	Linja-autot, ED95	0 %	7 %	16 %	25 %
Kuorma-autot, diesel	95 954	95 523	92 834	87 098	Kuorma-autot, diesel	100 %	89 %	75 %	61 %
Kuorma-autot, ED95	0	1 510	6 830	15 665	Kuorma-autot, ED95	0 %	11 %	25 %	39 %
Energia [PJ]					Poltoaineet [Mtoe]				
Henkilöautot, bensiini	53	46	36	25	fossiilinen bensiini	1.22	1.12	1.00	0.91
Henkilöautot, FFV	1	9	23	41	fossiilinen diesel	2.22	1.91	1.70	1.40
Henkilöautot, diesel	34	35	29	19	uusiutuva diesel	0.19	0.42	0.37	0.31
Pakettiautot, bensiini	0	0	0	1	etanoli	0.10	0.25	0.55	0.95
Pakettiautot, FFV	0	1	2	4	kaasu	0	0	0	0
Pakettiautot, diesel	14	12	10	8	biokaasu	0	0	0	0
Linja-autot, diesel	6	6	6	5	sähkö	0	0	0	0
Linja-autot, ED95	0.00	0.00	0.02	0.04	vety	0	0	0	0
Kuorma-autot, diesel	45	43	41	38					
Kuorma-autot, ED95	0	1	3	6					
Yhteensä	154	153	149	147					

TAULUKKO 7.4 CBG-skenaario.

Kaasu (CNG+CBG)					Kaasu (CNG+CBG)				
Ajoneuvot [kpl]	2015	2020	2025	2030	Uusmyyntiosuudet [%]	2015	2020	2025	2030
Henkilöautot, bensiini	1 972 497	1 881 007	1 353 108	866 902	Henkilöautot, bensiini	63 %	35 %	40 %	14 %
Henkilöautot, kaasu	11 070	250 056	986 825	1 845 226	Henkilöautot, kaasu	5 %	35 %	60 %	86 %
Henkilöautot, diesel	693 232	815 930	744 077	541 283	Henkilöautot, diesel	32 %	30 %	0 %	0 %
Pakettiautot, bensiini	10 796	5 257	2 404	951	Pakettiautot, bensiini	0 %	0 %	0 %	0 %
Pakettiautot, kaasu	930	15 523	39 106	95 705	Pakettiautot, kaasu	6 %	15 %	40 %	90 %
Pakettiautot, diesel	287 171	288 315	263 591	214 974	Pakettiautot, diesel	94 %	85 %	60 %	10 %
Linja-autot, diesel	11 890	11 781	11 733	11 675	Linja-autot, diesel	97 %	92 %	86 %	81 %
Linja-autot, kaasu	85.39	272.06	640.12	1 166.09	Linja-autot, kaasu	3 %	8 %	14 %	19 %
Kuorma-autot, diesel	95 908	95 772	94 098	89 543	Kuorma-autot, diesel	100 %	91 %	80 %	60 %
Kuorma-autot, kaasu	687	1 743	5 870	13 379	Kuorma-autot, kaasu	0 %	9 %	20 %	40 %
Energia [PJ]					Poltoaineet [Mtoe]				
Henkilöautot, bensiini	54	49	41	34	fossiilinen bensiini	1.22	1.10	0.93	0.79
Henkilöautot, kaasu	0	4	13	24	fossiilinen diesel	2.22	1.92	1.71	1.38
Henkilöautot, diesel	34	35	29	17	uusiutuva diesel	0.19	0.42	0.37	0.30
Pakettiautot, bensiini	0	0	0	1	etanoli	0.09	0.08	0.07	0.06
Pakettiautot, kaasu	0	1	2	5	kaasu	0.02	0.08	0.16	0.18
Pakettiautot, diesel	14	13	11	8	biokaasu	0.00	0.08	0.30	0.72
Linja-autot, diesel	6	6	6	6	sähkö	0	0	0	0
Linja-autot, kaasu	0.1	0.4	0.9	1.5	vety	0	0	0	0
Kuorma-autot, diesel	45	43	41	39					
Kuorma-autot, kaasu	1	1	3	7					
Yhteensä	155	152	147	142					

TAULUKKO 7.5 PHEV-skenaario.

Pistokehybridit PHEV					Pistokehybridit PHEV				
Ajoneuvot [kpl]	2015	2020	2025	2030	Uusmyyntiosuudet [%]	2015	2020	2025	2030
Henkilöautot, bensiini	1 955 560	1 876 775	1 558 949	1 155 845	Henkilöautot, bensiini	57 %	39 %	20 %	2 %
Henkilöautot, PHEV	25 412	261 419	752 646	1 473 574	Henkilöautot, PHEV	11 %	40 %	68 %	96 %
Henkilöautot, diesel	694 169	807 213	771 155	623 157	Henkilöautot, diesel	32 %	22 %	12 %	2 %
Pakettiautot, bensiini	10 933	7 354	5 614	4 759	Pakettiautot, bensiini	2 %	2 %	1 %	1 %
Pakettiautot, PHEV	0	4 235	15 966	33 907	Pakettiautot, PHEV	3 %	10 %	18 %	25 %
Pakettiautot, diesel	287 361	295 302	281 465	271 350	Pakettiautot, diesel	95 %	88 %	81 %	74 %
Linja-autot, diesel	11 925	11 930	11 944	11 878	Linja-autot, diesel	100 %	95 %	88 %	81 %
Linja-autot, PHEV	0.00	87.05	406.92	951.37	Linja-autot, PHEV	0 %	5 %	12 %	19 %
Kuorma-autot, diesel	95 954	94 932	90 159	80 961	Kuorma-autot, diesel	100 %	85 %	65 %	46 %
Kuorma-autot, PHEV	0	701	3 169	7 267	Kuorma-autot, PHEV	0 %	5 %	12 %	18 %
Energia [PJ]					Poltoaineet [Mtoe]				
Henkilöautot, bensiini	53	47	36	26	fossiilinen bensiini	1.21	1.05	0.83	0.62
Henkilöautot, PHEV	0	3	7	13	fossiilinen diesel	2.22	1.97	1.86	1.69
Henkilöautot, diesel	34	37	35	30	uusiutuva diesel	0.19	0.43	0.41	0.37
Pakettiautot, bensiini	0.2	0.2	0.1	0.1	etanoli	0.09	0.09	0.10	0.12
Pakettiautot, PHEV	0.0	0.1	0.2	0.4	kaasu	0.00	0.00	0.00	0.00
Pakettiautot, diesel	14	13	12	11	biokaasu	0.00	0.00	0.00	0.00
Linja-autot, diesel	6	6	6	6	sähkö	0.00	0.06	0.18	0.33
Linja-autot, PHEV	0.0	0.0	0.0	0.1	vety	0	0	0	0
Kuorma-autot, diesel	45	43	41	38					
Kuorma-autot, PHEV	0.0	0.0	0.2	0.4					
Yhteensä	154	149	137	125					

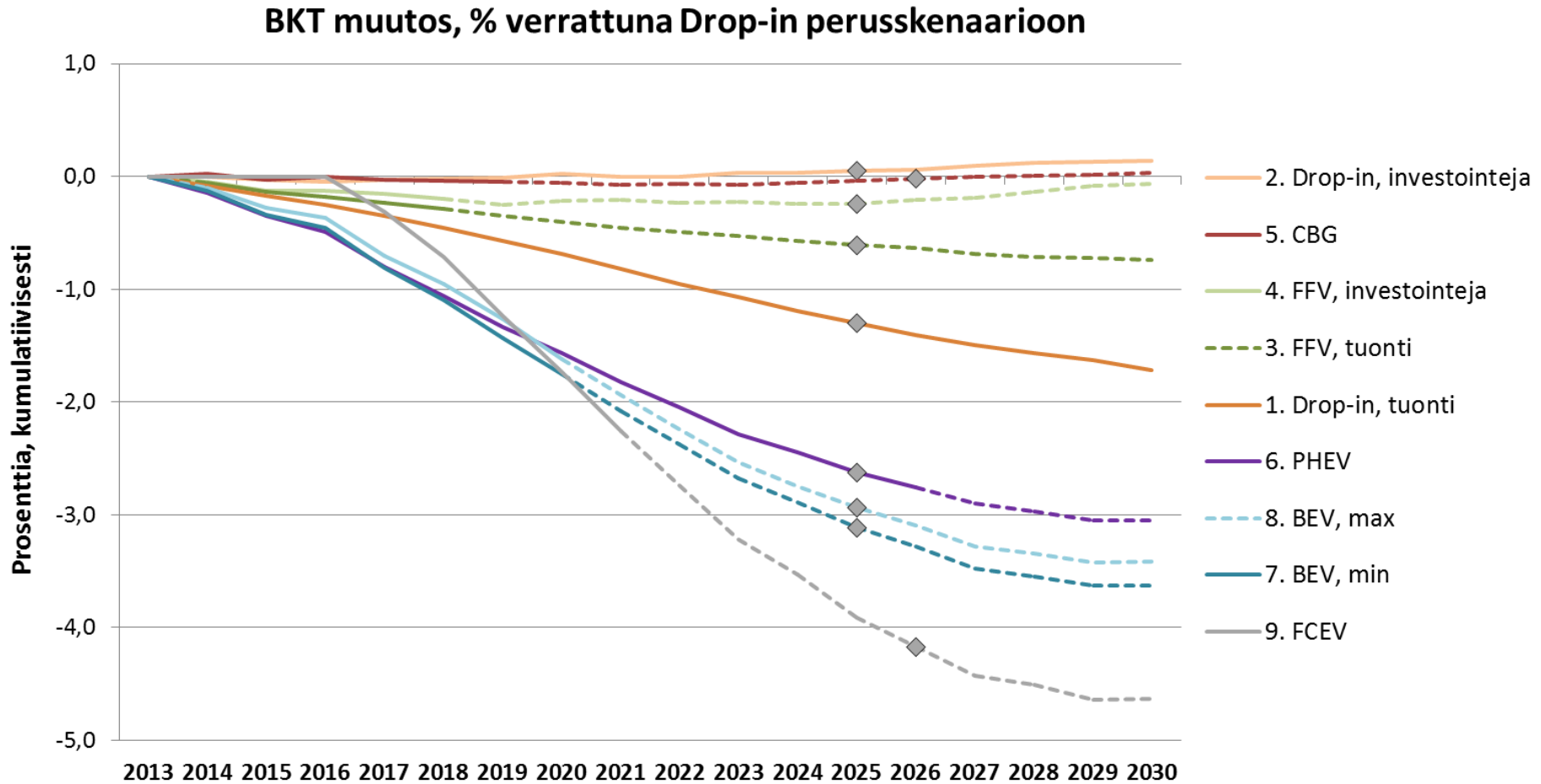
TAULUKKO 7.6 BEV-skenaario.

Akkusähkö BEV					Akkusähkö BEV				
Ajoneuvot [kpl]	2015	2020	2025	2030	Uusmyyntiosuudet [%]	2015	2020	2025	2030
Henkilöautot, bensiini	1 956 244	1 901 481	1 639 361	1 321 262	Henkilöautot, bensiini	58 %	43 %	28 %	13 %
Henkilöautot, BEV	19 456	200 149	576 244	1 128 205	Henkilöautot, BEV	9 %	30 %	52 %	74 %
Henkilöautot, diesel	699 441	843 778	867 144	803 108	Henkilöautot, diesel	34 %	27 %	20 %	13 %
Pakettiautot, bensiini	10 933	7 354	5 614	4 759	Pakettiautot, bensiini	2 %	2 %	1 %	1 %
Pakettiautot, BEV	412	6 250	17 857	35 401	Pakettiautot, BEV	3 %	10 %	18 %	25 %
Pakettiautot, diesel	287 361	295 302	281 465	271 350	Pakettiautot, diesel	95 %	88 %	81 %	74 %
Linja-autot, diesel	11 925	11 930	11 944	11 878	Linja-autot, diesel	100 %	95 %	88 %	81 %
Linja-autot, BEV	0.00	87.05	406.92	951.37	Linja-autot, BEV	0 %	5 %	12 %	19 %
Kuorma-autot, diesel	95 954	96 684	98 081	99 129	Kuorma-autot, diesel	100 %	97 %	94 %	91 %
Kuorma-autot, BEV	0	350	1 584	3 634	Kuorma-autot, BEV	0 %	3 %	6 %	9 %
Energia [PJ]					Polttoaineet [Mtoe]				
Henkilöautot, bensiini	53	46	36	26	fossiilinen bensiini	1.21	1.05	0.81	0.58
Henkilöautot, BEV	0	3	9	16	fossiilinen diesel	2.23	1.97	1.87	1.72
Henkilöautot, diesel	34	37	34	28	biodiesel	0.19	0.43	0.41	0.38
Pakettiautot, bensiini	0.2	0.2	0.1	0.1	etanoli	0.09	0.08	0.06	0.04
Pakettiautot, BEV	0.0	0.2	0.5	0.9	kaasu	0.00	0.00	0.00	0.00
Pakettiautot, diesel	14	13	12	10	biokaasu	0.00	0.00	0.00	0.00
Linja-autot, diesel	6	6	6	6	sähkö	0.01	0.08	0.22	0.42
Linja-autot, BEV	0.0	0.0	0.1	0.2	vety	0	0	0	0
Kuorma-autot, diesel	45	43	43	43					
Kuorma-autot, BEV	0.0	0.0	0.2	0.4					
Yhteensä	154	149	140	130					

TAULUKKO 7.7 FCEV-skenaario.

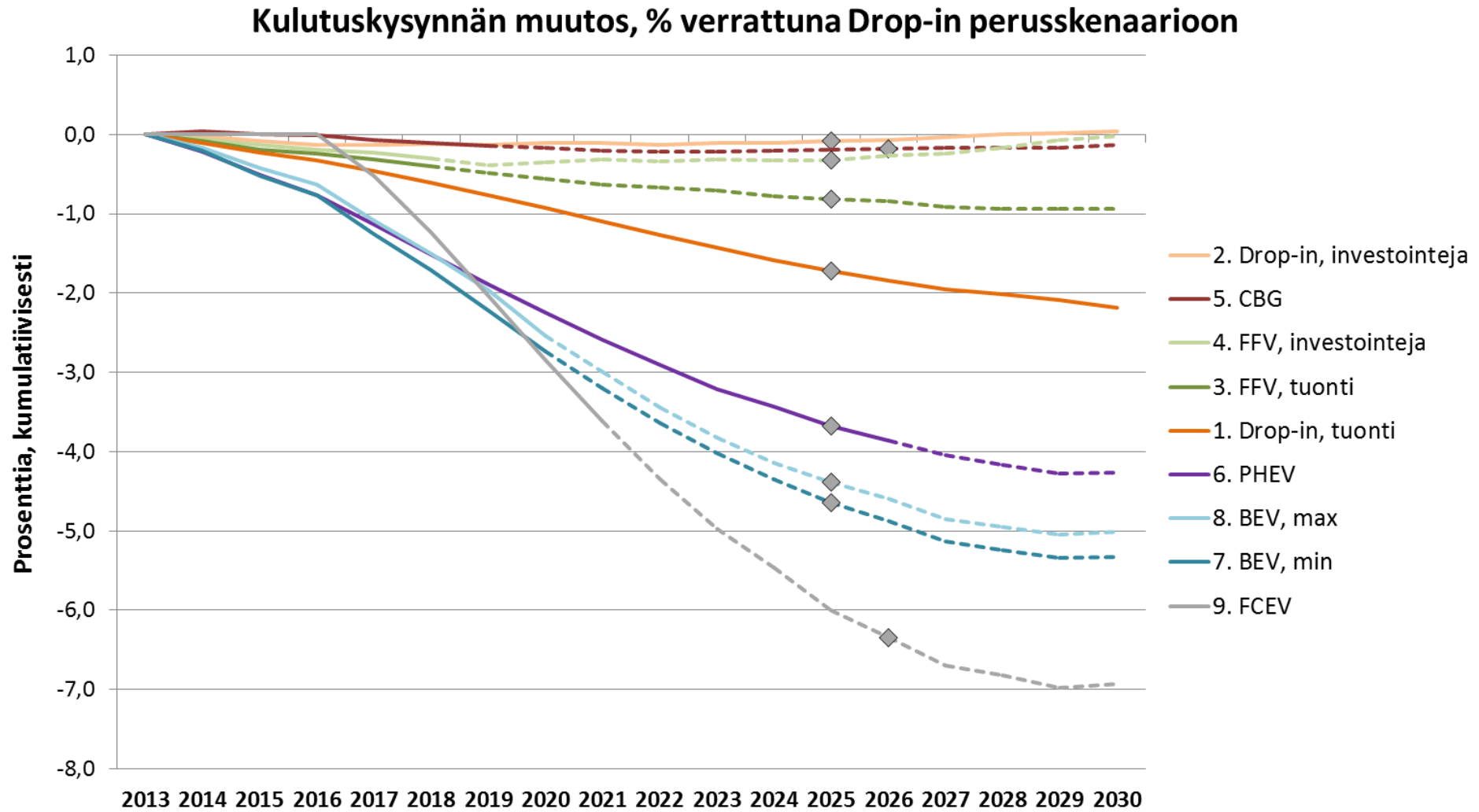
Vety FCEV					Vety FCEV				
Ajoneuvot [kpl]	2015	2020	2025	2030	Uusmyyntiosuudet [%]	2015	2020	2025	2030
Henkilöautot, bensiini	1 976 614	2 000 893	1 734 065	1 311 537	Henkilöautot, bensiini	67 %	49 %	24 %	0 %
Henkilöautot, FCEV	0	107 074	498 178	1 169 122	Henkilöautot, FCEV	0 %	25 %	57 %	89 %
Henkilöautot, diesel	698 527	837 440	850 505	771 917	Henkilöautot, diesel	33 %	26 %	19 %	11 %
Pakettiautot, bensiini	11 536	10 937	10 809	9 826	Pakettiautot, bensiini	5 %	5 %	3 %	1 %
Pakettiautot, FCEV	0	2 857	12 828	30 454	Pakettiautot, FCEV	0 %	7 %	16 %	25 %
Pakettiautot, diesel	287 361	295 302	281 465	271 350	Pakettiautot, diesel	95 %	88 %	81 %	74 %
Linja-autot, diesel	11 925	11 973	12 147	12 354	Linja-autot, diesel	100 %	97 %	94 %	91 %
Linja-autot, FCEV	0.00	43.53	203.46	475.68	Linja-autot, FCEV	0 %	3 %	6 %	9 %
Kuorma-autot, diesel	95 954	97 034	99 665	102 763	Kuorma-autot, diesel	100 %	100 %	100 %	100 %
Kuorma-autot, FCEV	0	0	0	0	Kuorma-autot, FCEV	0 %	0 %	0 %	0 %
Energia [PJ]					Poltoaineet [Mtoe]				
Henkilöautot, bensiini	54	49	38	26	fossiilinen bensiini	1.22	1.12	0.87	0.58
Henkilöautot, FCEV	0	2	11	24	fossiilinen diesel	2.22	1.97	1.87	1.73
Henkilöautot, diesel	34	37	33	27	biodiesel	0.19	0.43	0.41	0.38
Pakettiautot, bensiini	0.3	0.3	0.3	0.2	etanoli	0.09	0.08	0.06	0.04
Pakettiautot, FCEV	0.0	0.1	0.4	0.8	kaasu	0.00	0.00	0.00	0.00
Pakettiautot, diesel	14	13	12	10	biokaasu	0.00	0.00	0.00	0.00
Linja-autot, diesel	6	6	6	6	sähkö	0.00	0.00	0.00	0.00
Linja-autot, FCEV	0.0	0.0	0.1	0.3	vety	0.00	0.05	0.27	0.60
Kuorma-autot, diesel	45	43	44	44					
Kuorma-autot, FCEV	0.0	0.0	0.0	0.0					
Yhteensä	154	151	144	138					

Kuvio 28: Vaikutukset bruttokansantuotteeseen eri skenaarioissa⁸³ (♦ = 30% vähennys saavutettu)

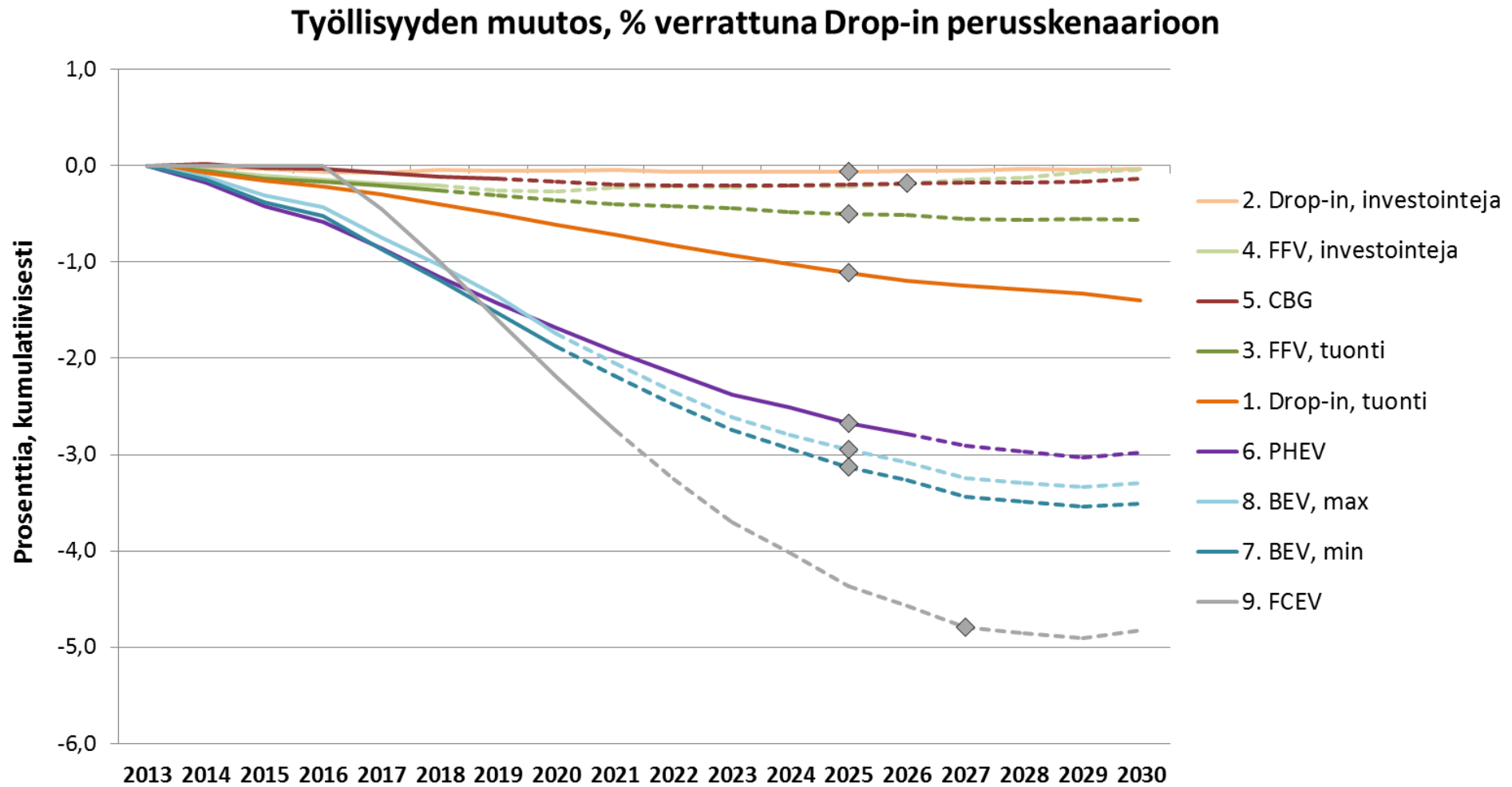


⁸³ Katkoviivojen kohdalla kussakin skenaariossa on käytössä sellainen automäärä tai polttoainemäärä, joka ei ole kyseisten teknologioiden nykyisistä lähtökohdista kovin todennäköinen. Kukin skenaario on käytännössä todennäköinen vain siihen asti missä katkoviivoitus alkaa.

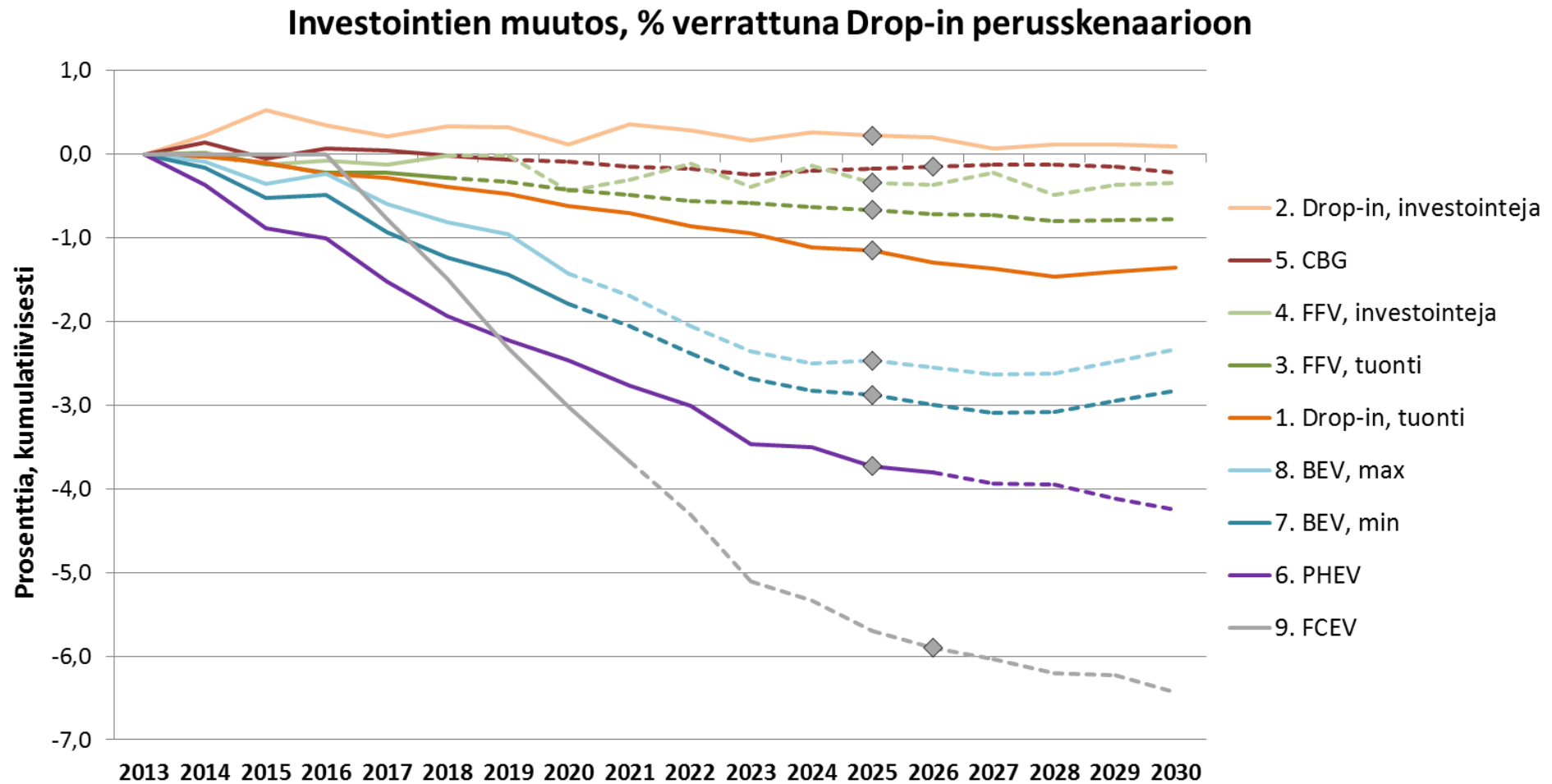
Kuvio 29: Vaikutukset kulutuskysyntään eri skenaarioissa (♦ = 30% vähennys saavutettu)



Kuvio 30: Vaikutukset työllisyyteen eri skenaarioissa (♦ = 30% vähennys saavutettu)

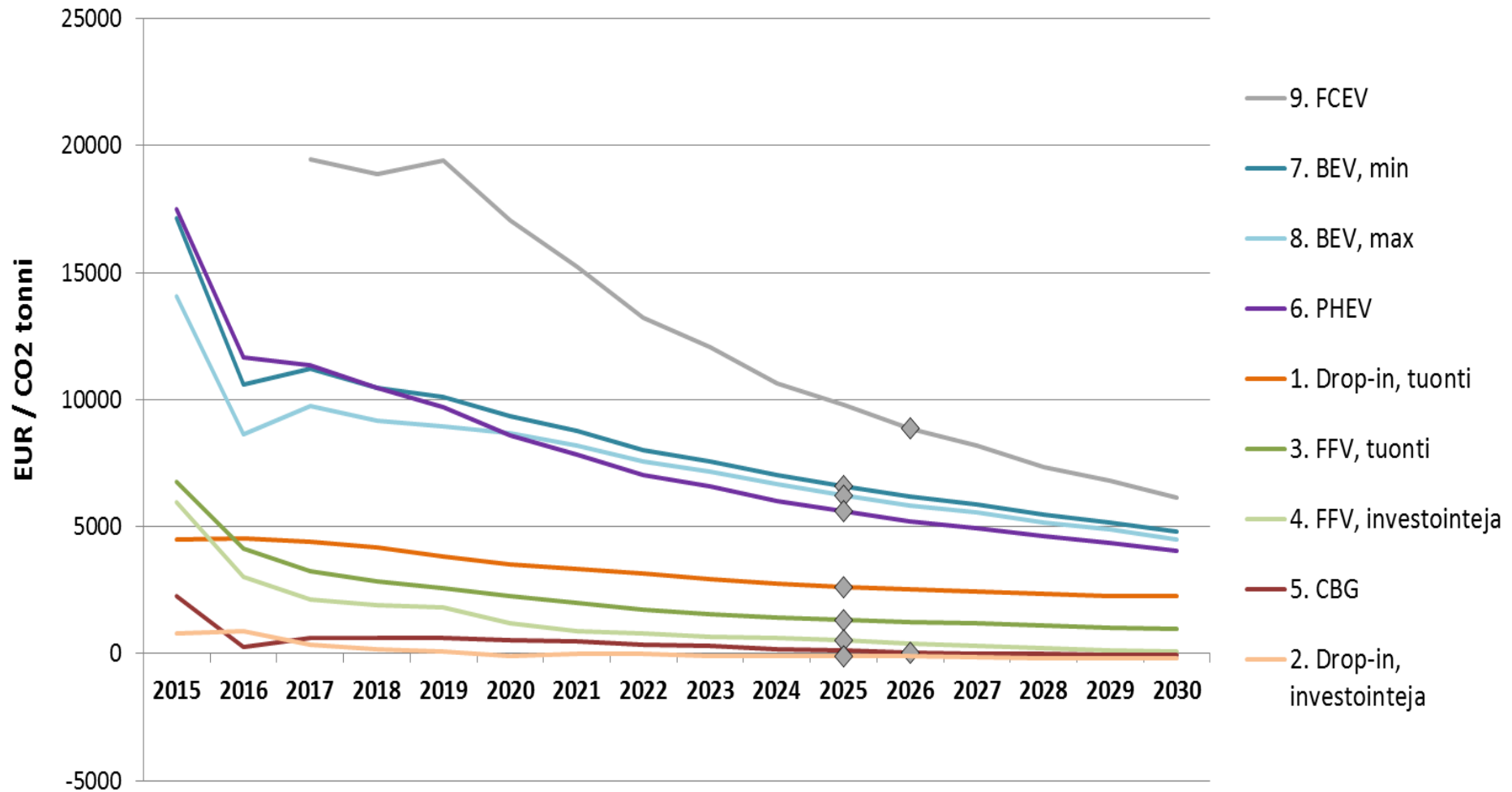


Kuvio 31: Vaikutukset investointeihin eri skenaarioissa (♦ = 30% vähennys saavutettu)



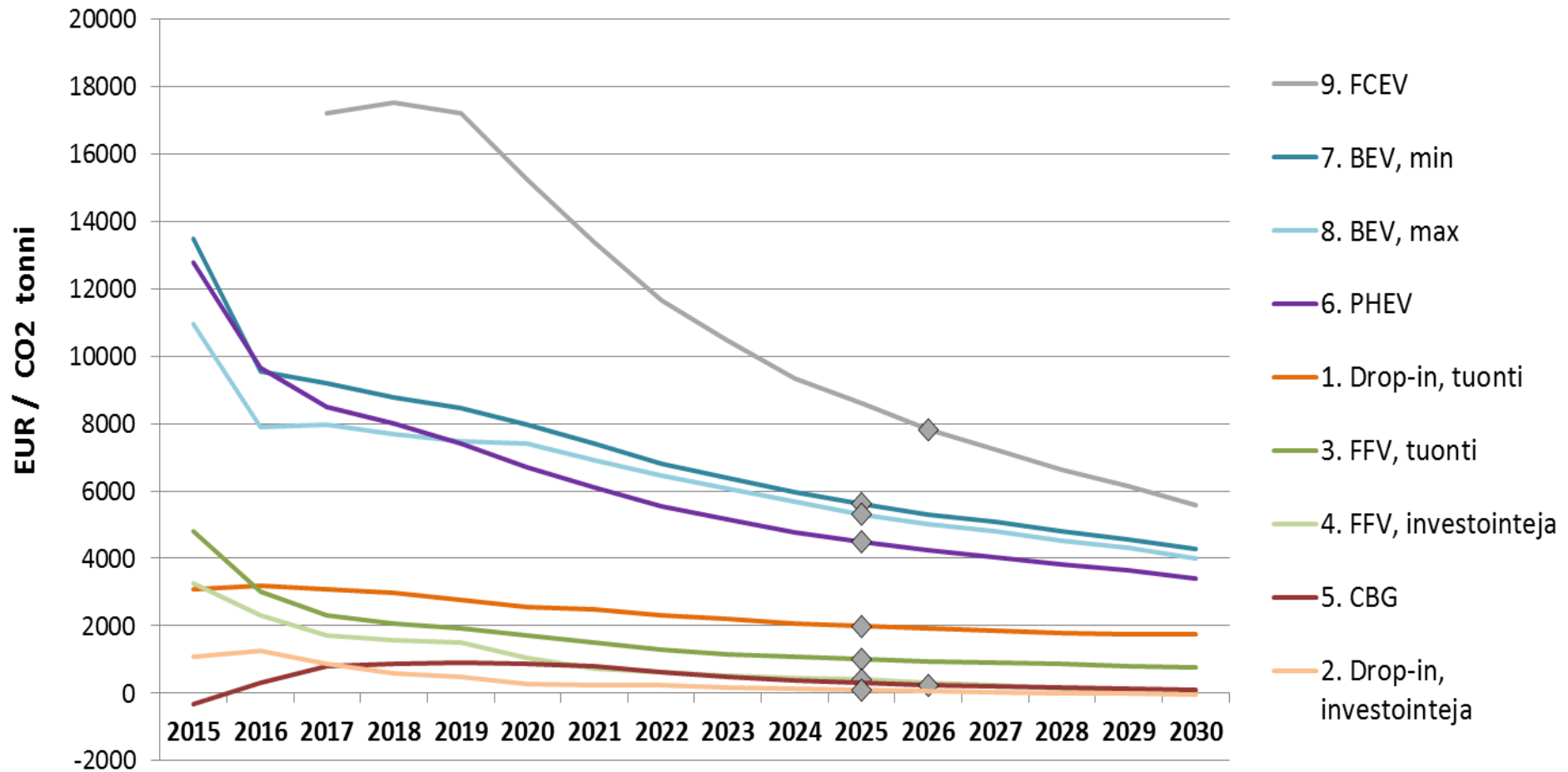
Kuvio 32: Vähennys bruttokansantuotteessa per lisävähennetty CO₂-tonni (♦ = 30% vähennys saavutettu)

Vähennys bruttokansantuotteessa per CO2 tonni

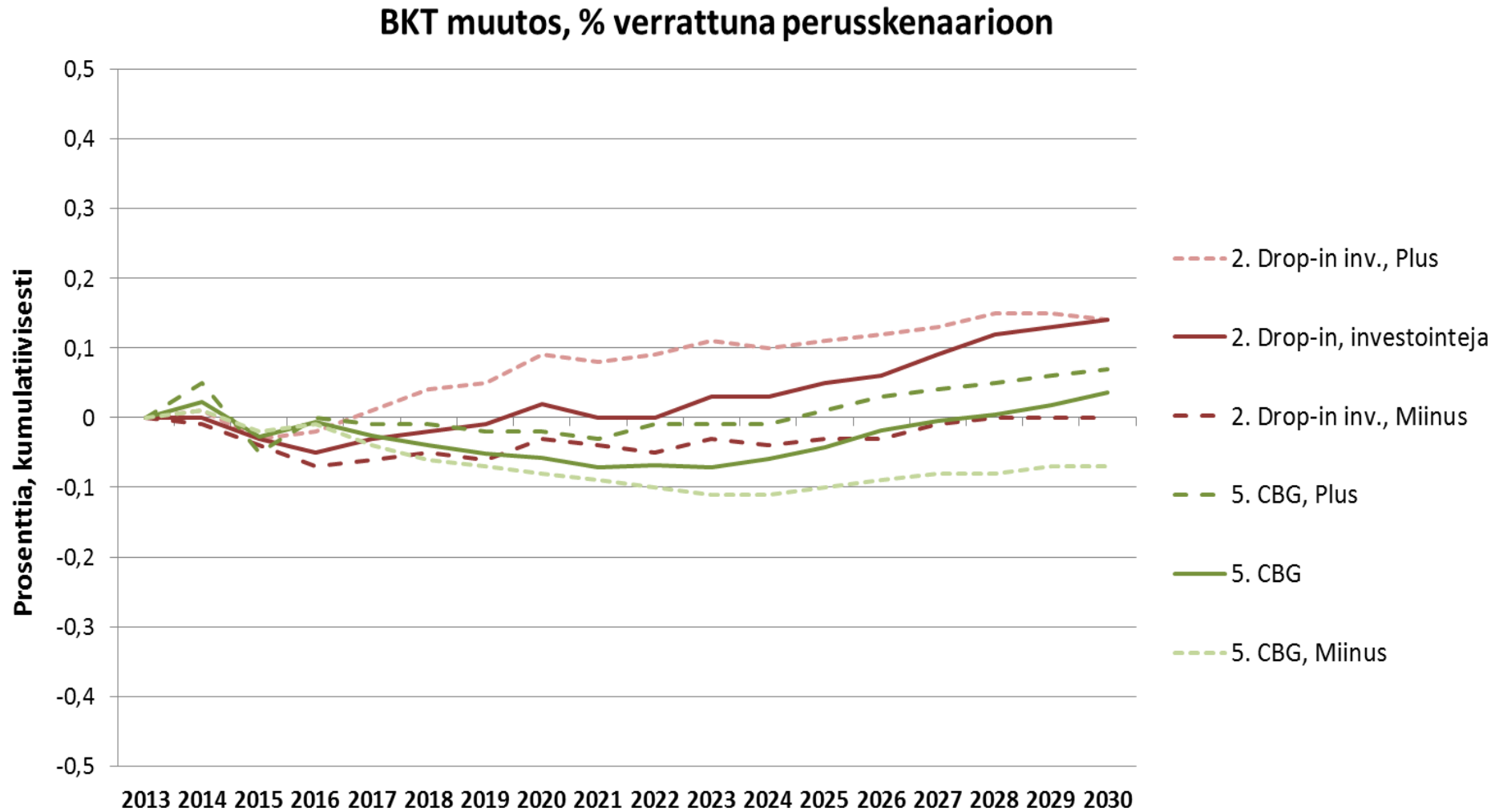


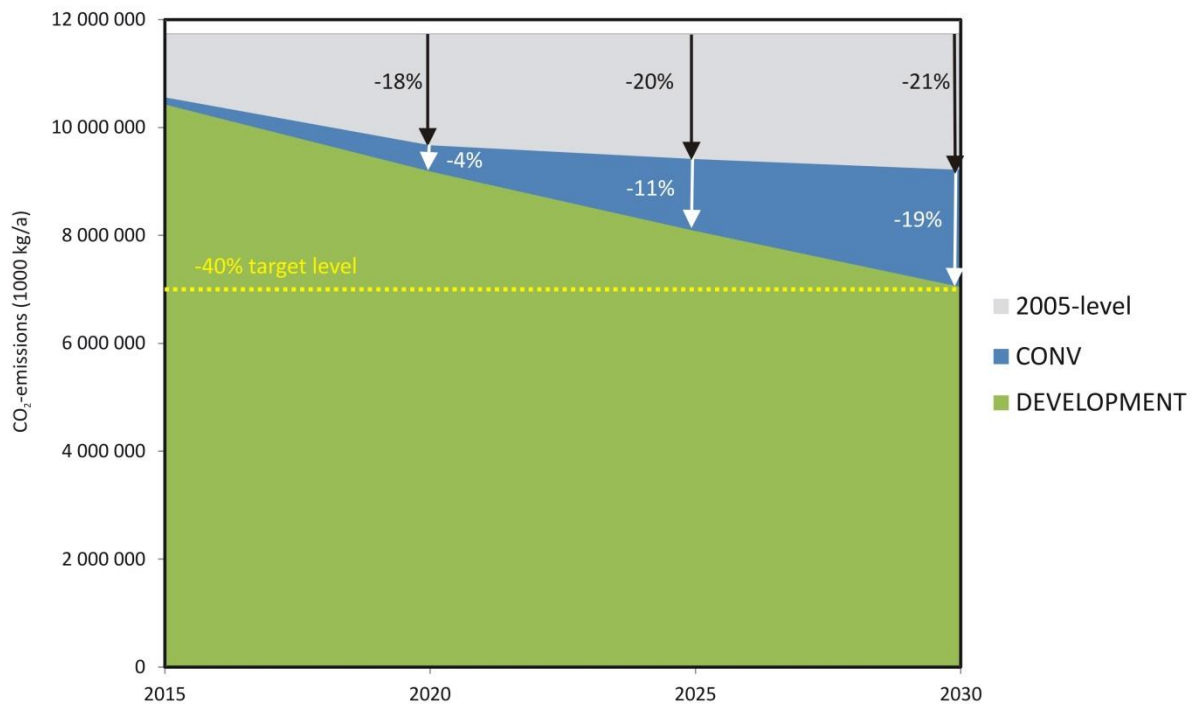
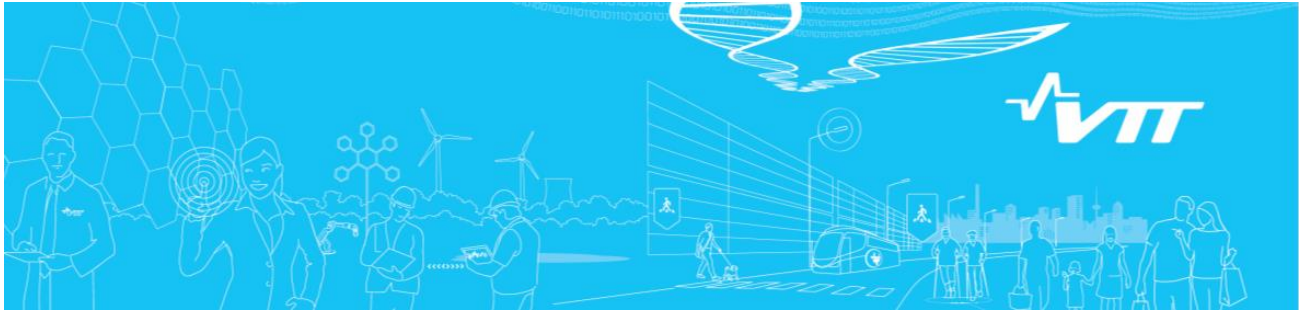
Kuvio 33: Vähennys yksityisessä kulutuksessa per lisävähennetty CO₂-tonni (♦ = 30% vähennys saavutettu)

Vähennys kulutuskysynnässä per CO2 tonni



Kuvio 34. Herkkyystarkastelut BKT vaikutuksiin - Drop-in investointi ja Biokaasu skenaariot (huom. mittakaava)





How to Reach 40% Reduction in Carbon Dioxide Emissions from Road Transport by 2030: Propulsion Options and their Impacts on the Economy

Authors: Nils-Olof Nylund, Saara Tamminen, Kai Sipilä, Juhani Laurikko, Esa Sipilä, Kari Mäkelä, Ilkka Hannula, Juha Honkatukia

Confidentiality: Public

The main results and conclusions of the report are:

- The baseline scenario of implementing only current policy measures leads to a situation where CO₂ emissions from transport sector will be reduced by more than 20 per cent in 2030 compared to 2005.
- To reduce emissions further, it will be necessary to increase the use of low-carbon or carbon-neutral energy in transport.
- Based on the economic impacts, the most cost-efficient way to reduce emissions is to invest in the production and uptake of domestic, advanced drop-in biofuels. Their use will not require changes in the vehicle fleet or on the fuel distribution system.
- Biogas is also a relatively cost-efficient option for reducing transport related CO₂ emissions, but would require a significant increase in the number of gas-powered vehicles. However, it is not possible to set obligations for fleet renewal or powertrain choice.
- Major part of the raw material requirements for the new Finnish biofuel factories could be met with the domestic supply of wood and waste materials. With focused public investment supports, new technologies can be commercialised so that domestic production is competitive in comparison to imports.
- Because of the high price of electric cars at present, their large-scale uptake will not be cost-effective based on their impact on GDP until technology advancements bring down their price significantly.

Summary

1.1 General

In this study we assessed the impacts of biofuels and other alternative energy sources in transport on climate gas emissions and on the economy. The objectives were fine-tuned during the project to be in line with the EU 2030 framework for climate and energy policies introduced in early 2014. The new EU framework requires a 40 percent reduction in greenhouse gas (GHG) emissions compared to the 1990 level and an EU-wide binding target for renewable energy of at least 27%.¹ No specific, official target has been set for renewable energy or transport sector GHG emissions.

Following the research assignment, we identified options that would result in a 30 or 40% reduction in transport sector carbon dioxide (CO₂) emissions in Finland by 2030 compared to the reference year 2005, and the costs associated with each option. According to the impact assessment of the EU 2030 climate and energy policies for Finland⁴ made by VTT and the Government Institute for Economic Research (VATT) for the Ministry of Employment and the Economy in the spring of 2014, emission reductions in the transport sector are the most challenging. They have significantly higher marginal costs than in the emission trading sectors.

CO₂ emissions from transport depend on distances driven, energy consumption and the carbon intensity of the used fuels. In the calculation of transport CO₂ emissions, biofuels, hydrogen and electricity are assumed to be carbon neutral. If vehicle-kilometres are considered

¹ 2030 climate and energy goals for a competitive, secure and low-carbon EU economy; Press Release, Brussels, 22 January 2014. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-54_en.htm

unchangeable or locked, transport CO₂ emissions can be reduced by improved energy-efficiency or increased uptake of electric vehicles or biofuels. This report focuses on different technology and propulsion options. As such, it does not consider the impacts of possible public efforts to change the means and methods of transport or general improvements in the transport system.

VTT was responsible for drafting the fleet scenarios and calculating the emission and energy levels as well as the projected development of the car fleet in terms of technologies and costs. VTT also assessed the production potential and price developments of biofuels with Pöyry Oy. Consulting company Ramboll Oy evaluated the unit costs of the distribution infrastructure (Appendix 4). Government Institute for Economic Research (VATT) was responsible for analysing the economic impacts of the different fleet and energy scenarios.

1.2 Vehicle fleet and energy specifications

Certain assumptions were applied to the calculation of the vehicle fleet. Vehicle-kilometres follow the Nationwide Road Traffic Forecast 2030² by the Finnish Transport Agency (Liikennevirasto), published in the summer of 2014. According to the agency's forecast, transport volumes will keep rising until 2030. Therefore, the size of the vehicle fleet was expanded accordingly in this report. Vehicle fleet compositions were assessed with VTT's new ALIISA-model, which is a sub-model of VTT's LIISA calculation³ model. The calculation model is based on the current vehicle fleet in Finland, vehicle sales figures, fleet renewal rate, vehicle-kilometres, fuel consumption and CO₂ emissions. The average renewal rate of the fleet was assumed to be about 6%, which means that the average age of the fleet remains practically unchanged at 11 years.

A baseline scenario was created to facilitate comparison of the results. It does not prioritise any alternative technology except for compatible biofuels, i.e. drop-in diesel components and a low-level ethanol blend (E10). Thus, most of the vehicles in the baseline scenario are standard vehicles powered by gasoline or diesel. In Finland, by 2020 the energy content of biofuels must account for 20% of the total energy content of the gasoline, diesel oil and biofuels delivered by the distributor for consumption according to the current distribution obligation⁴. However, at least some of the biofuels in use are falling into the regime of double counting. Therefore, in the calculations for the baseline scenario, it was assumed that the actual share of biofuels will increase to 15% by 2020 (same as the baseline assumption in the 2012 ILARI project⁵), and will remain steady at 15% until 2030. Because biofuels are considered as zero-emission fuels in the CO₂ balance for transport, it is expected that they will generate a 15% reduction in the transport sector CO₂ emissions between 2020 and 2030.

It was assumed that energy efficiency of the vehicle fleet will improve with the renewal of the fleet, on average between 1.5 and 2% for passenger cars and 0.5% for other vehicle categories between 2015 and 2030. Given these prerequisites, in the **baseline scenario, CO₂ emissions will be reduced by some 21% from the 2005 level by 2030**. The use of biofuels and improved energy efficiency will reduce emissions, while growing vehicle-kilometres increase them.

Thus, additional measures are required to achieve a 30% or even 40% reduction in CO₂ emissions by 2030. This report does not assess the impact of methods such as influencing available means of transport or encouraging the renewal of the vehicle fleet (e.g. by tax

2 Jukka Ristikartano, Pekka Iikkanen, Juha Tervonen, Tuomo Lapp; Road Traffic Forecast 2030; Research reports of the Finnish Transport Agency 13/2014. Finnish Transport Agency, Helsinki 2014.

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2014-13_valtakunnallinen_tieliikenne-ennuste_web.pdf

3 The LIISA 2012 software for calculating exhaust gas emissions; <http://lipasto.vtt.fi/liisa/>

4 Act on the promotion of the use of biofuels for transport (1420/2010), Helsinki 2010.

5 Transport sector policy packages for climate change mitigation in Finland up to the year 2050. Baseline-scenario, Urban beat or Cornucopia?

[http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=1986562&name=DLFE-17241.pdf&title=Julkaisuja 15-2012.](http://www.lvm.fi/c/document_library/get_file?folderId=1986562&name=DLFE-17241.pdf&title=Julkaisuja+15-2012)

schemes). The primary purpose of the report was to assess the impact of different propulsion solutions⁶ on emissions, as well as the impact of each option on Finland's economy.

This report uses the following five main categories for vehicles: passenger cars, vans, buses, trucks and truck-trailer combinations. The following propulsion options were assessed for passenger cars: gasoline, diesel, high concentration ethanol (flexifuel/E85), gas (methane), plug-in hybrid electric vehicle (PHEV), battery electric vehicle (BEV) and hydrogen (fuel cell electric vehicle FCEV). Alternative propulsion systems were also assessed for other vehicle categories, but this assessment was restricted by a shortage of alternative solutions. For example, for truck-trailer combinations the only practical alternatives are liquid biofuels and liquefied natural gas (LNG).

It is very difficult to forecast the popularity and market shares of different propulsion options, in particular in the passenger car market. In terms of technology, the success potential of any new propulsion solution depends on many factors. The most important include:

- 1) Availability (= production);
- 2) Distribution system;
- 3) Compatibility with existing vehicle fleet; and
- 4) Price and consumer interest in the technology in question.

Any one of the first three factors can become a technical restriction for the use of the solution, but popularity in the market depends ultimately on the cost competitiveness and consumer interest on the technology. The prices of different vehicles depend on various factors, however, and public financial support systems can also have an effect on them. Further, the availability of different vehicle models can affect the popularity of each new technology.

In addition to the direct costs associated with each technology, it is necessary to assess the indirect impacts of the different options to obtain a view on the overall economic impacts e.g. on employment, current account balance and investments. This impact assessment is focused especially on analysing the overall economic impacts and not only the direct costs.

Alternative technologies were initially assessed one by one without consideration to possible restrictions. In the assessment, vehicle numbers were forced to a level by 2030 that would allow achieving a 40% reduction in emissions with that technology (i.e. an additional reduction of 20% in comparison to the baseline scenario). In the case of drop-in biofuels, the additional reduction is achievable without the introduction of new types of vehicles. However, it does require domestically produced or imported biofuels that are compatible with the existing vehicle fleet. While drop-in biofuels are already widely used in Finland, in particular in replacement of diesel fuels, they are less popular in Europe in comparison to 1G ethanol or FAME type of biodiesel. According to the proposed EU 2030 policy, 1G biofuels based on food crops can no longer get public support after 2020.

However, with the exception of the Drop-in scenario, none of the assessed technology scenarios are suitable for implementation as such. They would require vehicle volumes that are unattainable with standard sales volumes. Strong changes in demand typically require economic incentives, which would create additional costs. This is why a small-scale uptake on a voluntary basis is more likely to be cost effective than strong and forced promotion of any individual technology.

The economic impacts of each technology scenario were analysed with the VATT's VATTAGE applied general equilibrium (AGE) model. The analyses were based on the separate estimates on vehicle and fuel volume changes, different types of additional costs and required investments that would allow each technology to reduce emissions by 40%. Therefore, the analyses provide comparable, scenario-specific overviews on the economic

⁶ Propulsion = energy/fuel that powers the vehicle

impacts of reducing carbon dioxide emissions. In principle, the most cost-efficient solution would deploy each technology option to the extent were the marginal costs of reducing CO₂ emissions are at the same for each option.

1.3 General scenario descriptions

Table 1 contains a list of the technology scenarios included in the impact assessment. The baseline scenario is abbreviated with CONV. It is mainly based on gasoline and diesel-powered vehicles and the existing distribution obligations and taxation. The baseline scenario reduces emissions by 21% by 2030 from the 2005 level. As in all scenarios, the emission reduction is primarily based on the use of biofuels according to the current distribution obligation (actual share of bioenergy 15%). In the other technology scenarios, further emission reductions were acquired by different additional measures to achieve a total reduction of 40%. The results of the technology scenarios are compared to the baseline scenario in order to analyse only their additional impact on top of the baseline scenario.

Table 1. Technology scenarios used in the impact assessment.

ABBREVIATION	DESCRIPTION
CONV	conventional gasoline and diesel vehicles only, emissions reduced by 21%
DROP-IN	CONV + drop-in fuels reduce emissions by 40%
FFV	maximised use of ethanol fuels E85 and ED95, emission reduced by 40%
CBG	maximised number of gas-powered vehicles, emissions reduced by 40%
PHEV	maximised number of plug-in hybrid vehicles, emissions reduced by 40%
BEV	maximised number of battery electric vehicles, emissions reduced by 40%
FCEV	maximised number of hydrogen fuel cell vehicles, emissions reduced by 40%
DEVELOPMENT	combination scenario, emissions reduced by 40%

Key assumptions for each scenario are presented in section 9 and the assessments of the direct costs to different parties on the inputs in section 8 of the main report, but the most important key figures are also listed in Table 2.

Table 2. Key figures for the scenarios.

scenario	x-passenger cars* (#)	x-heavy vehicles* (#)	Main alternative propulsion option	Amount of alternative energy (ktoe/a)
CONV/DROP-IN	3 252 576	427 418	drop-in biofuels	1 130
FFV	1 547 861	116 391	ethanol	957
CBG	1 276 344	110 252	biogas	480
PHEV	1 473 574	56 660	electricity	328
BEV	1 128 205	39 518	electricity	418
FCEV	1 169 122	30 930	hydrogen	603
DEVELOPMENT/ BIO	3 102 651	423 225	drop-in biofuels	1 002
DEVELOPMENT/ CBG	50 000	7 200	biogas	50
DEVELOPMENT/ BEV	100 000	3 150	electricity	36

* "x" denotes the main alternative propulsion option on each scenario.

1.4 The impact of the scenarios on the Finnish economy

In this study, the economic impacts of new fuel types and engine concepts are assessed based on their overall economic impacts in order to identify the most cost-optimal solution for the society as a whole. In addition to the main technology options, we created some sub-scenarios to take into account the diverging impacts of domestic versus imported fuels, investments and different cost assumptions. These are listed in Table 3. The table also specifies the main practical restrictions for each technology scenarios (i.e. the reason for the solid line to become a dotted one in chart 1). Table 3 displays also the achievable emission reduction of each scenario in reality.

There are nine technology scenarios in total. Their economic results are compared to the baseline scenario, where CO₂ emissions are already reduced by more than 20% from the 2005 level with the current distribution obligation and increased energy efficiency. Thus, the results of each technology scenario indicate the impact of reducing CO₂ emissions further to reach a 40% reduction by 2030 (i.e. the impacts of an additional 19% emission reduction compared to the baseline scenario).

Comparison of the different scenarios' results is feasible, because they end in the same long-term reduction level in emissions.

Table 3. Technology scenarios in the economic impact assessment

#	ABBREVIATION	DESCRIPTION	MAIN RESTRICTION	POSSIBLE CO ₂ REDUCTION CONSIDERING THE MAIN RESTRICTION
1	DROP-IN, imported	DROP-IN scenario, imported fuels	No restriction	40%
2	DROP-IN, investments	DROP-IN scenario, investments in domestic drop-in production	No restriction	40%
3	FFV, imported	FFV scenario, imported fuels	Number of FFV vehicles	about 9%
4	FFV, investments	FFV scenario, investments in domestic ethanol production	Number of FFV vehicles	about 9%
5	CBG	Biogas scenario	Number of gas-powered vehicles	about 10%
6	PHEV	PHEV scenario	Number of PHEV vehicles	about 12%
7	BEV, min.	BEV scenario, minimum costs of the charging infrastructure	Number of BEV vehicles	about 11%
8	BEV, max.	BEV scenario, maximum costs of the charging infrastructure	Number of BEV vehicles	about 11%
9	FCEV	FCEV scenario	Number of FCEV vehicles	about 10%

The calculations were made with VATT's VATTAGE model. It is a dynamic, applied general equilibrium (AGE) model. It was used as the assessment method in order to take in to consideration both the direct costs for all parties and the indirect impacts in the economy. Only by taking both of these views in to account, we can identify the best ways of reducing transport emissions from the whole society's point of view. Consumers and companies face

direct costs/impacts in the scenarios in particular from the new types of vehicles and fuels. Further, firms will face the costs of additional investments in the fuel distribution infrastructure. In some scenarios it is also assumed that firms will invest in the production of new fuel types.

While the public sector supports these investments with public investment subsidies, **all scenarios are budget neutral for the public sector**. This means that if tax income falls or public spending increases significantly in a scenario, other commodity taxes will be increased. Otherwise, some scenarios would result in major reduction in public tax income and an increase in the public-sector debt. Since the relative taxation of many new biofuels is currently lower than the taxation of fossil fuels, a need to increase overall commodity taxation arises in many scenarios. The main economic impact for the society as a whole is presented via the impact on value added (i.e. GDP). Effects on consumer demand and employment illustrate the main impacts on consumers. Changes in consumer demand and investments represent some of the main effects for firms.

Chart 1 illustrates the effects of each scenario on the GDP (value added) cumulative in comparison to the baseline scenario. The continuous lines indicate the parts where each scenario remains feasible based on the current technology uptake and projected advances. At the point where the line becomes dotted, each scenario becomes “out of bounds” due to the restriction specified in Table 3. In the hydrogen vehicle scenario (9. FCEV), it should be noted that, there are no hydrogen vehicles in use before 2017 except for pilot cases. The diamond symbols in the chart indicate the years when each scenario has resulted in a 30 % reduction in CO₂ emissions compared to 2005.

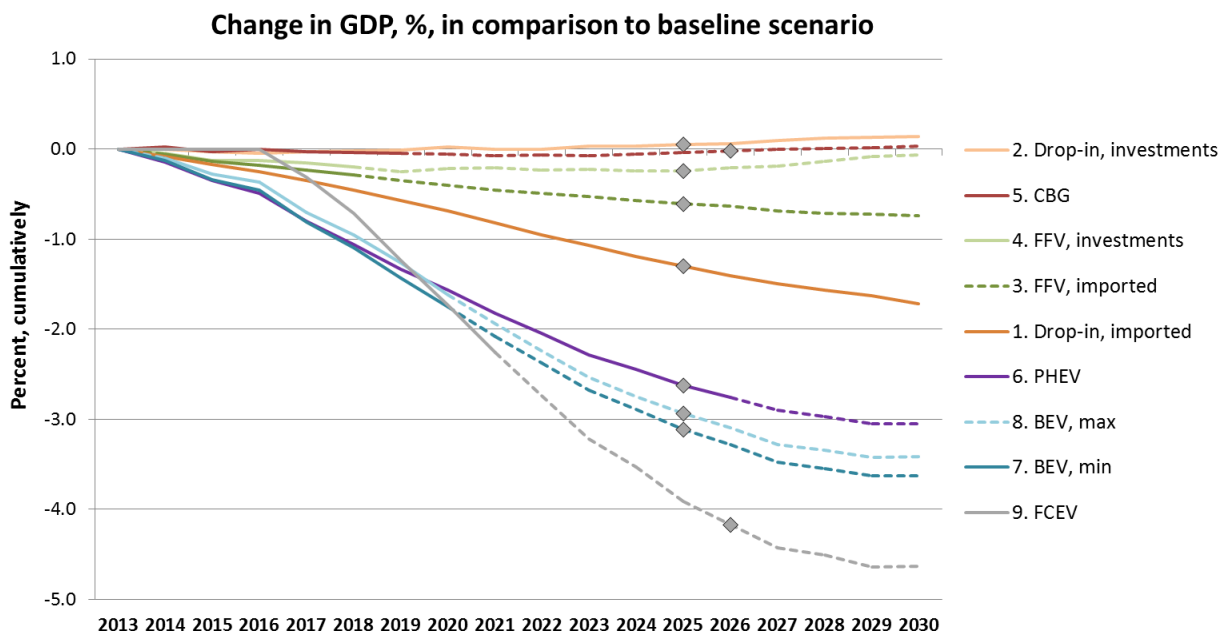


Chart 1: GDP effects of different scenarios⁷ (♦ =30 per cent reduction obtained).

The value added (GDP) effects of the different scenarios vary greatly. Scenarios involving significant new investments in Finland, increased domestic production and no major changes on the average vehicle prices (scenarios 2, 4 and 5), decrease the GDP by a maximum of 0.2% at any year until 2030 in comparison to the baseline scenario. At the same time, the GDP will be several percentage points lower compared to the baseline in the scenarios where the average price of vehicles rises significantly, but domestic production less. For

⁷ Dotted lines indicate an unlikely vehicle or fuel uptake taking into account the existing situation. Continuous lines implicate the extent to which each scenario remains likely.

comparison, the real GDP is expected to increase cumulatively by some 40% from 2014 to 2030 in the baseline scenario. Based on the expected economic impacts, investing in domestic production of drop-in fuels and biogas seems the most cost-optimal solutions for reducing transport emissions. Finnish ethanol production appears to be also a relatively cost-efficient option.⁸

1.5 The DEVELOPMENT scenario

1.5.1 Initial considerations

This was the first wide-scale assessment of the overall impacts of different technology options on both CO₂ emissions and the Finnish economy. The calculations took into account both the current vehicle fleet in Finland and its evolution capability while also considering the Finnish economic structures. We have strong forestry and energy sectors, while our automotive industry is small and mostly produces heavy duty vehicles and working machinery.

The following assumptions/views and previously presented results were taken in to account in the formulation of the DEVELOPMENT scenario. This final scenario is both technically possible and relatively cost-efficient based on the GDP impact:

A) Vehicle-kilometres follow the previously mentioned official projection. The share of each transport form remains unchanged, i.e. there is no shift from private to public transport or from road transport to rail transport (or vice versa).

B) Energy-efficiency improves as a result of technical developments and changes in the vehicle fleet.

C) The energy assortment requires changes, but long-distance freight traffic will continue to use combustion engines as its primary propulsion method in 2030. Diesel can be replaced by LNG to some extent, but first significant advancements are required in the technology. Electricity will not replace diesel (except in city buses), but mainly gasoline.

D) No individual technology option can result in a 40% or even 30% reduction in the total transport emissions apart from the drop-in biofuels due to many restricting factors (cost, fleet, fuel distribution). The best option is to deploy each option up-to the level where it is still rather cost-efficient. However, since the final costs depend also on the implementation schedule, it may be necessary to wait for a technology to mature before its wide-scale deployment. For example, the price of electric and hydrogen fuel cell vehicles is expected to drop in the future. Their cost-competitiveness and performance is expected to improve significantly after 2025.

E) The supply of gas-powered vehicles is at a reasonable level, as car manufacturers have an incentive to manufacture them. Due to the good hydrogen/coal ratio of methane the CO₂ emission level in type approval is 20% lower than in similar gasoline vehicles. On the other hand, the production of FFV vehicles has narrowed down significantly as a result of the new Euro 6 emission limits⁹. Currently, there is only one model available in Finland that fulfils the latest requirements. The FFV technology provides no significant incentive for the manufacturers to produce them because their CO₂ levels are now significantly lower. Thus, it is uncertain whether the supply of FFV vehicles will increase in the future. Even though FFV vehicles are not significantly more expensive and the distribution of E85 fuel does not increase costs greatly, there may be no need to use FFV vehicles in Finland.

Ethanol can be also accounted as a drop-in fuel within the prerequisites of fuel standards. The current E10 fuel is already a sufficient "sink" for the domestic, sustainable ethanol production. Moreover, there are signs that fuel standard are likely to develop further by 2030 so

⁸ More detailed descriptions of economic impacts and some comparisons to previous results are presented in Chapter 9.

⁹ The Euro 6 type approval also includes the measurement of CO and HC emissions in -7°C, and alcohol-powered vehicles struggle to perform in the cold.

that ethanol content of 20 or 25 per cent (E20, E25) will be allowed, creating an even larger pool for ethanol use, at least for new gasoline vehicles.

F) Electric vehicles remain expensive in comparison to traditional vehicles (with combustion engines). In addition, Finland does not manufacture electric passenger cars or lead the electric vehicles global technology developments (except for buses and machinery). Thus, any support measures to promote the use of electric vehicles are of limited benefit to our economy. Use of electricity would, however, reduce the import of oil. This is taken into consideration in the calculations. At the same time, a decrease in the Finnish oil demand is only expected to increase the export of Finnish oil refineries products and not affect the production level. Electric vehicles would primarily replace the use of gasoline, not diesel which is mostly used by freight transport. In terms of the reduction of total emissions, the contribution from the use of electric buses in Finnish city transport would be only 0.1%. Nevertheless, promising electric bus production is rising in Finland with potential for international success and exports.

G) Finland is one of the global leaders in biorefineries and the development of the related technologies. According to the economic impact analyses, investments in this sector will have a positive impact on our economy due to the increase in production, job creation and technology exports. Refined bio-based products manufactured from indigenous raw materials would reduce import oils and mostly replace diesel fuel consumption. Demand of liquid bio-fuels is expected to remain steady even if their use in road traffic would fall, because ships and air planes will also need renewable fuels in the future. Furthermore, under certain conditions, it is possible to convert biorefineries into chemical factories that produce other products than fuels.

H) If some political targets will be set for the volume of different car types, they should be smartly calculated, either based on the overall economic impacts or the volume of reasonably priced fuel options.

1.5.2 Description of the DEVELOPMENT scenario and its vehicle and energy volumes

Based on the economic impact assessments, it is possible to find cost-optimal paths to reach the 2030 emission targets. The following section describes the optimum combination of new technologies and technology developments up to 2030.

As regards the targeted reduction of 40% in GHG emissions by 2030, it was already stated that the baseline scenario will reduce the emissions about 20% from the 2005 level. This means that a further reduction of some 20% is required by 2030, or biofuel equivalent of some 800 ktoe/a. Major part of this reduction should result from increased use of drop-in fuels based on the economic analyses. Other alternatives can be used alongside to smaller extend and without prioritising any of them. Taxation should also treat different renewable alternatives equally. At the moment, gas and electricity have less stringent taxation than liquid transport fuels.

a) **Gas-powered vehicles and use of biogas.** Use of gas in transport is restricted by the slow growth of the gas-powered vehicle fleet. It has been estimated that by 2030, we could have some 50,000 gas-powered passenger cars, some 6,000 gas-powered vans and some 1,200 gas-powered heavy duty vehicles, with a total fuel consumption of 50,000 toe/a. Larger fleet is unlikely with current vehicle supply.

Available raw materials do not restrict biogas production. Household and farm waste could be used in the production of biogas in the area of the existing natural gas network to produce the above-mentioned 50,000 toe/a. After that it is necessary to invest in the production of wood-based SNG (e.g. the plant in Joutseno¹⁰), which competes with the

¹⁰ Gasum, energy company Helsingin Energia and Metsä Fibre are planning to construct a biorefinery adjacent to Metsä Fibre's Joutseno pulp mill. It would produce synthetic biogas from wood materials and the production volume is estimated at some 1.6 TWh/a (137 toe/a).

liquid drop-in products for the raw material. Additional alternatives include fossil CNG and LNG, but the CO₂ reduction achieved is at most 20% if gas replaces gasoline.

The gas would mainly be used by passenger cars and urban distribution vehicles, not necessarily by long-haul heavy-duty vehicles. If the deployment rate of gas-powered vehicles does not exceed the rate mentioned above by 2030, additional costs would remain relatively low.

At the moment, gas is distributed by 24 refuelling stations, 18 of which are operated by Gasum. Gasum is also in the process of constructing 35 new stations.¹¹ Deployment of LNG in ships and the distribution infrastructure directive may improve the availability of gas and thus increase the appeal of gas-powered vehicles in Finland.

- b) **Ethanol** is mainly used as a blending component in gasoline in Finland (currently some 170,000 m³). Most of it is imported. St1 mainly used waste-based ethanol as a blending component in the high-concentration E85 fuel. More than 9 million litres of E85 was sold in 2014¹².

E10 production will require some 150,000 m³/a of ethanol in 2030, since new vehicles will consume less fuel than the current fleet. Additional domestic capacity could be both sawdust and straw based and could reach a total volume of 150,000 to 200,000 m³/a or some 100,000 to 130,000 toe/a. Thus, national production could provide all the ethanol for standard E10 fuel. The DEVELOPMENT scenario assumes the constraint of ethanol use to be as currently, i.e. 10vol-% of the content. However, it is reasonable to assume that gasoline engine technologies will be developed further, and that the fuel standards will be updated in the future to increase the ethanol content to 20% or 25%. However, this will not have a significant impact on the situation in 2030.

- c) **Electric vehicles** are still expensive, and will remain to be so in the near future. The price excluding taxes is currently more than twice the price of a comparable vehicle with a gasoline engine. Only electric city buses and distribution vehicles that have a high utilisation rate are suitable for cost-effective electrification prior to 2020. After 2020 it is assumed that the cost-effectiveness, supply and performance of (fully electric) passenger cars will reach reasonable levels.

If the vehicle's cost difference become significantly smaller in the future, the negative GDP impact of electricity-powered car types will also decrease. According to the calculations, wider uptake of electric cars at a later stage, some ten years from now, would result in significantly lower additional costs for the economy than a wide uptake in the near future.

From the economic point of view, the uptake of electric passenger vehicles should remain very modest at first. It is more cost-efficient to increase their market share only after their prices are significantly lower. This is currently projected to take place after 2025. Thus, a cumulative fleet of rechargeable vehicles could be somewhere between 100,000 and 200,000 vehicles in 2030 in Finland, depending on their share of sales in 2030, and the share of electric vehicles (BEV) versus plug-in hybrid electric vehicles (PHEV). In addition, it is estimated that there will be also about 1,000 electric city buses and a few thousands electric distribution vehicles, as well.

- d) **Drop-in fuels** are required to reach the specified emission reduction target of 40%. This is why the use of fully compliant (drop-in) synthetic diesel or gasoline products¹³ should grow significantly. Transport would require an additional 600,000 toe/a of domestic biore-

¹¹ (<http://www.kaasuyhdistys.fi/tiedotteet/kaasuvisio-energia-ja-ilmastotiekarttaan-2050>)

¹² Gasoline & Biofuels Association Finland (http://www.oil.fi/sites/default/files/3.4_myynti.pdf)

¹³ Biocomponents other than bioethanol (currently max. 10% content) can be blended with gasoline according to the drop-in principle. Such components are already produced in the HVO process. It is also possible to use biobased raw material (e.g. tall oil resin) to replace crude oil in the process in the refinery in the production of gasoline components. Neste already does this. It is also possible to manufacture and use biobased ethers, which can bring the share of biobased components up to 20% and over without an excessive oxygen concentration.

finery capacity, depending on their competitiveness and incentives compared to other alternatives and import fuels.

In the DEVELOPMENT scenario, it is assumed that new Finnish biorefineries will utilise mainly the side-streams of forestry waste and forestry industry as raw materials with gasification or pyrolysis/hydrogenation technologies. They can be either integrated in independent forestry industry or partly adjacent to oil refineries. If the additional biofuel production were to reach a level of 600,000 toe/a, 4 to 7 additional plants would be required, depending on their capacity. This would require of a total of some EUR 1,800 million of investments in the industry.

The additional demand for wood will be around 2 to 2.5 million m³ of solid wood per year, depending on the share of black liquor and pine oil fractions in the new biorefinery production. If black liquor, pine oil or pine resin is used as a raw material, the demand for wood will fall. It should also be noted that the development of new technologies and the supporting research and development functions as well as their commercialisation will require significant investments from Finland and the EU. Without them the proposed scenario cannot be implemented by 2030.

Chart 2 depicts the emission reductions achieved by the baseline (CONV) and DEVELOPMENT scenarios.

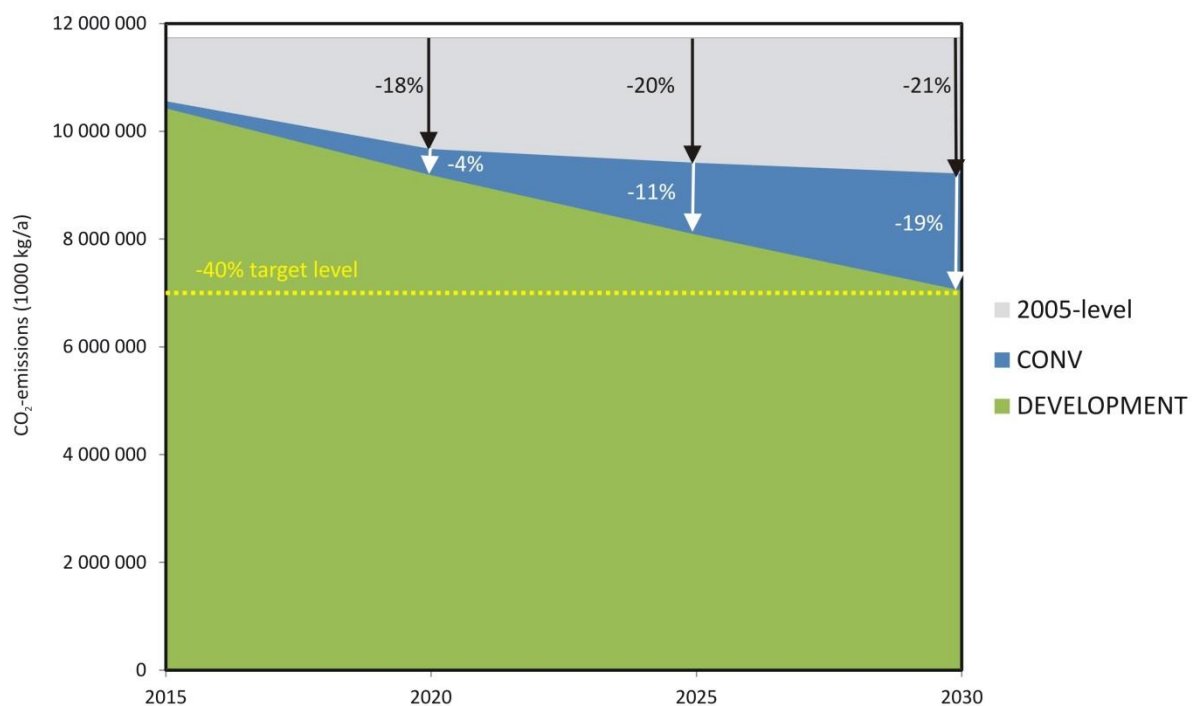


Chart 2: CO₂ emissions of the CONV and DEVELOPMENT scenarios.

Table 4 depicts the emission reductions achieved with the DEVELOPMENT scenario in 2030 and specifies the detailed emission reductions resulting from the use of biogas, electricity and liquid biofuels. The table indicates the extent to which reductions can be achieved with the different technologies. Biogas will contribute an average share of 5%, increased use of electricity some 9% and liquid biofuels the remaining 86% of the total additional reduction requirement (19%). Thus, liquid biofuels are clearly the dominant source in the emission reduction.

Table 4. Emission reductions achieved by the DEVELOPMENT scenario (tonn/a) in 2030 and emissions from the use of biogas, electricity and liquid biofuels.

	Biogas	%	Electricity	%	Liquid bio	%	total	%
<i>Passenger cars</i>	48,241	0.4%	171,090	1.5%	717,033	6.1%	936,364	8.0%
<i>Vans</i>	13,502	0.1%	989	0.0%	221,909	1.9%	236,400	2.0%
<i>Buses</i>	13,205	0.1%	32,869	0.3%	104,530	0.9%	150,604	1.3%
<i>Trucks</i>	33,947	0.3%	-4,464	0.0%	823,413	7.0%	852,897	7.3%
total	108,895	1%	200,484	2%	1,866,885	16%	2,176,265	19%

1.5.3 The economic impacts in the DEVELOPMENT scenario

Based on the economic impact analyses, wide-spread use of drop-in fuels would have a minor effect on GDP and on consumer demand in case significant investments are made to domestic biofuel production. However, if all drop-in fuel would be imported, GDP is projected to remain more than 1.5 per cent lower in the long-term than in the baseline scenario. In contrast, large investments in the domestic drop-in fuel production would even increase the GDP minimally compared to the baseline scenario.

Chart 3 depicts the impact of the above-mentioned DEVELOPMENT scenario on the GDP with different assumptions on the future price of electric vehicles.

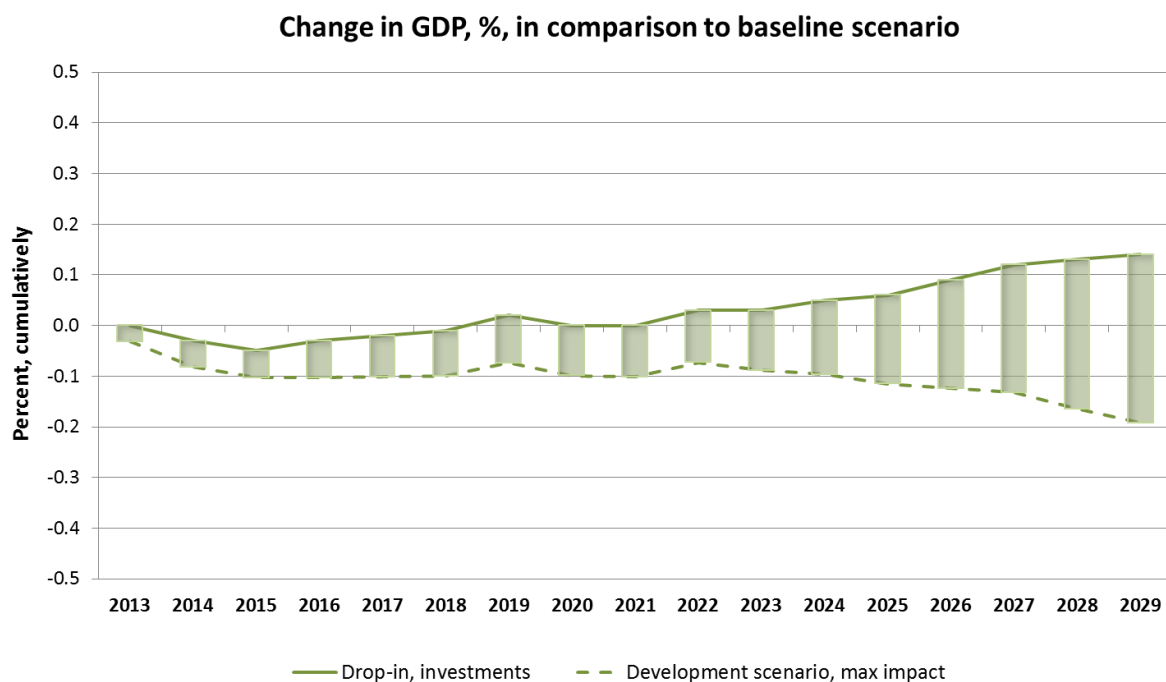


Chart 3: The GDP impact of the DEVELOPMENT scenario (Note the difference in the scale compared to chart 1).

As mentioned, the DEVELOPMENT scenario assumes that uptake of electric vehicles will not take place until about 10 years from now. Most of the emission reductions will result from the use of domestic drop-in fuels. Therefore, there is only a marginal difference in the GDP impacts of the DEVELOPMENT and the Drop-in investment scenarios. However, the final effect of the DEVELOPMENT scenario depends especially on the price developments of electric vehicles. The “Development scenario. max. cost” -line in chart 3 shows the GDP impact if the price of electric vehicles follows the projections presented in section 7. If the price is lower, the GDP impact of the DEVELOPMENT scenario will be somewhere between the two lines in chart 3. Considering that the difference in the long-term cumulative GDP impact between these scenarios is +0.1...-0.2% in comparison to the baseline scenario, it can be concluded that the impact of the DEVELOPMENT scenario is only marginally different from

the Drop-in investment scenario. Moreover, change in the value added would remain relatively small in comparison to the GDP impacts of the other technology scenarios depicted in chart 1.

1.6 Main results and conclusions

The main results and conclusions of the report are the following:

- The baseline option of implementing only current actions will, in 2030, lead to a situation where CO₂ emissions from transport will be already reduced by more than 20% despite the projected growth of fleet mileages. To introduce further emission reductions, it will be necessary to increase the use of low-carbon or carbon-neutral energy in transport. This assessment focuses on propulsion alternatives as such and does not consider any public efforts to influence transport methods or the expected renewal of the vehicle fleet. Based on the economic impact analyses and technology-specific considerations, we were able to identify solutions that can achieve a 30 or even 40% reduction in the transport CO₂ emissions by 2030.
- The most cost-efficient way to reduce emissions is to invest in the production and uptake of domestic, advanced drop-in biofuels. Their use will not require changes on the vehicle fleet or on fuel distribution system.
- Biogas is also a relatively cost-efficient option for reducing transport related CO₂ emissions, but would require a significant increase in the number of gas-fuelled vehicles. However, it is not possible to set obligations for fleet renewal or powertrain choice.
- Major part of the raw material requirements for the new Finnish biofuel factories could be met with the domestic supply of wood and waste materials. With focused public investment support, new technologies can be commercialised so that domestic production is competitive in comparison to imports.
- A sensitivity analysis was conducted to assess the impact of different fossil fuel, biofuels and electric vehicle price assumptions. When the price of biofuels was increased by 30%, and the price of fossil fuels reduced by 30%, the respective order of biofuels and electricity-based options remained unchanged. If the price of electric and combustion engines vehicles would be about the same by 2030, the GDP impact of the electric vehicle scenarios would be significantly closer to the impact in the biofuel scenarios.
- Because of the high price of electric cars, their large-scale uptake will not be cost-effective until technology advancements bring down the costs significantly.
- If the use of gas-fuelled or electric cars would like to be enhanced in the future, it is necessary to identify policies and practices that will work under the Finnish conditions. These could include e.g. the favouring of gas-powered vehicles in public procurement. This would also support the establishment of an effective used-cars-market in the long term. Resale value is a very important factor in consumer purchase decisions of vehicles.

1.7 Suggested actions

The detailed emission reduction target for Finland might be finalised only around 2016, after the results of the 2015 United Nations Climate Change Conference in Paris become available. Thereafter, decisions on the details of the EU climate and energy package will most likely be made, including the effort sharing decision on binding GHG emission targets for Member States for the transport and other non-ETS sectors.

If the targeted emission reduction for transport sector is around 40%, an additional emission reduction of some 20% is required in the transport sector from the 2005 level in comparison to the baseline scenario (including the 15% of biofuels mandated by the current distribution obligation). This impact analysis focuses on identifying the most cost-effective solutions to reach these additional emission reductions. When selecting suitable propulsion methods, attention must also be paid to the availability of fuels, while creating a favourable environment where all new alternatives could gain ground.

Based on the above, it is possible to suggest the following actions.

- In the selection of steering methods for the transport emissions reductions, it is necessary to consider the maturity of different technologies as well as their economic, social and environmental impacts.
- To promote the market entry of advanced biofuels, the current biofuel distribution obligation should remain also after 2020 and the target for 2030 should be brought to an appropriate higher level. The current trend is focusing on components that replace diesel fuels. A separate solution is required for securing sufficient volumes of biofuels in the market for gasoline-fuelled vehicles. The ethanol content in gasoline blends may well rise from the current 10% content to between 20 and 25%. It is also possible to blend other biobased components with gasoline according to the drop-in principle, which is already done commercially.
- Domestic production must be competitive to avoid a situation where an increase in the use of biofuels leads only to an increased use of imported fuels. The EU and Finland can support new and innovative production facilities and thus reduce the risk to investors. New investments are required in the production of advanced biofuels in Finland (up to EUR 1,800 million), as well as R&D. If the additional biofuel capacity requirement is around 600,000 toe/a, the needed domestic and/or EU investment support for innovative facilities could be even EUR 600 million.
- The main factors preventing the uptake of biogas on a wider scale are the small vehicle fleet and the limited fuel distribution network, not the potential of the feedstock or production capacity. If we want to promote the use of biogas, this problem must be addressed while considering that no direct public support on the procurement of imported vehicles would be profitable from the economic point of view.
- Increased wide-scale uptake of electric vehicles and the selection of related policy options will not be topical until after 2020. Preparations can, however, be made, e.g. example by updating the codes and regulations related to buildings to take into account EV recharging possibilities.
- One and the same domestic raw material can be used in the production of liquid fuel, gas and electricity. Thus, taxation should be coherent for all options.
- So-called well-to-wheel analysis should be used in the assessment of GHG emissions of different fuels. It should be made sure at European-wide level that emission reductions achieved with biofuels should have the same ranking as those achieved with renewable electricity. Electric vehicles are currently of more interest to vehicle manufacturers, because electricity is always considered zero-emission fuel, while a vehicle running on biofuel is valued the same way as a vehicle running on fossil fuel.
- To enable smart, low-carbon transport, some EUR 50 million is required by 2020 to support the development of new, sustainable propulsion alternatives, production of advanced biofuels, domestic electric vehicles and their recharging infrastructure, improved energy efficiency as well as the development and wide-scale demonstrations of new service concepts made possible by smart transport. In addition, private companies' demonstration facilities will also require public risk funding.