

Sitra / Mariko Landström, Outi Haanperä, Saara
Tamminen
Traficon / Aki Tili, Outi Ampuja

3.12.2018

Muistio

Sähköautojen kansainvälinen näkymä

Taustamuistio liikenteen ilmastopolitiikan työryhmälle (ILMO)

Sisällys

1 Tiivistelmä	1
2 Valtiot ja kaupungit tavoittelevat isoja sähköautomääriä	2
3 Autonvalmistajat siirtyvät sähköautoihin	5
3.1 Euroopan unionin päästöraajat kannustavat nollapäästöisten autojen valmistukseen	5
3.2 Kiinan pistejärjestelmä velvoittaa sähköautojen valmistukseen	5
3.3 Autovalmistajat asettaneet itselleen kunnianhimoisia tavoitteita	5
3.4 Uusia sähköautomalleja ilmoitettu paljon	7
3.5 Akuston kehityksen myötä hinnat halpenevat ja kantamat kasvavat	7
3.6 Sähköautot tulevat kilpailukykyisiksi Suomessa pian	9
4 Voiko raskaan liikenteen sähköistää?	10
5 Loppuvatko akkumetallit kesken?	13
5.1 Litium	13
5.2 Koboltti	14
6 Ovatko sähköautot oikeasti ympäristöystävällisiä?	15

1 Tiivistelmä

Tämä taustamuistio kuvaa sähköautojen kansainvälisiä näkymiä.

Monet valtiot ja kaupungit ovat asettaneet kunnianhimoisia sähköautotavoitteita seuraavalle vuosikymmenelle. Jotkut maat, kuten Norja, Irlanti, Alankomaat, Slovenia ja Tanska, ovat ilmoittaneet kieltävänsä polttomoottoriautojen myynnin tai tavoittelevansa sen loppumista vuoteen 2030 mennessä. Näiden lisäksi lukuisat tahot, kuten Kiina, Intia ja EU, tavoittelevat sähköautoille vähintään 30% osuutta myydyistä autoista 2030.

Kiina ja EU ovat suuria markkina-alueita, jotka velvoittavat alueidensa autoteollisuutta valmistamaan sähköautoja. Monet autonvalmistajat ovat kuitenkin menneet vaatimuksia pidemmälle ja siirtävät tuotantoaan voimakkaasti sähköautoihin. Volvo ja General Motors ovat ilmoittaneet luopuvansa polttomoottoriautoista kokonaan, ja kovia tavoitteita valmistettujen sähköautojen osuudelle ovat ilmoittaneet myös muun muassa Nissan, Volkswagen, Toyota ja Honda. Uusia sähköautomalleja on ilmoitettu satoja, ja akustojen nopean kehityksen myötä uusien mallien hinnat halpenevat ja kantamat kasvavat. Suomessa sähköautojen ennustetaan tulevan kustannuskilpailukykyisiksi polttomoottoriautojen kanssa vuosina 2021-2026 riippuen auton koosta ja tarvittavasta kantamasta.

Sähköistyminen etenee myös raskaassa liikenteessä. Norja on jo asettanut tavoitteeksi, että vuonna 2030 kaikki myydyt pakettiautot ja puolet myydyistä kuorma-autoista on sähköisiä, ja IEA luonnehtii sähkörekkojen olevan matkalla piloteista kaupalliseen skaalaan. Viime vuosina on jo julkistettu useita raskaita pitkän kantaman sähkörekkoja. McKinsey & Company on arvioinut keskiraskaiden sähköajoneuvojen saavuttavan 20-30% ja raskaiden sähköajoneuvojen noin 5% markkinaosuuden Euroopassa 2030 mennessä.

Akkumetallien saatavuuden ei ennusteta olevan ongelma sähköautojen tuotannolle. Sähköautoilla on mahdollista saavuttaa polttomoottoreihin verrattuna huomattavia elinkaaripäästövähennyksiä, riippuen valmistuksessa ja ajossa käytetyn energian lähteestä. Suomen sähköntuotannon nykyrakenteella sähköauton voidaan karkeasti arvioida tuottavan koko elinkaarensa aikana noin kolmasosa keskimääräisen polttomoottoriauton elinkaaripäästöistä. Kun sähköntuotanto entisestään puhdistuu Suomessa ja akustoja tuottavissa maissa sekä akustojen kierrätys lisääntyy, sähköautojen päästöt pienenevät entisestään.

2 Valtiot ja kaupungit tavoittelevat isoja sähköautomääriä

IEA:n Global EV Outlookin (2018) mukaan julkiset toimet ovat pitkälti ajaneet sähköautojen tähänastista yleistymistä. Niiden voidaan olettaa olevan merkittävä ajuri vastakin.

Jotkut maat ovat ilmoittaneet luopuvansa polttomoottoriautoista kokonaan. Kuva 1 esittää IEA:n kokoamat kansalliset polttomoottorien myyntikiellot ja tavoitteet myydä pelkkiä sähköautoja. Norja johtaa tavoitteellaan myydä pelkkiä sähköautoja 2025. 2030 eroon polttomoottoreista uusissa autoissa haluavat Irlanti, Alankomaat ja Slovenia, sekä Skotlanti 2032 mennessä. Ranska ja Iso-Britannia eivät aio myydä polttomoottoreita enää 2040. Täysin sähköistä autokantaa ovat ilmoittaneet tavoittelevansa Sri Lanka 2040 mennessä ja Ruotsi 2045 mennessä.

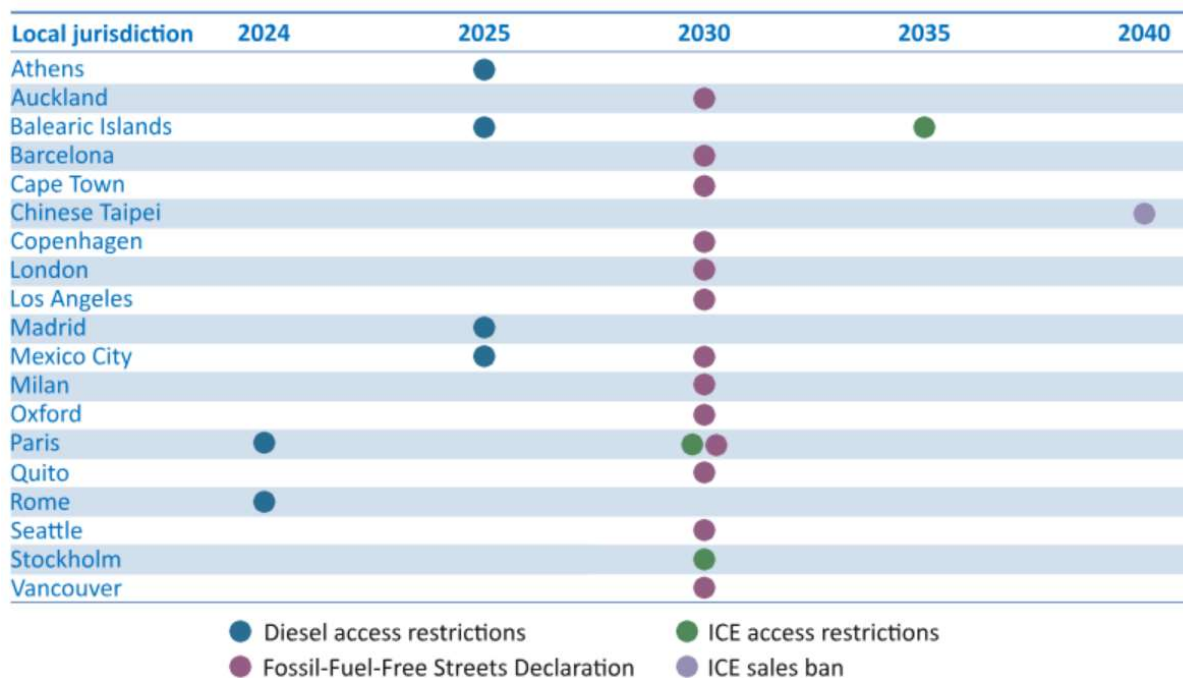
IEA:n kerääminen ilmoitusten lisäksi ainakin myös Tanska ilmoitti syksyllä 2018 kieltävänsä uusien diesel- ja bensiiniautojen myynnin vuonna 2030 ja hybridautojen myynnin vuonna 2035¹. Kiina ilmoitti syksyllä 2017, että sen virkamiehet valmistelevat esitystä polttomoottoriautojen kieltämisestä, mutta tarkkaa aikaa tälle ei olla vahvistettu. Intian hallitus halusi vuoden 2017 ilmoitusten mukaan täysin sähköisen autokannan vuoteen 2030 mennessä, mutta myöhemmin suunnitelmia on tarkennettu ja ilmeisesti tarkoituksena on saada 30% autokannasta sähköiseksi vuoteen 2030 mennessä². Myös Saksassa on puhuttu polttomoottoriautojen kiellosta vuonna 2030 sekä Italiassa vuonna 2040.



Kuva 1: IEA (2018) Table 2.3: Ilmoitetut kansalliset polttomoottoriautojen myyntikiellot ja tavoitteet polttomoottorittomalle autokannalle.

¹ <https://www.reuters.com/article/us-denmark-autos/denmark-embraces-electric-car-revolution-with-petrol-and-diesel-ban-plan-idUSKCN1MC121>

² IEA: Global EV Outlook 2018.



Kuva 2: IEA (2018) Table 2.4: kaupunkien ilmoittamat rajoitteet polttomoottoriautoille alueellaan.

Kansallisten tavoitteiden lisäksi monet suuret kaupungit, joita on esitetty kuvassa 2, ovat asettaneet omia polttomoottoriautokieltoitavoitteita alueilleen. Dieselrajoitteista vuoteen 2025 mennessä ovat Euroopassa ilmoittaneet Ateena, Madrid, Rooma ja Pariisi, sekä muualla Auckland ja Mexico City. 2030 mennessä täysin fossiilittomaksi katunsa ovat julistaneet eurooppalaisista kaupungeista Barcelona, Kööpenhamina, Lontoo, Oxford, Milano ja Pariisi³. Tukholma on ilmoittanut rajoitteista.

Täyskieltoja tyypillisempiä ovat matalammat kansalliset tavoitteet sähköautojen osuudelle myydyistä autoista. Kuva 3 esittää IEA:n tiivistyksen useiden maiden 2020-luvun sähköautotavoitteista. Huomattavimpina tavoitteina ovat Kiinan sähköautojen tai muiden uusien käyttövoimien 40-50% osuus myydyistä autoista 2030 ja EU:n tavoite sähköautojen 30% myyntiosuudesta 2030. USA:ssa liittovaltiotasoisia tavoitteita ei ole, mutta osavaltiot ovat asettaneet itselleen tavoitteita. Esimerkiksi Kalifornia tavoittelee sähköautoille 15% markkinaosuutta 2025. Monet maista on mukana EV30@30 -kampanjassa, jossa tavoitellaan sähköautoille 30% osuutta uusien autojen myynnistä 2030 mennessä.

Sähköautotavoitteiden toteutumista edistetään erityisesti erilaisilla säännöillä, kuten autojen päästörajoituksilla, myyntikielloilla, sähköautojen julkisilla hankinnoilla sekä toisaalta tuilla sähköautojen hinnan suhteelliseksi alentamiseksi, kuten suorilla hankintatuilla ja alennetuilla veroilla. IEA:n Nordic EV Outlook (2018) näyttää, että Pohjoismaista Tanskassa ja Norjassa sähköauton hankintahinta on tukitoimin jo tuotu vastaavan polttomoottoriauton hankintahintaa alhaisemmaksi, ja Islannissa hinnat ovat hyvin lähellä toisiaan.

Julkinen puoli tukee useissa maissa sähköautojen yleistymistä myös tuilla niiden latausinfrastruktuurin rakentamiseen. Kiinalla taas on suorat tavoitteet latausverkoston koosta, sisältäen esimerkiksi 0,5 miljoonaa julkista latauspistettä vuoteen 2020. Paikalliset julkiset tahot ovat useissa kaupungeissa myös kehittäneet erilaisia tukia sähköautojen latausinfrastruktuuriin.

³ <https://www.c40.org/other/fossil-fuel-free-streets-declaration>

Country or region	EV 30@30 ¹	2020-30 EV target or objective	Source
Canada	✓	-	
China	✓	• 5 million EVs by 2020, including 4.6 million PLDVs, 0.2 million buses and 0.2 million trucks. • New energy vehicle (NEV)² mandate: 12% NEV credit sales of passenger cars by 2020.³ • NEV sales share: 7-10% by 2020, 15-20% by 2025 and 40-50% by 2030.	State Council (2012), EVI (2016b) MIIT (2017) Marklines (2017b)
European Union		• Post 2020 proposed CO₂ targets for cars and vans include benchmarks: 15% EV sales by 2025 and 30% by 2030 (exceeding these benchmarks allows for less stringent specific emissions targets to be met by OEMs).	EC (2018b)
Finland	✓	• 250 000 EVs by 2030.	MEAEF (2017)
France	✓	• Objectives under revision.	EVI (2018)
India	✓	• 30% electric car sales by 2030. • 100% BEV sales for urban buses by 2030.	Government of India (2018c) SIAM (2017)
Ireland		• 500 000 EVs and 100% EV sales by 2030.	DPER (2018)
Japan	✓	• 20-30% electric car sales by 2030.	METI (2014)
Mexico	✓	-	
Netherlands	✓	• 10% electric car market share by 2020. • 100% EV sales in PLDVs by 2030. • 100% electric public bus sales by 2025 and 100% electric public bus stock by 2030.	EVI (2016) Rijksoverheid (2017) IPO (2016)
New Zealand		• 64 000 EVs by 2021.	Ministry of Transport (2018)
Norway	✓	• 100% EV sales in PLDVs, LCVs and urban buses by 2025. • 75% EV sales in long-distance buses and 50% in trucks by 2030.	National Transport Plan (2016)
Korea		• 200 000 EVs in PLDVs by 2020.	MOTIE (2015)
Slovenia		• 100% electric car sales by 2030.	(Novak, 2017)
Sweden	✓	-	
United Kingdom		• 396 000 to 431 000 electric cars by 2020.	EC (2017a)
United States (selected states)		• 3 300 000 EVs in eight states combined by 2025.⁴ • ZEV⁵ mandate in ten states⁶: 22% ZEV credit sales in passenger cars and light-duty trucks by 2025.⁷ • California: 1.5 million ZEVs and 15% of effective sales by 2025, and 5 million ZEVs by 2030.	ZEV PITF (2014) CARB (2016) State of California (2018; 2016a)
Other European Union ⁸		• 450 000 to 760 000 electric cars by 2020. • 5.42 million to 6.27 million electric cars by 2030	EC (2017b)

Kuva 3: IEA (2018) Table 2.2: Kansalliset sähköautotavoitteet 2020-luvulla.

3 Autonvalmistajat siirtyvät sähköautoihin

Kansalliset sähköautotavoitteet suurilla markkinoilla ajavat myös sähköautojen tuotantoa. Erityisesti EU ja Kiina ovat myös asettaneet suoria kannusteita tai pakotteita autonvalmistajille tuottaa sähköautoja.

3.1 Euroopan unionin päästörajat kannustavat nollapäästöisten autojen valmistukseen

Euroopan unioni ja sen perässä monet muut maat ovat asettaneet kiristyvät rajat henkilöautojen ja pakettiautojen keskimääräiselle hiilidioksidipäästölle kilometriä kohti. Koska sääntely koskee valmistajan myytyjen autojen keskimääräistä päästöä, polttomoottoriautojen päästöjä voi tasapainottaa päästöttömillä käyttövoimilla. Vuodelle 2021 uusien henkilöautojen keskimääräiseksi päästoksi on asetettu 95 g hiilidioksidia kilometriä kohti, ja pakettiautoille 147 g. Tällä hetkellä EU:ssa ollaan sopimassa henkilöautoille 35% ja pakettiautoille 30% päästövähennystavoitteesta 2030 mennessä verrattuna vuoteen 2021. Päästöttestä uudistetaan samalla luotettavammaksi.⁴

Nyt käytössä olevalla testimenetelmällä (NEDC) ilmaistuna henkilöautojen keskimääräinen päästöraja vuodelle 2030 on 62 gCO₂/km. Nykyisin hybridi-auton päästöt ovat tyypillisesti noin 80 gCO₂/km, joten nollapäästöisten autojen tuottamisen ajatellaan olevan välttämätöntä päästörajiin pääsemiseksi.

Hyvin vähäpäästöisten autojen (< 50 g CO₂/km) valmistukseen kannustetaan antamalla niille suurempi paino, kun keskimääräisiä päästöjä lasketaan, mikäli niiden osuus valmistajan myynnistä ylittää tavoitellut vertailutasot (15 % 2025 ja 30 % 2030).⁵

3.2 Kiinan pistejärjestelmä velvoittaa sähköautojen valmistukseen

Kiinan hallitus otti vuonna 2018 käyttöön uusien käyttövoimien pistejärjestelmän (*new energy vehicle credit mandate*), joka velvoittaa autoteollisuuden valmistamaan sähköautoja, hybridejä ja polttokennoautoja. Autonvalmistajilla on vuosittainen pisteminimi, joka on saavutettava valmistamalla tai maahantuomalla vähimmäiskantaman (100 km täyssähköautoille) täyttäviä uuden käyttövoiman autoja – tai ostamalla pisteitä toisilta valmistajilta, jotka ovat ylittäneet minimitavoitteen. Järjestelmä antaa ajoneuvoista pisteitä sitä enemmän, mitä pidempi kantama ja suurempi energiatehokkuus on saavutettu. Sähköautosta voi näistä tekijöistä riippuen ansaita 1-6 pistettä. Näin ollen vaadittu vähimmäispistemäärä (10% myynnistä 2019 ja 12% 2020) ei suoraan määrää nollapäästöisten autojen osuutta myydyistä autoista, mutta pakottaa niiden valmistukseen ja palkitsee tehokkaammista lopputuloksista.⁶

Pistejärjestelmän julkistuksen jälkeen 2017 monet kansainväliset autovalmistajat, kuten Volkswagen, Daimler, Renault-Nissan, GM, BMW ja Ford, ovat ilmoittaneet aloittavansa yhteistyön kiinalaisten autonvalmistajien kanssa sähköautotavoitteiden täyttämiseksi.

3.3 Autovalmistajat asettaneet itselleen kunnianhimoisia tavoitteita

Autonvalmistajat ovat myös asettaneet itselleen regulaatiota tiukempia sähköautotavoitteita. Jotkut autovalmistajat ovat päättäneet luopua polttomoottoriautoista kokonaan. Volvo on ilmoittanut, että kaikki

⁴ European Council: CO₂ emission standards for cars and vans: Council agrees its position, <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2018/10/10/co2-emission-standards-for-cars-and-vans-council-agrees-its-position/>

⁵ IEA: Nordic EV Outlook 2018

⁶ IEA: Global EV Outlook 2018

automallit vuoden 2019 alusta ovat joko hybridejä, ladattavia hybridejä tai sähköautoja⁷. General Motors (GM) on ilmoittanut luopuvansa polttomoottoriautoista, mutta ei ole antanut aikarajaa⁸.

Kovia tavoitteita on asetettu myös muuten. Honda tavoittelee kahden kolmasosan sähköosuutta automyynnistään vuoteen 2030 mennessä globaalisti, ja vuoteen 2025 mennessä Euroopan markkinoilla. Nissan toivoo, että sähköautot muodostavat puolet sen myydyistä autoista Euroopassa ja Japanissa 2025 mennessä. Toyota tavoittelee sähköautoille ja hybrideille puolikasta sen myynnistä 2030. Volkswagen aikoo myydä neljäsosan autoistaan sähköisinä 2025.

Taulukossa 1 on listattu valmistajien sähköautotavoitteita ja ilmoitettu valmistajan osuus Suomen automyynnistä vuonna 2017. Listatuilla kunnianhimoisilla valmistajilla on tällä hetkellä Suomessa noin 60 % markkinaosuus.

Taulukko 1: Valmistajien sitoumuksia sähköistämiseen⁹

VALMISTAJA	TAVOITEAIKA	TAVOITE	OSUUS SUOMEN MYNNISTÄ 2017
NISSAN	2025	Täyssähköautot 50 % myynnistä Japanissa ja Euroopassa	6 %
MERCEDES	2025	Täyssähköautot 15-25 % myynnistä	5,6 %
VOLKSWAGEN	2025	Täyssähköautot 25 % myynnistä	11,1 %
PORSCHE	2030	Täyssähköautot 100 % myynnistä	0,2 %
TOYOTA	2030	Täyssähköautot ja tavalliset hybridit 50 % myynnistä	12,8 %
VOLVO	2019	Polttomoottoriautojen lopetus	7,7 %
HONDA	2025	Sähköautot 2/3 myynnistä Euroopan markkinoilla	1,6 %
FORD	2022	40 uutta hybridi- ja täyssähkömallia	7,2 %
TESLA	-	Pelkkiä täyssähköautoja	0,2 %
JAGUAR LAND ROVER	2020	Uudet mallit sähköistetään	0,4 %
YHTEENSÄ			58,6%

⁷ <https://group.volvocars.com/company/innovation/electrification>

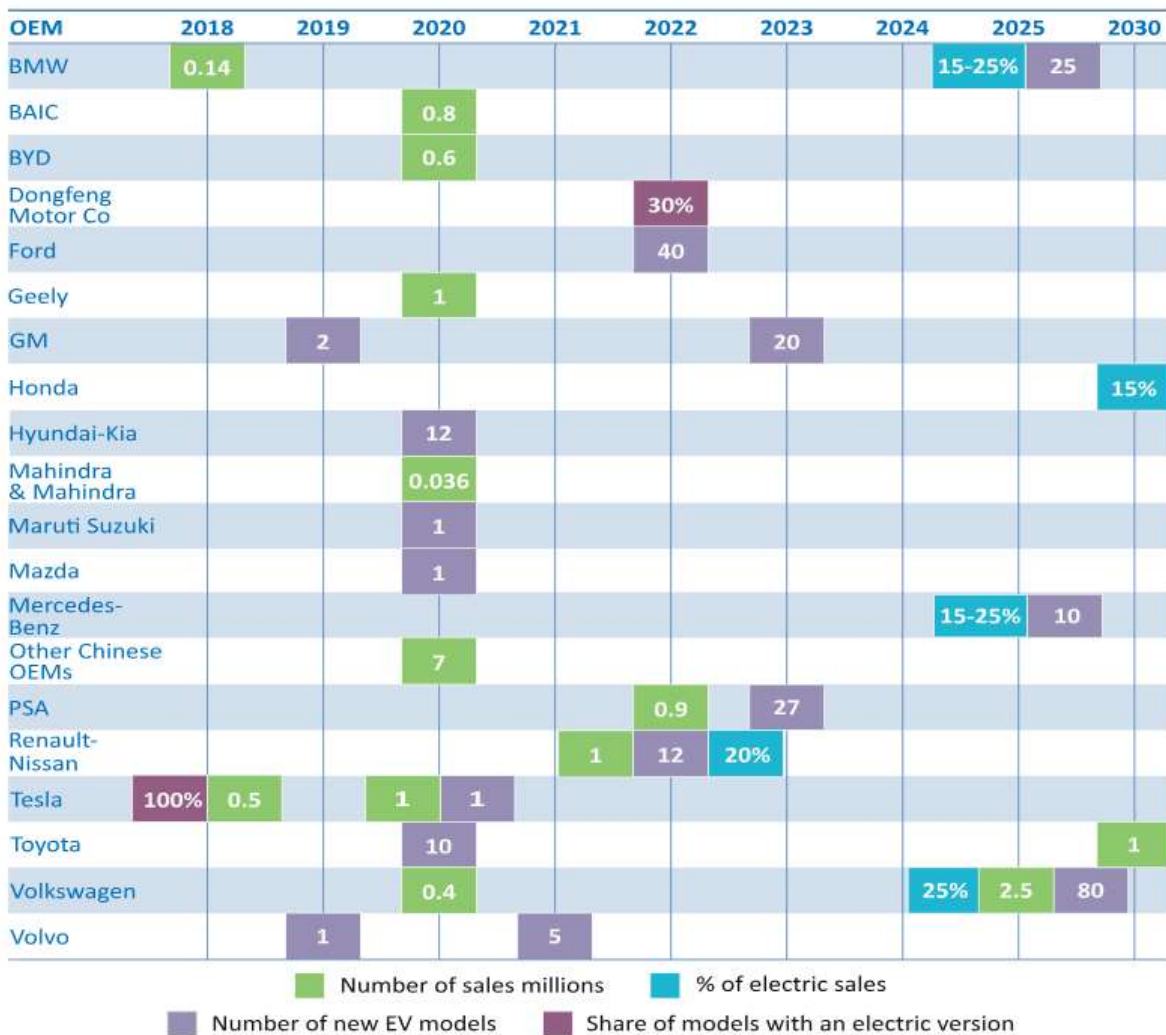
⁸ <https://www.nbcnews.com/business/autos/gm-going-all-electric-will-ditch-gas-diesel-powered-cars-n806806>

⁹ Mukailtu lähteestä the Committee on Climate Change (2018): Reducing UK emissions. 2018 Progress Report to the Parliament. Autojen myynti on laskettu Trafin ensirekisteröintiedoista

http://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/TraFi_Ensirekisteroinnit/060_ensirek_tau_106.px/table/tableViewLayout2/?rxid=f32eca26-636e-4e4d-924e-b69646857b46

3.4 Uusia sähköautomalleja ilmoitettu paljon

Autonvalmistajat ovat ilmoittaneet lukuisista tulevista sähköautomalleista. Kuvassa 4 on IEA:n (2018) keräämät tiedot valmistajien sähköautoilmoituksista, joiden mukaan malleja olisi tulossa markkinoille noin 250 kappaletta vuoteen 2030 mennessä. Tiedot eivät ole kattavia, sillä kaikkia malleja ja kaikkia valmistajia ei ole huomioitu, mutta luku antaa silti osviittaa sähköautojen yleistymisestä.



Kuva 4: IEA (2018) Table 2.5: Valmistajien ilmoitukset sähköautoihin liittyen.

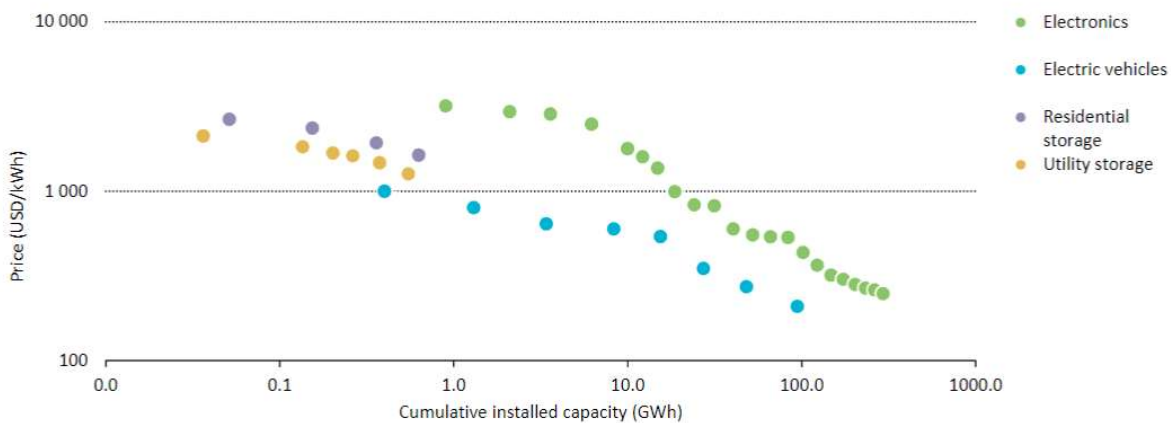
3.5 Akuston kehityksen myötä hinnat halpenevat ja kantamat kasvavat

Akustot ovat kehittyneet nopeasti viime vuosina. Taulukko 2 havainnollistaa muutaman automallin avulla kapasiteetin kehitystä. Esimerkiksi uuden Volkswagen e-Golfin kantama oli 300 km vuonna 2017, kun se vielä vuoden 2016 mallissa oli 190 km, eli vuodessa kantama kasvoi 58%.

Kuvassa 5 on esitetty IEA:n tarkastelu sähköautoissa käytettyjen litiumioniakkujen hintakehityksestä (ks kuvio 5.1). Akkujen hinnat ovat laskeneet sitä mukaa, kun niiden valmistusmäärä on kasvanut.

Taulukko 2: Akuston kehitys muutamalla esimerkiautomallilla

MALLI	KANTAMA 2018 (KM)	KANTAMAN KEHITYS	KAPASITEETTI 2018 (KWH)	KAPASITEETIN KEHITYS
RENAULT ZOE	400 (2017)	+90% vuosina 2012-2017	41	+86% vuosina 2012-2017
BMW I3	310 (2018)	+63% vuosina 2013-2018	33	+50% vuosina 2013-2018
NISSAN LEAF	378 (2018)	+116% vuosina 2010-2018	40	+67% vuosina 2010-2018
VW E-GOLF	300 (2017)	+58% vuosina 2016-2017	36	+50% vuosina 2016-2017
FORD FOCUS ELECTRIC	185 (2017)	+16% vuosina 2012-2017	34	+42% vuosina 2012-2017



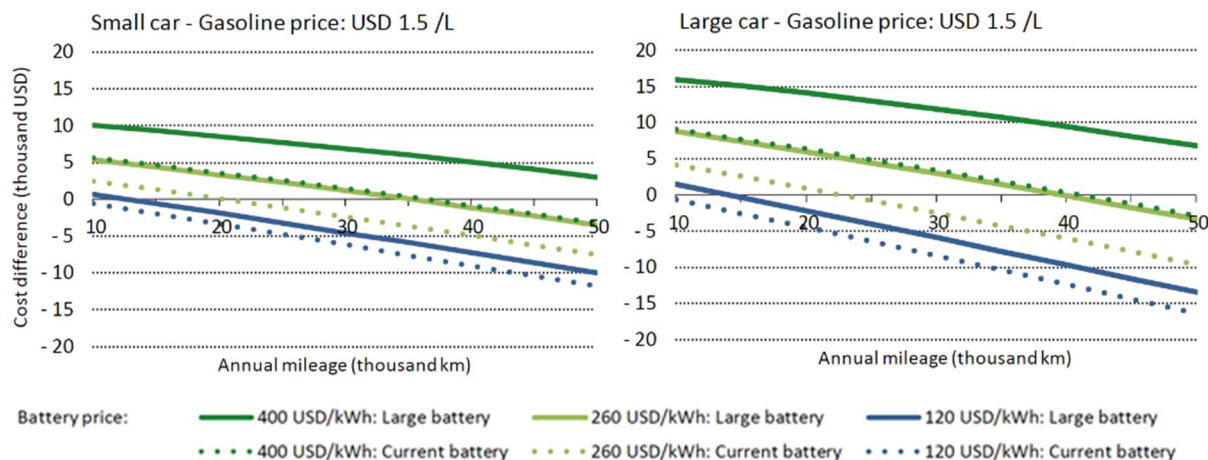
Kuva 5: IEA (2018) Figure 5.1: Litiumioniakkujen hintakehitys asennetun kapasiteetin mukaan. Huomaa logaritminen asteikko.

Edullisen hintakehityksen arvioidaan jatkuvan. Sitralle tuotetussa Suomen päästövähennysten kustannuskäyrässä¹⁰ McKinsey arvioi tyypillisen henkilöauton 50-75 kWh akuston kustannuksen saavuttavan 2020 mennessä 160 dollaria/kWh, 2025 mennessä 110 dollaria/kWh ja 2030 mennessä 100 dollaria/kWh. Bernstein Research ennustaa vielä aggressiivisempaa laskua - 10% vuosittaisen hinnan laskun pitäisi johtaa 100 dollarin/kWh hinnan saavuttamiseen jo vuonna 2021¹¹.

IEA (2018) on verrannut sähköautojen ja polttomoottoriautojen kokonaiskäyttökustannusten (*total cost of ownership, TCO*) eroja eri akustojen hinnoilla (kuva 6). Kokonaiskäyttökustannus sisältää kaikki auton elinkaaren aikana koituvat odotetut kustannukset. Mitä pienempi auto ja mitä enemmän sillä ajetaan, sitä kannattavamaksi sähköauto tulee. Kun akuston hinta laskee 120 dollariin kilowattitunnilta, kaikenkokoiset sähköhenkilöautot tulevat polttomoottoreita halvemmiksi suomalaisen keskimääräisellä 15 tuhannen kilometrin vuosiajolla. Sen jälkeen säästöä kertyy polttomoottoriin verrattuna sitä enemmän, mitä enemmän ajaa.

¹⁰ Sitra ja McKinsey (2018): Cost-efficient emission reduction pathway to 2030 for Finland: opportunities in electrification and beyond, <https://www.sitra.fi/julkaisut/kustannustehokas-paastovahennyspolku-vuoteen-2030-suomelle/>

¹¹ ICIS: 'Game over' for combustion engine vehicles by 2029 – Bernstein <https://www.icis.com/explore/resources/news/2018/02/23/10196533/-game-over-for-combustion-engine-vehicles-by-2029-bernstein/>



Kuva 6: IEA (2018) Figure 5.5: Kokonaiskäyttökustannuksen ero täyssähköauton ja polttomoottoriauton välillä erilaisilla akun hintapisteillä ja vuosittaisilla suoritteilla.

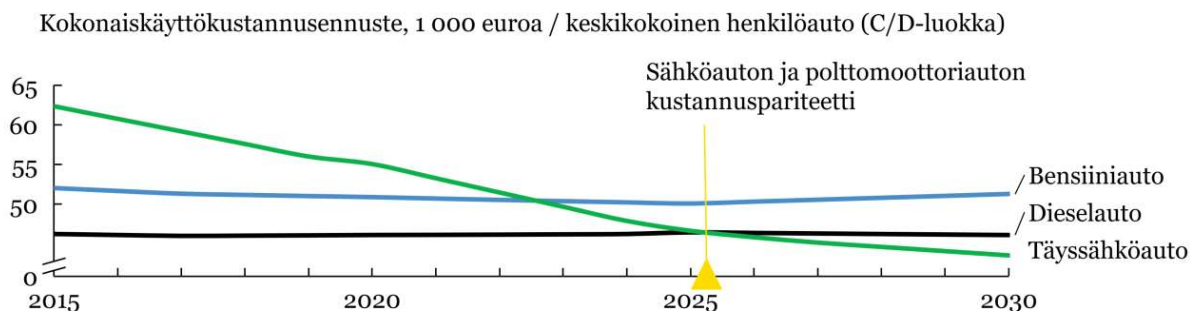
3.6 Sähköautot tulevat kilpailukykyisiksi Suomessa pian

McKinsey on laskenut Suomelle sähköautojen kokonaiskäyttökustannusennusteita päästövähennysten kustannuskäyrää varten.¹² Sähköauton kokonaiskäyttökustannukseen on oletettu sisältyvän auton hankintahinta, noin 1 000 – 2 000 euroa maksava kotilatauspiste, tyypillisen suomalaisen auton 20 vuoden elinajan aikaiset huollot, mukaan lukien kaksi akun vaihtoa, sekä kulutetun sähkön hinta. Autojen hintakehitys perustuu McKinseyn omaan malliin, joka ennustaa auton kustannusta komponenttien kustannusennusteista käsin. McKinsey arvioi tyypillisen henkilöauton 50-75 kWh akun kustannuksen saavuttavan 2020 mennessä 160 dollaria/kWh, 2025 mennessä 110 dollaria/kWh ja 2030 mennessä 100 dollaria/kWh. Tämä ei sisällä teknologisia läpimurtoja akun kehityksessä, kuten sinkki-ilma-akkuja.

Kokonaiskäyttökustannusten pariteetti polttomoottoriautolle ja täyssähköautolle saavutetaan eri aikoihin eri kokoisille autoille. Pienet A/B-luokkien sähköautot tulevat elinkaarikustannuksiltaan polttomoottoriauton kanssa samalle viivalle ennusteen mukaan vuonna 2021, keskikokoiset C/D-luokkien autot 2025 ja isot E/F-luokan autot sekä J-luokan maasturit vuonna 2026. Esimerkki TCO-kehityksestä keskikokoisen C/D-luokan henkilöauton eri käyttövoimille on esitetty kuvassa 7. Auto- tai ajoneuvoveroja ei ole huomioitu laskelmissa.

Kokonaiskäyttökustannuspariteetin jälkeenkin sähköauton hankintahinta säilyy arvion mukaan jonkin verran vastaavaa polttomoottoriautoa korkeampana. Päästöporrastetuilla veroilla ja tuilla hankintahinnan (ja kokonaiskäyttökustannuksen) pariteettia voi kuluttajan näkökulmasta aikaistaa vuosilla.

¹² Sitra ja McKinsey (2018): Cost-efficient emission reduction pathway to 2030 for Finland: opportunities in electrification and beyond, <https://www.sitra.fi/julkaisut/kustannustehokas-paastovahennyspolku-vuoteen-2030-suomelle/>



Kuva 7: Sähköauton, bensiiniauton ja dieselauton kokonaiskäyttökustannusten ennustettu kehitys. Ei sisällä auto- tai ajoneuvoveroja.

4 Voiko raskaan liikenteen sähköistää?

Kansalliset tavoitteet sähkörekoille eivät ole vielä lainkaan yhtä yleisiä kuin henkilöautoille. Kuitenkin esimerkiksi Norja on asettanut tavoitteeksi, että 2025 100% myydyistä pakettiautoista ja kaupunkibusseista on sähköisiä, ja 2030 75% myydyistä pitkän matkan busseista ja 50% rekoista on sähköisiä¹³.

EU:ssa raskaan liikenteen päästörajoja aletaan vasta asettaa. Komission esityksen mukaan raskaan liikenteen päästöt mitataan 2019, ja 2030 mennessä niistä on leikattava 30%. Uusia käyttövoimia suunnitellaan tuettavaksi samantyyllisellä kannustinjärjestelmällä kuin henkilöautojakin; erittäin vähäpäästöinen ajoneuvo saa suuremman painoarvon, kun keskimääräistä päästöä lasketaan – tiettyyn kattoon saakka.¹⁴

IEA:n Global EV Outlook (2018) luonnehtii, että raskaat sähköajoneuvot ovat matkalla piloteista kaupalliseen skaalaan. 2017 alkaen jotkin suuret autovalmistajat, kuten Tesla ja Daimler, ovat julkistaneet sähkörekkamalleja. Lisäksi kasvava sähköisten raskaiden ajoneuvojen prototyyppien määrä viittaa kasvavaan kiinnostukseen sähkörekkajen massatuotantoon. Kuva 8 esittää IEA:n keräämänä joitakin viime aikoina julkistettuja raskaita sähkörekkamalleja ja niiden kantamia. Selkeästi pisin, jopa tuhannen kilometrin kantama on luvattu Teslan Semi Long Range -mallille, ja 400 kilometrin luokkaa olevia kantamia tarjoavat myös Emoss ja Daimler.

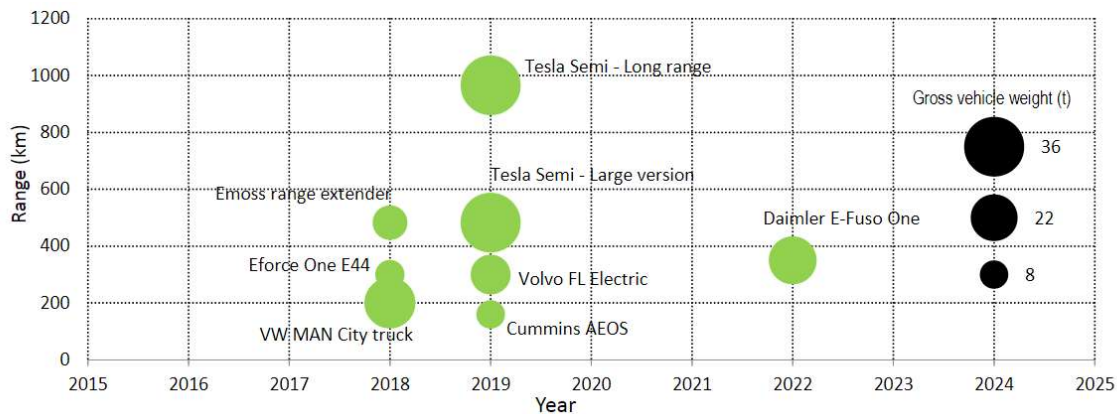
Suomalainen autovalmistaja Sisu julkisti hybridirekan 2017, ja arvioi että vuonna 2019 jo viidenneksellä merkin valmistetuista autoista on hybridijärjestelmä. Valmistaja on myös luonnehtinut, että heidän kehityksensä on ”kohti hybridi- ja sähkömalleja”.¹⁵

IEA (2018) kuvaa, että myös pilottiprojektit sähkörekoista sekä dynaamisista latausjärjestelmistä ja sähköteistä lisääntyvät, ja niiden taloudellisuus paranee tasaisesti. Pilottiprojekteja on käynnissä muun muassa Kaliforniassa, Ruotsissa, Saksassa ja Alankomaissa.

¹³ IEA, Global EV Outlook 2018.

¹⁴ European Commission: Reducing CO2 emissions from heavy-duty vehicles
https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/heavy_en

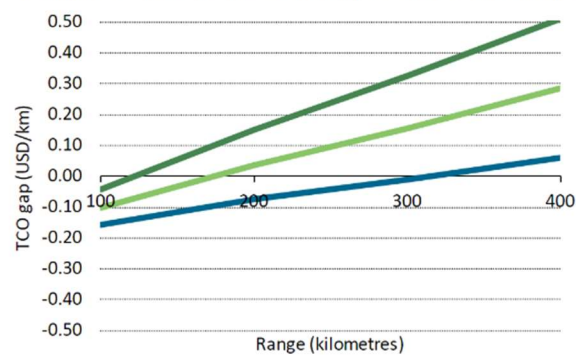
¹⁵ MTV3: Maailman tehokkain kuormuri tulee Suomesta – hybridi-Sisussa on lähes 1000 hevosvoimaa,
<https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/maailman-tehokkain-kuormuri-tulee-suomesta-hybridi-sisussa-on-lahes-1-000-hevosvoimaa/6843420#gs.9r743kw>



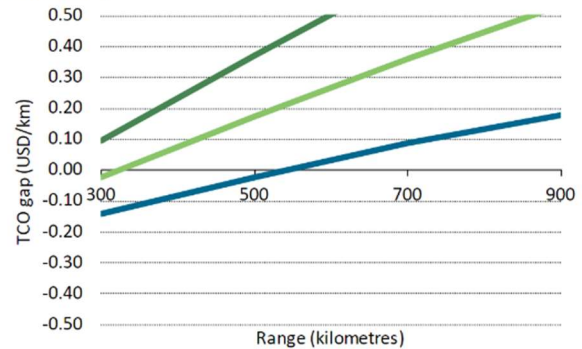
Kuva 8: IEA (2018) Figure 2.3: Viime aikoina julkistettuja raskaita (>15 tonnia) kuorma-automalleja.

Medium freight trucks

Diesel price USD 1.4/L and electricity price USD 0.14/kWh (European market)



Heavy freight trucks



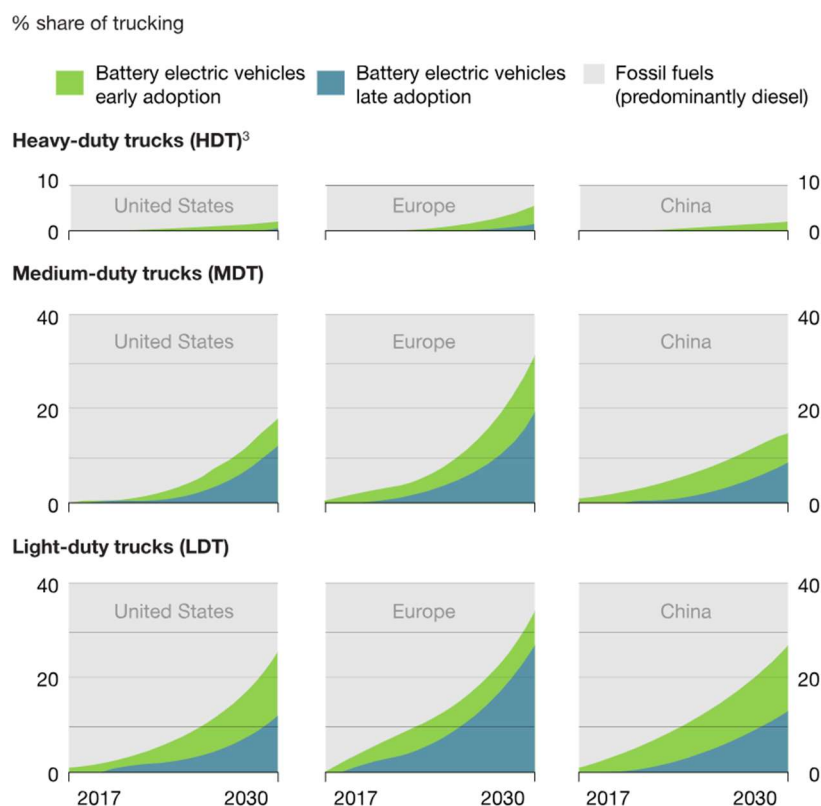
Kuva 9: IEA (2018) Figure 5.9: Kokonaiskäyttökustannusten ero sähkökuorma-auton ja dieselkuorma-auton välillä erilaisilla akuston kustannustasoilla ja kantamalla.

Kuva 9 esittää IEA:n laskelman kokonaiskäyttökustannusten erosta dieselrekan ja sähkörekan välillä erilaisilla akuston hintatasoilla. Vertailu paljastaa, että mitä raskaampi rekka ja mitä pidempi on vaadittu kantama, sitä alhaisempi pitää akuston hinnan olla, jotta sähkörekka tulee dieseliä taloudellisemmaksi. Raskaimman luokan rekka, jolla on 500 kilometrin kantama, tulee kilpailukykyiseksi kun akuston hinta saavuttaa 120 dollaria kilowattitunnilta.

McKinsey & Company on mallintanut sähkörekkien markkinaosuutta eri alueilla ja erilaisissa skenaarioissa¹⁶. He esittävät aikaisen ja myöhäisen käyttöönoton skenaarion, jotka kuvaavat kahta ääripäätä politiikkatoimien tehokkuudessa, infrastruktuurin valmiudessa ja ajoneuvojen saatavuudessa.

Kuvan 10 mukaan erityisesti kevyiden ja keskiraskaiden sähkökuorma-autojen markkinapotentiaali vaikuttaa suurelta – niiden markkinaosuus kasvaa McKinseyn mukaan edullisen kokonaiskäyttökustannuksen myötä

¹⁶ McKinsey: What's sparking electric vehicle adoption in the truck industry, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/whats-sparking-electric-vehicle-adoption-in-the-truck-industry>



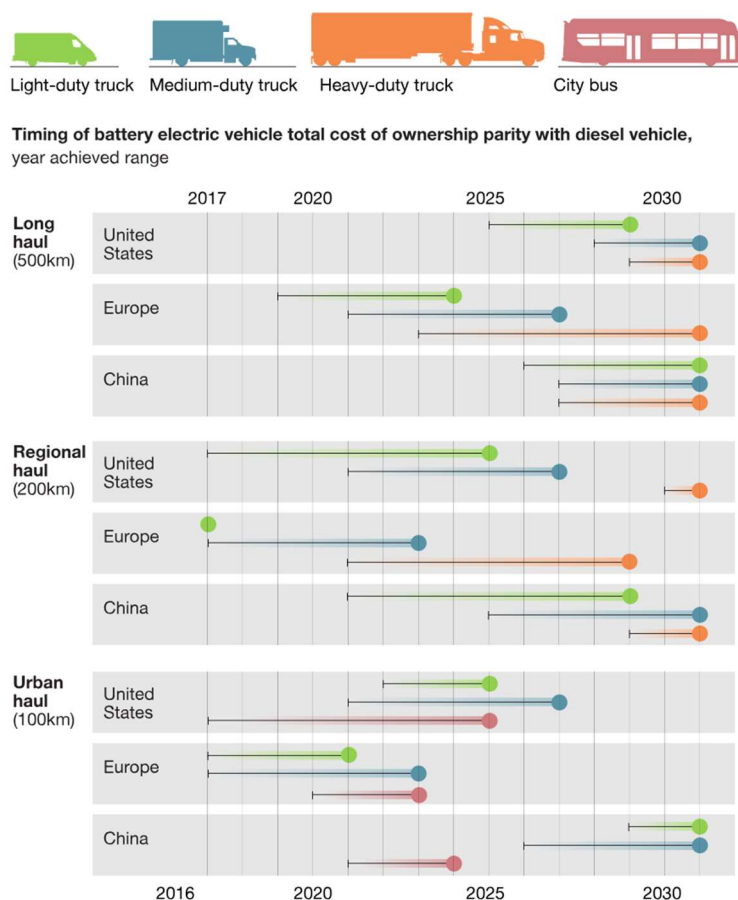
Kuva 10: McKinsey (2017): Raskaiden sähköajoneuvojen markkinaosuuden kehitys aikaisen ja myöhäisen käyttöönoton skenaariossa eri alueilla.

jopa sähköhenkilöautojen markkinaosuutta suuremmaksi 2030 mennessä aikaisen käyttöönoton skenaariossa. Raskaimmat sähkökuorma-autot saavuttavat vastaavien dieselmallien kokonaiskäyttökustannukset suuren akkukustannuksen takia myöhemmin.

Sähkökuorma-autojen osuus lähtee kaikilla alueilla voimakkaaseen kasvuun 2025 jälkeen, jolloin odotetaan merkittäviä politiikkatoimenpiteitä, kuten kansallisia sähkökuorma-autotavoitteita ja paikallisia päästövapaita vyöhykkeitä, kehittyneempää latausinfrastruktuuria ja hyvin saatavilla olevia automalleja. Sähkökuorma-autojen markkinaosuus kasvaa kaikissa skenaarioissa ja luokissa suurimmaksi Euroopassa. Keskiraskaiden sähkökuorma-autojen ennustetaan saavan parhaassa tapauksessa 34 prosentin markkinaosuuden Euroopassa 2030.

McKinsey esittää myös, milloin sähkökuorma-autojen kokonaiskäyttökustannuksen ennustetaan saavuttavan vastaavan dieselkulkuneuvon kustannus eri kuorma-autojen painoluokissa ja eri kantamilla eri alueilla. Kuvassa 11 on esitetty kustannuspariteettiennuste pyöreällä merkillä, ja sitä ennen väritetty alue kuvaa, kuinka aikaisin pariteetti voidaan tietyissä käyttötarkoituksissa saavuttaa – usein huomattavasti aikaisemmin.

Euroopassa kustannuspariteetti saavutetaan aikaisemmin kuin muualla korkeamman dieselverotuksen takia. Euroopassa keskimittaisilla alle 200 kilometrin kantamilla kevyiden ja keskiraskaiden sähkökuorma-autojen sekä kaupunkien sähköbussien ennustetaan olevan dieselin kanssa kilpailukykyisiä 2023 mennessä. Pitkillä 500 kilometrin kantamilla kevyiden ja keskiraskaiden kuorma-autojen pariteetti tulee muutamia vuosia myöhemmin, 2027 mennessä. Raskaat sähkökuorma-autot saavuttavat pariteetin kaikilla etäisyyksillä vuoden 2030 tienoilla. Tämän jälkeen niiden markkinaosuuden voi odottaa lähtevän huomattavaan kasvuun.



Kuva 11: McKinsey (2017): Kokonaiskäyttökustannuspariteetti eri raskaiden ajoneuvojen painoluokissa ja eri käyttötarkoituksissa.

5 Loppuvatko akkumetallit kesken?

Sähköautojen akkujen tärkeimmät raaka-aineet ovat toistaiseksi litium ja koboltti. Arvioidaan, että tulevaisuudessa esimerkiksi natriumakkujen tai sinkki-ilma-akkujen kehitys voi muuttaa tilannetta.

5.1 Litium

Litiumin tuotanto: litiumin tuotanto oli vuonna 2017 yhteensä noin 43 tuhatta tonnia, taloudellisesti hyödynnettävissä olevat tiedetyt esiintymät eli reservit olivat 16 miljardia tonnia, ja arvioidut ja vielä taloudellisesti kannattamattomat resurssit 53 miljardia tonnia¹⁷.

Litiumin tarpeelle (g/kWh) nykyisillä akkuteknologioilla on useita samaa suuruusluokkaa olevia arvioita. Edustava arvio vuodelta 2016 on 160 g/kWh¹⁸. Laskettuna GREET –mallin (The Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Transportation Model) taustaoletusten¹⁹ mukaan litiumin tarpeeksi saadaan 137 g/kWh. Akkukapasiteetti sähköhenkilöautoa kohden on maksimissaan luokkaa 100 kWh, keskiarvo taas luokkaa 32 kWh.

¹⁷ United States Geological Survey

¹⁸ Kushnir, Chalmers Univ. 2015

¹⁹ Dunn et al, Argonne National Laboratory 2012

Tarvittava litiumin määrä/uusi sähköauto: laskettaessa 160g/kWh tarpeen mukaan 100 kWh akkuun tarvitaan n. 16 kg litiumia, keskimääräisen sähköauton akkuun taas n. 5 kg. Uusissa autoissa akkujen kapasiteetit ovat suurempia (katso taulukko 2), mutta myös litiumin tarve kilowattituntia kohden laskee akkujen kehittyessä (taulukko 3). Käytännössä teknologioiden kehittyessä päästään lähemmäksi teoreettista minimiä, joka on riippuen akkuteknologiasta n. 70 g/kWh (Li-NMC tai Li-NCA) tai n. 80 g/kWh (LiFePO₄).

Litiumin riittävyys vuoden 2017 litiumin tuotannon mukaan laskettuna: jos litiumin tarve on 16 kg/auto, litiumin nykytuotanto riittää noin 2,7 miljoonaan henkilöautoon vuodessa. Akkukapasiteetin keskiarvon mukaan laskettaessa tuotanto riittää reiluun 8 miljoonaan autoon. Nykyään henkilöautoja tuotetaan n. 75 miljoonaa kappaletta vuodessa, joten litiumin nykyinen tuotanto riittäisi vain murto-osaan uusista henkilöautoista. Litiumin ja litiumakkujen tuotantoa on suunniteltu kasvatettavan huomattavasti, mutta niiden saatavuudessa on potentiaalinen ongelma lyhyellä aikavälillä. Tämä voi vaikuttaa epäsuotuisasti akkujen hinnan kehitykseen.

Litiumin reservit riittäisivät maailman noin miljardin henkilöauton autokannan sähköistämiseen, jos tarve olisi 16 kg/auto, ja resurssit (käyttöönotto haasteellista tai epätaloudellista) reiluun kolmeen miljardiin autoon.

Suurin osa litiumista käytettiin vielä 2017 muun elektroniikan akkuihin. Sähköautojen akkujen tuotannon (kWh) oletetaan ylittävän muun elektroniikan akkujen tuotannon vuosien 2018-2019 aikana.

5.2 Koboltti

Kobolttin tuotanto: vuonna 2016 kobolttin tuotanto oli 111 tuhatta tonnia ja taloudellisesti hyödynnettävissä olevat resurssit 7,1 miljoonaa tonnia¹⁷.

Tarvittava kobolttin määrä/uusi sähköauto: Kobolttia tarvitaan sähköauton akkuun riippuen akkutekniikasta noin 150 g/kWh (NCA-akut, Tesla) tai 100-400 (tällä hetkellä tyypillisesti n. 210) g/kWh (NMC-akut muissa sähköautoissa, riippuen akkutekniikan sukupolvesta). Suureen 100 kWh akustoon kuluu n. 15 kg kobolttia/auto ja keskimääräiseen sähköautoon n. 5 kg/auto.

Taulukko 3: Li-ion -akkujen arvioitu tarvittava alkuainemäärä²⁰

kg/kWh	Li	Co	Ni	Mn
LCO	0,113	0,959	0	0
NCA	0,112	0,143	0,759	0
NMC-111	0,139	0,394	0,392	0,367
NMC-622	0,126	0,214	0,641	0,2
NMC-811	0,111	0,094	0,75	0,088

Huomioitavaa on, että koboltista pyritään pääsemään eroon akkuteknologian kehittyessä. Tesla pyrkii korvaamaan kobolttia nikkelillä enenevissä määrin. Muiden autojen NMC-akkujen kobolttisisällön vähennyspotentiaali on kuitenkin suurempi kuin Teslan NCA-akuilla. Tulevaisuudessa molempien akkuteknologioiden kobolttimäärän voidaan olettaa olevan lähellä arvoa 100 g/kWh.

Kobolttin riittävyys vuoden 2017 tuotannon mukaan laskettuna: mikäli kobolttia kuluu 100 kWh:n akustolla 15 kg/auto, kobolttin tuotanto kattaisi 7 miljoonaa autoa vuodessa. Keskimääräisellä 5 kg tarpeella autoa kohden voitaisiin tuottaa 20 miljoonaa uutta autoa vuodessa, mikä on hieman yli neljäsosa

²⁰ Olivetti et al. Joule 1, 229–243, 2017

henkilöautojen vuosittaisesta tuotannosta maailmassa. On kuitenkin huomattava, että pääosa koboltista kuluu vielä tällä hetkellä muuhun kuin sähköautojen akkujen tuotantoon.

Koboltin reservit riittävät n. 500 miljoonaan 100 kWh:n akustolla varustettuun tai n. 1,5 miljardiin keskimääräisellä akustolla varustettuun uuteen henkilöautoon. Mikäli akkujen keskimääräinen kapasiteetti ei kasva huomattavasti koboltin tarvetta nopeammin, kobolttivarannot riittävät kattamaan koko maailman autokannan sähköistämisen.

Koboltin haasteena on se, että Kongon demokraattinen tasavalta keskeinen raaka-aineen lähde. Maan poliittinen tilanne on haastava ja tuotanto-olosuhteet ovat eettisesti ja ympäristön kannalta arveluttavat. Kobolttia tuotetaan tällä hetkellä vain sivuvirtana muiden metallien tuotannossa (mm. kupari ja nikkeli).

Yhteenveto: Litiumin ja koboltin riittävyys ei ole este sähköautojen tuotannolle. On lisäksi oletettavaa, että nykyiset akkuteknologiat korvautuvat vaihtoehtoisilla, vähemmän raaka-ainekriittisillä teknologioilla ainakin jossain määrin seuraavan kymmenen vuoden aikana.

Lyhyellä aikavälillä saatavuusongelmia saattaa kuitenkin olla, jos akkujen ja raaka-aineiden tuotannon tarpeen kasvua ei olla huomioitu riittävästi kasvavan kysynnän mukaan. Vuonna 2017 litiumpohjaisia akkuja tuotettiin sähköautoihin ja energian varastointiin yhteensä 200 GWh, ja vuonna 2022 akkujen tuotannon on ennustettu olevan 600 GWh²¹. Sähköautojen kysynnän kasvuun nähden kapasiteetti on maltillinen, joten akkutuotantoa tulee todennäköisesti kasvattaa arvioitua enemmän.

6 Ovatko sähköautot oikeasti ympäristöystävällisiä?

Ainakin ICCT²², Transport & Environment²³, IEA²⁴ ja EEA²⁵ ovat tehneet viime aikoina katsauksia sähköautojen elinkaaripäästöihin, ja päätyvät samankaltaisiin lopputuloksiin. Elinkaaripäästöjä verrattaessa polttomoottori- ja sähköauton välillä oleellinen ero on, että fossiilisella polttoaineella (bensini tai diesel) ajettavan auton ajonaikaiset päästöt ovat huomattavasti korkeammat kuin sähköautolla. Toisaalta, sähköauton valmistuksen päästöt ovat polttomoottoriautoja korkeammat.

Sähköauton päästöt riippuvat voimakkaasti ajossa käytetyn sähkön tuotantotavasta. Hiilellä tuotetulla sähköllä ajaessa sähköauton elinkaaripäästöt nousevat polttomoottoriautoa korkeammaksi, mutta uusiutuvilla energialähteillä tai ydinvoimalla tuotetulla sähköllä ajaessa sähköauton elinkaaripäästöt ovat lähes 90 % pienemmät kuin vastaavan polttomoottoriauton²⁶.

²¹ IEA

²² ICCT (2018): Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions, https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf

²³ Transport & Environment (2017), Electric vehicle life cycle analysis and raw material availability, https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2017_10_EV_LCA_briefing_final.pdf

²⁴ IEA (2018): Impact of different drivetrain options, fuels and vehicle use on GHG emissions of cars, http://www.ieahev.org/assets/1/7/IEA_HEV_TCP_Task_31_final_report_January_2018.pdf

²⁵ EEA (2016): Range of life-cycle CO2 emissions for different vehicle and fuel types, <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2017/infographics/range-of-life-cycle-co2/view>;

EEA (2018): Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives, <https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-from-life-cycle/download>

²⁶ IEA IEA (2018): Impact of different drivetrain options, fuels and vehicle use on GHG emissions of cars, http://www.ieahev.org/assets/1/7/IEA_HEV_TCP_Task_31_final_report_January_2018.pdf

Akuston valmistuksen päästöarviot vaihtelevat katsausten mukaan kirjallisuudessa huomattavasti, ja ne riippuvat materiaalien tuotannossa ja akuston valmistuksessa käytetystä energiasta. Elinkaaren lopussa materiaalien loppuprosessoinnin päästöt ovat kaikilla autotyypeillä pienet suhteessa muuhun elinkaareen.

Karkeasti voidaan arvioida, että keskimääräisellä eurooppalaisella sähköntuotannolla sähköauton tuottamat elinkaaripäästöt ovat saavuttaneet vastaavan polttomoottoriauton elinkaaripäästöt kahden vuoden käytön jälkeen. Hiili-intensiivisemmissä Euroopan maissa, kuten Saksassa, aika on kolme vuotta.²⁷

Kuva 12 esittää ICCT:n laskemia sähköauton elinkaaripäästöjä eri jäsenmaiden sähköntuotantorakenteella. Kuvassa on esitetty myös kirjallisuusarvioiden vaihteluväli akuston valmistuksen päästöille, ja päädytty käyttämään suhteellisen konservatiivista arviota.

Saksan hiilipainotteisella sähköntuotantorakenteella sähköauton elinkaaripäästöt nousevat tehokkaimman polttomoottorimallin elinkaaripäästöjä korkeammaksi, mutta muissa esitetyissä maissa sähköauto vähentää päästöjä tehokkaimpaankin polttomoottoriin verrattuna. Keskimääräiseen polttomoottoriautoon verrattuna sähköauto on kaikissa maissa parempi valinta. Norjassa ja Ranskassa, joissa sähköntuotanto on lähes fossiilitonta, sähköauton elinkaaripäästöt ovat karkeasti noin 30 % keskimääräisen polttomoottoriauton päästöistä, ja noin 40 % puhtaimman polttomoottoriauton päästöistä.

Suomessa fossiilisilla tuotetaan vielä noin 20% sähköstä²⁸. Suomen sähkön päästökerroin on noin puolet EU:n keskiarvosta²⁹ ja lisäksi Suomessa autolla ajetaan elinkaaren aikana noin kaksinkertainen matka (300 000 kilometriä) ICCT:n laskelmaan nähden, jolloin auton valmistuksen päästöt jakautuvat pidemmälle kilometrimäärälle. Pidemmällä elinkaarella akusto kuitenkin on todennäköisesti vaihdettava uuteen. Tällä logiikalla Suomessa päästään karkeasti samanlaiseen sähköauton elinkaaripäästöön ajokilometriä kohden kuin Ranskassa kuvassa 12, jolloin sähköauton elinkaaripäästöt Suomessa ovat nyt noin kolmasosa tyypillisen eurooppalaisen polttomoottoriauton elinkaaripäästöistä.

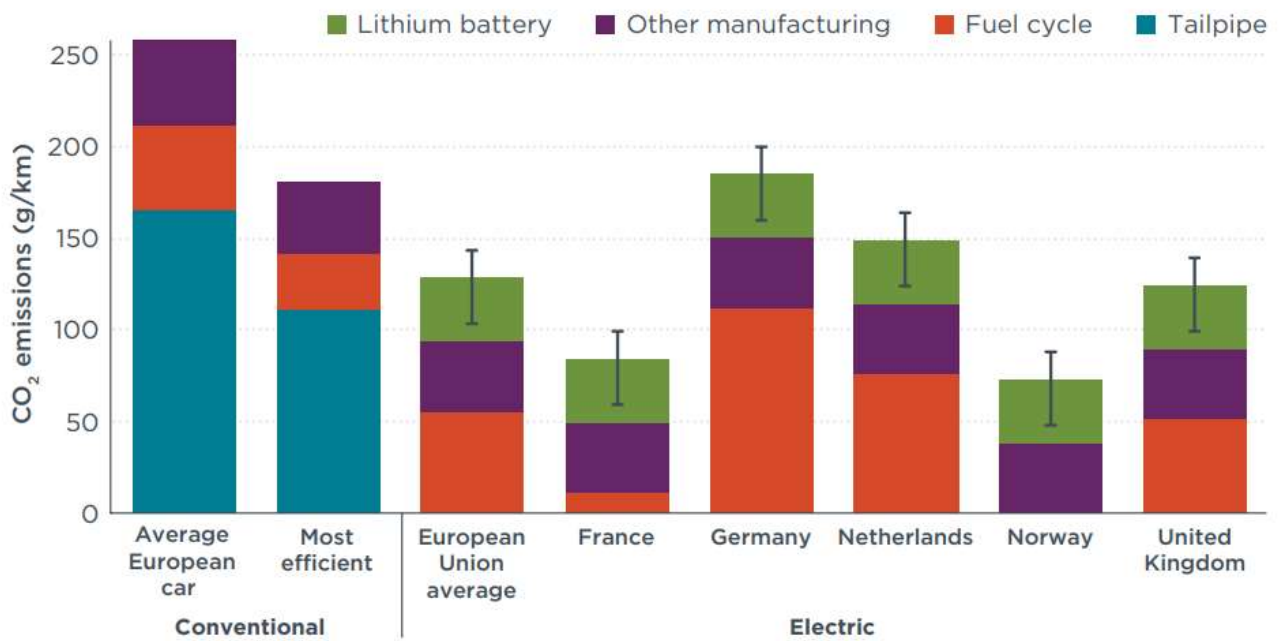
Tulevaisuudessa Suomen sähköntuotanto tulee kuitenkin entisestään puhdistumaan, ja vaihdetun akun kierrätyksellä liikkumattomiin käyttötarkoituksiin on myös mahdollista vähentää elinkaaripäästöjä. Akustojen tuottajamaissakin sähköntuotannon voi odottaa puhdistuvan, mikä laskee akuston tuotannon päästöjä. Tällä hetkellä pääasialliset eurooppalaisen sähköauton akustojen valmistajat ovat Japani ja Etelä-Korea, jossa 25-40% sähköstä tuotetaan kivihiilellä.³⁰

²⁷ ICCT (2018): Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions, https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf

²⁸ Energiategiä: sähköntuotanto energialähteittäin 2016, https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto

²⁹ EEA: Overview of electricity production and use in Europe <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment>

³⁰ ICCT (2018): Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions, https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf



Kuva 12: ICCT (2018): Sähköauton elinkaaripäästöt eri Euroopan maiden sähköntuotantorakenteella verrattuna polttomoottoriauton elinkaaripäästöihin vuonna 2015. Mustat viivat esittävät kirjallisuudessa arvioidun mahdollisen vaihteluvälin akuston päästöille. Oletuksena on 150 000 kilometrin suorite auton elinkaaren aikana.