



SUOMEN
ILMASTOPANEELI
The Finnish Climate
Change Panel

AUTOLASKURIN KÄYTTÖOPAS JA LASKENNAN
PERUSTEET

JYRI SEPPÄLÄ, JOONAS MUNTHNER, RIKU VIRI, HEIKKI LIIMATAINEN,
SALLY WEAVER JA MARKKU OLLIKAINEN

Suomen Ilmastopaneeli
Raportti
11/2019

AUTOLASKURIN KÄYTTÖOPAS JA LASKENNAN PERUSTEET

Jyri Seppälä¹*, Joonas Munther¹, Riku Viri², Heikki Liimatainen², Sally Weaver³, Markku Ollikainen³

¹ Suomen ympäristökeskus

² Tampereen yliopisto

³ Helsingin yliopisto

*[jyri.seppala@ymparisto.fi](mailto: jyri.seppala@ymparisto.fi)

CONTENTS

1. Tarkoitus ja peruseriaatteet	1
2. Lähtötiedot ja käyttöliityntä	2
2.1. Yleistä	2
2.2. Lisätiedot ja asetukset	2
2.3. Ajoneuvokohtaiset tiedot.....	2
2.4. Polttoainetiedot	7
2.5. Ajoneuvojen kulutustiedot.....	9
2.6. Laskennan ajoneuvoriippumattomat oletustiedot	11
3. Analyysin tulos ja sen tulkinta	15
4. Laskentakaavat	17
4.1. Päästöjen laskentaperusteet	17
4.2. Kustannusten laskenta	19
5. Laskurin käytön laajennukset	20
5.1. Herkkyystarkastelut	20
5.2. Biodieselin ja etanolin erilliskäytön vaikutusten arviointi	20
Kirjallisuus	21
Liite. Näkökohtia vaihtoehtoisiin käyttövoimiin	23

1. TARKOITUS JA PERUSPERIAATTEET

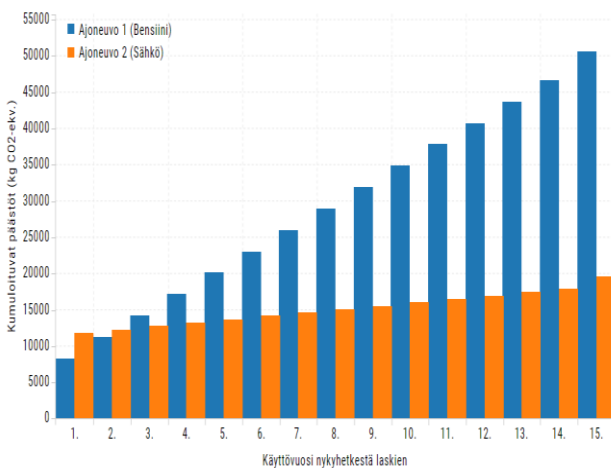
Autokalkulaattori on nettipohjainen laskuri, joka on tarkoitettu kuluttajan henkilöauton hankintapäätöksen tueksi. Laskuri tuo näkyviin eri käyttövoimiin perustuvien autovaihtoehtojen kumulatiiviset (kertyvät) koko elinkaaren kattavat kasvihuonekaasupäästöt ja kustannukset. Laskurin tarkoitus on tuoda esiin eri vaihtoehtojen ilmastovaikutukset, eikä laskurissa huomioida muita vaikutuksia ympäristöön. Käyttäjä voi asettaa 1-6 autovaihtoehtoa vertailtavaksi. Mitä pienemmät kasvihuonekaasupäästöt ovat, sitä parempi auto on ilmaston kannalta. Kohdassa, jossa eri autovaihtoehtojen kumulatiiviset päästöt leikkaavat, paremmuus vaihtoehtojen välillä muuttuu. Vastaava koskee myös kustannuksia.

Vertailun perustana ovat käyttäjän itse arvioimat vuosittaiset ajokilometrit ja eri autovaihtoehtoihin annetut lähtötiedot. Sekä päästöjen että kustannusten osalta on laskuriin sisällytetty joukko oletustietoja, jotka helpottavat käyttäjän lähtötietojen syöttöä ja lopputuloksen tuottamista. Kaikki laskennassa käytettävät lähtötiedot ovat muutettavissa vastaamaan eri automallien tarkkojen tietoja, mikäli ne ovat tiedossa. Osa lähtötiedoista on asetettu yhteiseksi samalla käyttövoimalla toimiville autoille. Ne on valittu vastaamaan parasta nykyistä tietämystä, mutta myös nämä lähtötiedot on mahdollista muuttaa omaan analyysiin.

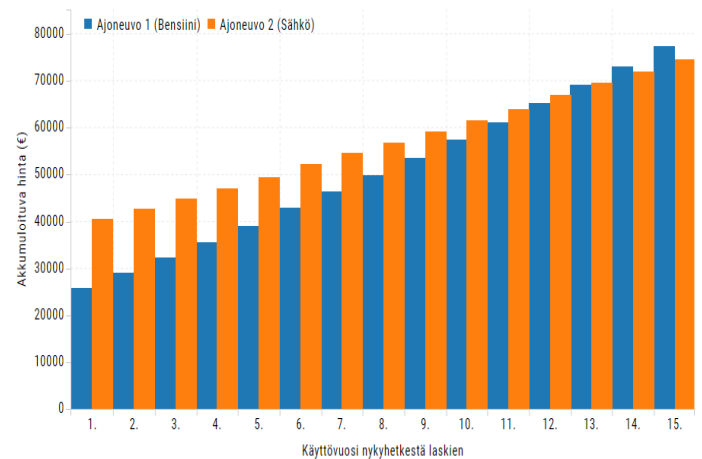
Autolaskuri koostuu seuraavista osa-alueista:

- Vuosittainen ajokilometrimäärä (vaadittava syöttötieto aloitussivun alussa)
- Lisätiedot ja asetukset
- Ajoneuvokohtaiset tiedot
- Polttoainetiedot
- Ajoneuvon kulutustiedot
- Laskennan autovalinnasta riippumattomat oletustiedot
- Lopputulos graafisesti esitettyinä

Kumulatiiviset päästöt (kg CO₂e)



Kumulatiiviset kustannukset €



Kuva 1. Laskuri tuottaa tulokseksi kuvaajat, jossa näkyvät kumulatiiviset päästöt ja kumulatiiviset kustannukset eri autojen välillä.

2. LÄHTÖTIEDOT JA KÄYTTÖLIITYNTÄ

2.1. Yleistä

Ajokilometrien oletuksena on 14 000 km vuodessa, mikä vastaa nykyisin keskivertoauton vuosittaista ajokilometriä (Tilastokeskus 2019).

Käyttäjän laittaessa kursorin tekstin päälle, näytölle ilmestyy mahdollinen lisätteksti opastukseksi.

Analyysin graafinen tulostus päästöistä ja kustannuksista muuttuu tarkasteltavien autovaihtoehtojen osalta sitä mukaan, kun lähtötietoja muutetaan.

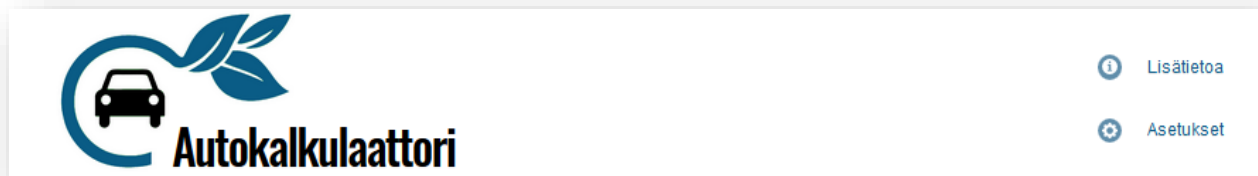
Painamalla -merkkiä saadaan näkyviin ko. tietokohtaan liittyvät lisäsyöttömahdollisuudet.

-merkki lisää uuden ajoneuvon analyysiin ja -merkki poistaa ajoneuvon.

Ohjelma toimii kaikissa yleisimmissä selaimissa. Suositeltavaa on käyttää hyvän Javascript-moottorin omaavaa modernia selainta, esim. Google Chromea. Joillakin selaimilla, esimerkiksi Internet Explorer -selaimilla, lokalisaatioasetukset eivät tunnista käyttöjärjestelmän mukaan, jolloin lukujen desimaalierottimena tulee käyttää pistettä.

2.2. Lisätiedot ja asetukset

Autokalkulaattorin oikeassa ylänurkassa löytyy lisätieto- ja asetuskohdat, joista ensimmäinen sisältää tämän dokumentaation ja ajankohtaista tietoa laskurin päivitystilanteesta. Painamalla painiketta "Asetukset" avautuu laskennassa käytettäviä autoriippumattomia lähtötietoja, joita käyttäjän ei oleteta muuttavan kuin erityistilanteissa. Näistä on kerrottu tarkemmin kohdassa 2.6.



2.3. Ajoneuvokohtaiset tiedot

Käyttäjä voi valita 1-6 vaihtoehtoista henkilöautoa vertailtavaksi. Autojen määrää muutetaan painamalla käyttöliittymän ja -merkkejä.

Tärkeimmät syötettävät tiedot ovat auton kokoluokka, käyttövoima ja hankintahinta. Nuolipainikkeen avulla avautuvat lisätiedot tarkentavat laskentaa, ja sitä kautta voi syöttää myös muita laskennassa oletusarvoisesti puuttuvia parametreja, kuten ajoneuvon jäännösarvon. Ajoneuvolle voi myös syöttää lempinimen, esimerkiksi sen todellisen merkin ja mallimerkinnän taulukon sarakeotsikon kohdalle.

Ajoneuvokohtaiset tiedot

	Ajoneuvo 1	Ajoneuvo 2
Auton koko	 Keskikokoinen ▼	 Keskikokoinen ▼
Käyttövoima	Bensiini ▼	Sähkö ▼
Hankintahinta (€)	22790 €	37270 €
Akuston koko (kWh)	0 kWh	42,1 kWh

Ensimmäisenä annetaan auton kokoluokka, joka antaa lähtöoletukset auton valmistuksen päästöjen arviointiin. Laskurissa henkilöauton kokoluokkia on neljä ja ne noudattelevat pääosin yleistä segmenttijakoa (katso esim. https://en.wikipedia.org/wiki/Car_classification). Esimerkkejä autojen kokoluokista ovat:

- *Pienet autot* ovat kompakteja kolme- tai viisiovisia autoja, joihin kuuluvat A- ja B-segmentin autot, kuten Ford Fiesta, Volkswagen Polo, BMW i3 ja Renault Zoe.
- *Keskikokoiset autot* edustavat laskurin laajinta ryhmää, ja sisältävät korimalliltaan mm. sedanit, viistoperät ja farmariautot, jotka kuuluvat C- ja D-segmentteihin, kuten Toyota Corolla, Volkswagen Passat, Audi A4, Nissan Leaf ja Hyundai Ioniq.
- *Suuret autot* ovat tila-autoja, katumaastureita tai moottorilavuudeltaan ja painoltaan tavallista kookkaampia ajoneuvoja, jotka kuuluvat E-, M- ja J-segmentteihin, kuten Mercedes-Benz E, Tesla Model 3, Honda CR-V, Kia e-Niro, Opel Zafira, Mercedes-Benz B.
- *Edustusautojen* joukko on moninainen. Laskurin yhteydessä sillä voidaan viitata urheiluautoon, suuriin katumaastureihin tai muuhun ajoneuvoon, jonka valmistamiseen on käytetty tavanomaista enemmän resursseja ja luonnonvaroja. Luokkaan kuuluu F-, S- ja J-segmenttien autoja, kuten BMW 7, Audi A8, Tesla Model S, Jaguar I-Pace, Porsche Taycan, Volvo XC90, Tesla Model X.

Sähköautojen osalta jaottelu ei noudata tarkasti edellä olevaa jaottelua, vaan sähköautot kuuluvat yleensä ulkomittojaan suurempaan kokoluokkaan. Tämä johtuu siitä, että akuston paino on sähköautossa korimallin ja rungon ohella merkittävä tekijä määrittämään ajoneuvon kokoluokan. Pienet sähköautot ovat tyypillisesti kokonaismassaltaan n. 1100 kg luokkaa. Keskikokoiset n. 1500 kg ja isot autot 1800 kg. Kaikki kokonaismassaltaan yli 2100 kilogramman ajoneuvot voidaan tässä yhteydessä tulkita edustusautoksi. Eri käyttövoiman omaavien autojen valmistuksen päästötiedot kokoluokittain on otettu Euroopan ympäristöviraston julkaisusta (EEA 2018).

Kullekin ajoneuvolle valitaan sen pääasiallinen käyttövoima. Valittavana ovat bensiini, diesel, kaasu, etanoli, sähkö, hybridi (bensiini/diesel) ja ladattava hybridi (bensiini/diesel).

Kaasuauto voi käyttää sekä maa- tai biokaasua, minkä takia erillistä biokaasuauto-termiä ei käytetä käyttövoimavalinnassa. Etanoliauto voi käyttää bensiinin ohella pelkästään erillistankattavaa E85-etanolia.

Hybridillä tarkoitetaan tässä kevyt- tai täyshybridiiä. Täyshybridii kykenee liikkumaan pelkän sähkömoottorin voimin, kevythybridin sähkömoottori sen sijaan vain avustaa polttomoottoria eikä kykene liikuttamaan autoa

yksinään. Täyshybridit ja kevythybridit tuottavat kaiken tarvitsemansa energian polttoaineista ja käyttävät sähköä energian varastoinnin muotona. Niitä ei ole mahdollista ladata ulkoisesta lähteestä.

Ladattavat hybridautot poikkeavat perinteisistä täyshybridautoista siinä, että niiden energialähteenä on osittain polttoaine ja osittain ulkoisesti ladattava sähkö. Ladattavassa hybridautossa on bensiini- tai dieselmoottori sekä sähkömoottori ja ajovoima-akku, jota voidaan ladata verkkovirralla ulkopuolisen sähköliitännän kautta.

Ohjelma antaa valitun auton kokoluokan ja käyttövoiman perusteella oletustiedot auton hankintahinnalle (€), kotilatauspisteelle (€) ja akuston koolle (kWh). Käyttäjä voi muuttaa näitä oletustietoja vastaamaan itse valitsemiaan vertailuautoja.

Painamalla -merkkiä saadaan näkyviin ajoneuvokohtaiset tarkentavat tiedot.

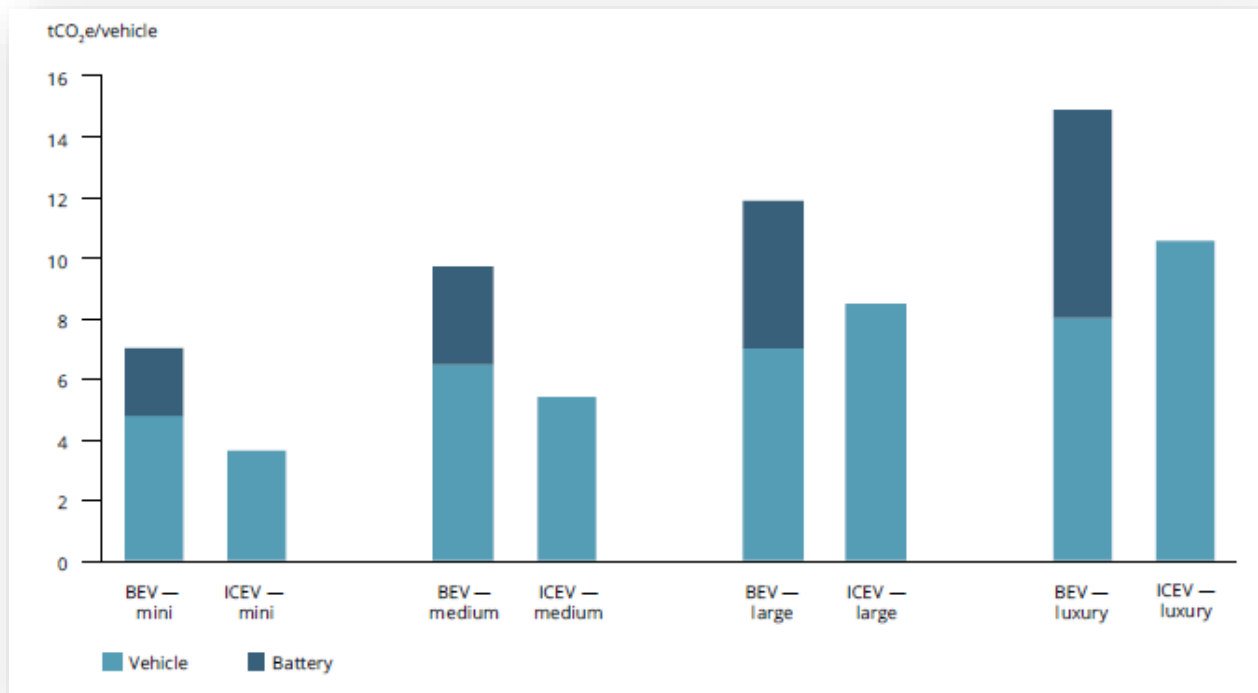
Auton koko	 Keskikokoinen	 Keskikokoinen
Käyttövoima	Bensiini <input type="button" value="v"/>	Sähkö <input type="button" value="v"/>
Hankintahinta (€)	22790 €	37270 €
Kotilatauslaite (€)	0 €	1200 €
<u>Ajoneuvovero* (€/vuosi)</u>	184,32 €	182,86 €
Muut vuosittaiset kustannukset (€)	650 €	650 €
Jäännösarvo (€)	0 €	0 €
Valmistuksen päästöt (t CO2-ekv)	5,36 t	6,52 t
Auton hylkäyksen päästöt (kg CO2-ekv)	956 kg	1242 kg
Akuston koko (kWh)	0 kWh	42,1 kWh
Vaihtoväli akustolle (tkm)	0 tkm	300 tkm
Vaihtoakuston hinta (€/kWh)	0 €/kWh	300 €/kWh
Hyvityspäästö akustolle (kg CO2-ekv.)	0 kg	0 kg
Ulkomailta tuotu ajoneuvo	Ei <input type="button" value="v"/>	Ei <input type="button" value="v"/>
Huolto-ohjelma	A <input type="button" value="v"/> 	B <input type="button" value="v"/> 

Lisätarkennuksiin liittyen tulee automaattisesti kokoluokkaan ja käyttövoimaan liittyvät oletustiedot, joita käyttäjän on mahdollisuus tarkentaa ajoneuvomallikohtaisilla täsmällisillä tiedoilla.

Automallikohtainen *ajoneuvovero* on haettavissa Traficom-laskurista klikkaamalla linkkiä [Ajoneuvovero* \(€/vuosi\)](#). Laskuri laskee karkean arvion perustuen empiirisesti Traficom laskurin avulla haettuihin tuloksiin kutakin käyttövoimaa ja ajoneuvon kokoluokkaa kohden.

Muut vuosittaiset kustannukset. Tähän voi syöttää kaikki muut erikseen määrittelemättömät vuosittaiset kulut, kuten vakuutukset, autopesut ja polttoaineiden lisäaineet (esim. AdBlue). Huoltojen ja renkaanvaihtojen osuus kustannuksissa syötetään erikseen kullekin käyttövuodelle alempana kohdassa "Huolto-ohjelma".

Polttomoottori- ja sähköautojen *valmistuksen kasvihuonekaasupäästötiedot* kokoluokittain on otettu Euroopan ympäristöviraston julkaisusta (EEA 2018) (kuva 2). Ricardon (2011 ja 2015) selvityksiin perustuen hybridien ja ladattavien hybridien valmistuksen päästöt ovat oletuksena laskurissa 10 prosenttia suuremmat pienissä, keskisuurissa ja suurissa autoissa kuin vastaavien puhtaiden polttomoottoriautojen valmistuksen päästöt. Edustusautoissa valmistuksen päästöt on oletettu samaksi kuin vastaavien polttomoottoriautojen päästöt kokoluokittain. Valmistuksen päästöt sisältävät uuden auton muut kuin akuston päästöt. Akuston päästöt perustuvat akkukokoon ja se on annettava erikseen. Laskurissa plug-in- ja sähköautojen akkujen oletuskoot perustuvat nykyisin myynnissä olevien eri kokoluokkaan kuuluvien autojen tietoihin, minkä takia laskurin oletusakkujen koot autojen kokoluokissa ovat suurempia kuin mitä kuvassa 2 on esitetty (jossa tiedot vuodelta 2015).



Kuva 2. Sähkö- (BEV = battery electric vehicles) ja polttomoottoriautojen (ICEV = internal combustion engine vehicle) valmistuksen ja akuston kokonaispäästöt eri kokoluokissa (kuva EEA (2018), alkuperäiset tiedot Elligsten ym. 2016).

Ladattavilla hybridi- ja sähköautoilla akustojen koko vaihtelee usein mallien sisälläkin (esim. long range -mallit), joten valmistajan ilmoittama akuston koko on syytä selvittää ja käyttää sitä kokoluokkien oletustietojen sijasta.

Akustojen vaihtoväli on viimekädessä käyttäjäkohtainen lähtötieto, vaikka oletukseksi on laitettu 250 000 km pienillä ja keskiuurilla akuilla (alle 50 kWh). Suurilla akuilla vaihtovälioletus on 350 000 kilometriä. Käytännössä vaihtovälit voivat olla huomattavasti pidempiä muun muassa auton akuston koon, niiden jäähdytysjärjestelmien ja loppukäyttäjän omien lataustapojen perusteella. Periaatteessa pienenpuoleisen akuston kapasiteetista voi olla hyvinkin jäljellä yli 80 % vielä 250 000 ajokilometrin jälkeen. Asiaa kannattaa myös tiedustella auton myyjiltä.

Todettakoon, että akuston vaihtoväli ei riipu pelkästään kilometreistä vaan myös käyttökerroista. Laskennassa käy nyt helposti niin, että akun vaihtoväli ei ehdi tulla autolle koko sen elinkaaren aikana, jos käyttäjä laittaa autolle pienehkön ajosuoritteen. Näin akun vaihtokustannukset eivät tule ollenkaan näkyviin elinkaaren aikana. Autojen elinkaari on Suomessa noin 21 vuoden mittainen. On epätodennäköistä, että akkua voitaisiin käyttää 15-20 vuotta siten, että sen kapasiteetti olisi edelleen riittävä.

Hyvityspäästö akuston poistolle tarkoittaa tilannetta, jossa vanhat akut toimitetaan jatkoehyötykäyttöön ja tällä toiminnalla saavutetaan päästöhyötyjä. Akustoja voidaan käyttää muun muassa hajautettujen energialähteiden synnyttämän sähkön varastointiin, millä pystytään välttämään fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Tällä hetkellä näiden hyvityspäästöjen osalta ei ole tarkempaa tietoa, minkä takia niille käytetään oletustietona 20 % alkuperäisen akuston päästöstä. Hyvityspäästö vähentää ko. määrällä auton koko elinkaaren aikaista päästömäärää.

Hyvityspäästöihin liittyy suurta epävarmuutta. Nyt hankittavan sähköauton tullessa elinkaarensa päähän on selvää, että akuston kierrätysmahdollisuudet ovat hyvät. Akkujen toisiokäyttö myös yleistyy (esim. niitä tullaan käyttämään aurinkopaneelien sähkövarastoina) ja senkin jälkeen akun raaka-aineet todennäköisesti saadaan talteen. EU-lainsäädännössä on tarkat reunaehdot kierrättämiselle, joten tässä käytetään oletuksena lainsäädännön arvoa 85 %. Akuston hyvityspäästö on laskettu olettaen, että akuston 50 % päästövaikutuksista syntyy raaka-aineiden kautta ja tästä siis saadaan talteen 85 % eli näin laskettuna kierrätyksen päästöhyödyt olisivat 42,5 % alkuperäisestä akuston päästöstä. Koska kierrätys erilaisine vaiheineen aiheuttaa omat päästönsä, tässä yhteydessä hyvityspäästökseen on arvioitu 20 % alkuperäisen akuston päästöistä.


Auton purku aiheuttaa omat päästönsä ja nämä päästöt on myös arvioitu karkeasti EEA:n (2018) raportista. Määrä on vähäinen ja kaikille autojen kokoluokille on käytetty samaa oletusarvoa.

Elinkaarensa päässä olevan auton kierrätyshyvytykset on otettu auton valmistuksen päästöissä huomioon (EEA 2018).

Laskurin oletuksena on, että vertailtavat autot eivät ole tuotu omatoimisesti ulkomailta. Jos kyseessä on kuitenkin käytetyn auton tuonti ulkomailta, niin käyttäjä valitsee ko. kohtaan ”Kyllä”. Tämän seurauksena käyttäjältä vaaditaan myös täsmällisempi tieto auton autoverosta. Muutoin autovero lasketaan autovaihtoehdolle automaattisesti syötetyn hankintahinnan perusteella.

Laskurissa on mahdollisuus käsitellä autoveroa erikseen, vaikka se on mukana Suomessa hankittujen autojen hankintahinnassa. Käyttäjä maksaa sen samalla tavoin kuin alv:n. Autoveron mukana olo laskurissa mahdollistaa ulkomailta tuotavien autojen vertailuun. Autovero ei sisälly tuontiauton hankintahintaan, jolloin laskuri auttaa tuontiauton autoveron laskennassa. Lähtökohtana on 10% hankintahinnasta. Oletusarvoisesti sitä ei hyödynnetä laskennassa. Lähtökohtana on n-% hankintahinnasta. Tarkat kertoimet löytyvät linkistä: <https://autolaskuri.netlify.com/data/data.json>

Lähtökohtana on, että käyttäjä itse tallentaa tarkat vertailun kohteena olevat autojen hankintahinnat. Laskurissa on oletusarvoina kokoluokittain ja käyttövoimittain suuntaa-antavia oletustietoja.

Käyttäjä voi asettaa tarkan vuosittaisen huolto-ohjelman kustannustiedot klikkaamalla  -painiketta. Käyttäjä voi valita joko A- tai B-kohdan mukaiset oletushuolto-ohjelmat tai sitten jättää huolto-ohjelman kokonaan pois tarkastelusta vastaamalla ”Ei”. Oletushuolto-ohjelma B on esilaskettu kuvaamaan sähköautoa. Muuttamalla vuosihuollon perushintaa ja rengassarjan hintaa, sekä näiden suoritusvälejä, vuosikohtainen taulukko päivittyy automaattisesti, mikäli käyttäjä ei ole niitä manuaalisesti muuttanut.

Huolto-ohjelma A

Vuosihuollon perushinta (€)

Suurten huoltojen väli (v.)

Uuden rengassarjan hinta (€)

Renkaiden vaihtoväli (v.)

1. vuosi	Vuosihuolto	300	€
2. vuosi	Vuosihuolto	300	€
3. vuosi	Vuosihuolto	300	€
4. vuosi	Vuosihuolto	300	€
5. vuosi	Suurempi huolto	600	€
6. vuosi	Vuosihuolto ja renkaanvaihto	705	€
7. vuosi	Vuosihuolto	300	€
8. vuosi	Vuosihuolto	300	€
9. vuosi	Vuosihuolto	300	€
10. vuosi	Suurempi huolto	600	€
11. vuosi	Vuosihuolto	300	€
12. vuosi	Vuosihuolto ja renkaanvaihto	705	€
13. vuosi	Vuosihuolto	300	€
14. vuosi	Vuosihuolto	300	€
15. vuosi	Suurempi huolto	600	€

Huollon päästöt (kg CO₂-ekv/100 km)

[Tallenna ja sulje](#)

Huoltotoimenpiteiden ulkopuoliset kustannukset arvioidaan kohdassa ”Muut vuotuiset kustannukset”.

Ajoneuvokohtaiset tietojen lopuksi käyttäjälle avautuu myös mahdollisuus muuttaa laskennan oletustietoja, jotka eivät ole ajoneuvokohtaisia. Näitä lähtötietoja käsitellään luvussa 2.2.

2.4. Polttoainetiedot

Laskurissa on oletustietona syksyn 2019 polttoaineiden hintatiedot. Käyttäjä on vapaa muuttamaan näitä hintoja päivän hintatilanteen mukaan.

	Bensiini	Diesel	Biodiesel	Maakaasu	Biokaasu	Etanoli	Sähkö
Hinta	1,519	1,406	1,425	1,30	1,52	1,05	0,13
	€ / l	€ / l	€ / l	€ / kg	€ / kg	€ / l	€ / kWh

* Bensiini 95E10, Etanoli E85

Painamalla -merkkiä saadaan näkyviin taulukko päästökertoimien syöttämiseksi:

	Bensiini	Diesel	Biodiesel	Maakaasu	Biokaasu	Etanoli	Sähkö
Käyttöyksikkö	litra (l)	litra (l)	litra (l)	kg	kg	litra (l)	kWh
Suorat päästöt *	2,348	2,689	0,000	2,750	0,000	0,841	0,137
Valmistuksen ja hankinnan päästöt *	0,655	0,750	2,669	0,977	0,950	0,914	0,016
Vuotuinen hintakehitys (%)	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500

* (kg CO₂-ekv/käyttöyksikkö)

Polttoaineiden suorat päästöt tarkoittavat eri polttoaineiden käytön aikaisia päästöjä per käyttöyksikkö. LCA-lisä tarkoittaa polttoaineiden raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen kasvihuonekaasupäästöjä (kg CO₂-ekv/käyttöyksikkö). Tässä yhteydessä bensiinin ja dieselin päästökertoimissa ei ole mukana jakeluasemilla myytävien polttoaineiden biokomponenttipäästövaikutusta. Se lasketaan erikseen laskurissa polttoaineiden sekoitusasteen mukaisesti, mikä muuttuu ajan kanssa (ks. kohta 4.1).

Bensiinin ja dieselin suorat ja välilliset päästöt ovat peräisin julkaisusta Lutsey (2017). Maakaasun elinkaariset tiedot ovat Ricardon (2016) raportista. Maakaasun hankinnan vuodot ovat mukana ja ne vastaavat arvioitua Keski-Euroopan jakeluverkon kaasun tilannetta, jossa on mukana Venäjän putkistosta tuleva kaasu. Todellisuudessa maakaasun tuotantovaiheen päästöt vaihtelevat maakaasulähteittäin. Venäjän maakaasun päästöistä ei ole tarkkaa arviota.

Biodieselin oletuspäästökertoimet ovat samat kuin tavallisen dieselin. Tällä tavalla laskurissa biodieselin käyttäjä päätyy samaan lopputulokseen kuin tavallisen dieselin käyttäjä. Ratkaisun takana on Suomen biopolttoaineiden sekoitevelvoitteen laskentasäännöt ja tosiasia, että kestävien tuoteketjujen omaavien biodieselin määrät ovat globaalisti rajalliset. Suomen bensiinin ja dieselin biopolttoaineiden sekoitevelvoitteen nykyiset pelisäännöt johtavat tilanteeseen, jossa erillistankatulla biodieselillä ei saada systeemitasolla lisää päästövähennyksiä. Jos autoilija jättää tankkaamatta erillisbiodieseliiä, niin vastaava määrä biopolttoainetta tulee joka tapauksessa lisätä jakeluun. Jos autoilija tankkaa biodieseliiä, niin tämä määrä jää lisäämättä tavalliseen dieselin sekoitteena (ks. myös kohta 2.6 ja liite). Biopohjaisten polttoaineiden saatavuuden niukkuus johtaa siihen, että systeemitason ajattelu on sekoitusvelvoitteen rajoittamalla määrällä perusteltua. Sekoitevelvoitetta suurempaa määrää ei jää jakeluun, sillä kansainvälinen kysyntä ohjaa sen pois kotimaisesta käytöstä.

Pelkästään biodieseliin perustuva laskenta on mahdollista toteuttaa laskurilla, kun dieselin sekoitevelvoitteessa käytettävän biokomponentin elinkaaristen kasvihuonekaasupäästöjen päästökerroin muutetaan Asetus -kohdassa (ks. kohta 2.6).

Etanolin elinkaariset päästöt vaihtelevat myös suuresti raaka-aineen lähteestä ja prosessiteknikasta riippuen. Tässä yhteydessä etanolin päästökertoimella tarkoitetaan erikseen myytävän korkeaseosetanolin (E85) päästöjä. Tällä hetkellä ei ole tarkkaa tietoa siitä, mikä on Suomessa erikseen myytävän etanolin keskimääräinen päästökerroin. Sen oletettu olevan jäteperäistä ja saavuttavan 80 % päästövähennyshyödyn bensiinin elinkaariin päästöihin nähden. Sen sijaan sekoitevelvoitteessa olevan etanolin oletetaan vastaavan EU:n tulevia biopolttoaineiden kestävyyskriteeristä (EU 2018) eli sen elinkaarinen päästövähennys bensiiniin nähden on 70 %. Bensiinin sekoitevelvoitteessa käytettävän etanolin elinkaaristen kasvihuonekaasupäästöjen tieto on määritettävissä laskurin Asetus -kohdassa (ks. luku 2.6).

Ilmastokestävä liikenteen etanoli on globaalisti niukkuustuote siinä missä biodiesel. Erillistankattava etanolimäärä on myös mukana Suomen sekoitevelvoitteen bio-osuuden laskennassa. Mitä enemmän bioetanolia tankataan erillisjakeluna, sitä vähemmän biodieseliä laitetaan dieselin joukkoon. Näin koska 95E10-bensiiniin ei pystytä enää käytännössä lisäämään nykyisestä tasosta etanolia (ks. liite). Jätöpohjaisen etanolin lisääminen on kuitenkin päästöjen hallinnan näkökulmasta järkevää niin kauan kuin sitä pystytään teknistaloudellisesti tekemään, koska sen päästöhyöty on parempi peltopohjaisen etanoliin verrattuna (ks. edellinen kappale). Toisaalta ottamalla E85-polttoaineen 80% -päästövähennyksen täysimääräisesti huomioon, johtaisi vääränlaiseen viestiin laskurin käyttäjälle.

Edellä mainituista syistä laskurissa on päädytty ratkaisumalliin, jossa E85-polttoaineen tankkauksesta syntyy sen verran päästöjä kuin vastaavan energiasisällön omaavasta dieselpolttoaineesta. Päästövähennys bensiiniin nähden kasvaa ajan myötä, kun dieselin biopolttoaineen määrä kasvaa sekoitevelvoitteen myötä. Etanoliosuus E85:ssä on arvioitu Lipaston tiedoista (VTT 2017), jonka mukaan E85-etanolissa oli 72 % etanolia vuonna 2016.

Biokaasun elinkaariset päästöt vaihtelevat suuresti raaka-aineen lähteestä ja prosessiteknikasta riippuen. Gasumilta saatujen tietojen mukaan heidän myymänsä biokaasun elinkaariset päästöt ovat tällä hetkellä 19 g CO₂-ekv./MJ (Nevalainen 2019). Tämä merkitsee 0,95 kg CO₂-ekv./kg, jota on käytetty laskurin oletuspäästökertoimena biokaasulle. Tulevaisuudessa päästökerroin saattaa muuttua oletusarvosta muun muassa sen perusteella kuinka lantaa pystytään ohjaamaan biokaasun tuotantoon.

Sähkön elinkaariset päästökertoimet edustavat Suomessa tuotetun sähkön tuotannon keskimääräistä päästökerointa. Mukana eivät ole siis tuonnin sähkön osuuden vaikutusta päästökertoimiin. Tuonnin sähkön elinkaariset päästötiedot ovat todennäköisesti Suomessa tuotettua sähkön elinkaarisia päästökertoimia pienempiä, sillä yli 70 % sähköstä on tullut viime vuosina Pohjoismaista (Energiateollisuus 2019). Esimerkiksi Ruotsin sähkön tuotannon elinkaarinen päästökerroin oli vuonna 2013 noin 2,5 kertaa pienempi kuin Suomessa tuotetun sähkön päästökerroin (Moro ja Lonza 2018). Laskelmien oletustietona käytetty tuotannon suora päästökerroin vastaa Tilastokeskuksen hyödynjakomenetelmän kautta laskettujen vuosien 2015-2017 päästökertoimien kesiarvoa (137 g CO₂-ekv./kWh). Suomen sähkön raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen päästökerroin on peräisin Moron ja Lonzan (2018) julkaisuista ja sen on arvioitu olevan 16 g CO₂-ekv./kWh.

Eri polttoaineille on mahdollisuus antaa niille sopiva tulevaisuuden hintakehitys. Kaikille polttoaineille on oletuksena, että niiden hinta nousee vuosittain 1,5 %.

2.5. Ajoneuvojen kulutustiedot

Käyttäjällä on mahdollisuus täyttää erilaisia polttoaineyhdistelmiä kulutustietoina ajettua sataa kilometriä kohti. Oletuksena on, että käyttäjän syöttämät tiedot vastaavat varsinaista kulutusta. Bensiinillä tarkoitetaan huoltoasemilla myytävää 95E10-bensiiniä ja etanolilla vastaavasti RE85-etanolia.

Käyttäjällä on mahdollisuus myös muuttaa valmistajien antamia kulutustietoja vastaamaan todellista kulutusta niissä tapauksissa, joissa valmistajan ilmoittamat arvot eivät ole pohjoisen olosuhteisiin

kohdennettuja. Tässä on apuna karttakuva, jota apuna käyttäen käyttäjä voi asettaa cursorin asuinpaikalleen ja klikkauksen seurauksena polttoaineiden korjauskertoimet muuttuvat paikkakunnan lämpötilaolosuhteiden mukaisesti. Korjauskerrointa voi muuttaa myös oman ajotavan mukaiseksi.

Valmistaja ilmoittaa autojen kulutusarvot ainoastaan mittaustandardin (WLTP) mukaisina. WLTP pyrkii kuvaamaan mahdollisimman hyvin keskimääräisiä ajo-olosuhteita ja EU:ssa sen antamaa CO₂-arvoa korjataan keskilämpötilan perusteella. Yhdistetty kulutus ja lataushybrideillä yhdistetty painotettu kulutus on hyvä referenssiarvo kulutukselle. Jos käyttäjällä on jo auto, josta saa ajotietokoneen kulutusarvoja, niitä on hyvä käyttää laskennan pohjaksi.

Ajoneuvon kulutus

	Bensiini l	Diesel l	Biodiesel l	Maakaasu kg	Biokaasu kg	Etanoli l	Sähkö kWh
Ajoneuvo 1	7,1	0	0	0	0	0	0
Ajoneuvo 2	0	0	0	0	0	0	17

* Kulutusarvot sataa kilometriä kohden (per käyttöyksikkö)

Syötetyt kulutuksen arvot ovat valmistajan ilmoittamia

Syötetyt arvot kuvaavat todellisia käytönaikaisia kulutuksia

Kulutuksen korjauskerroin

Kulutuskertoimella kompensoidaan valmistajien ilmoittamien lukujen eroa todellisessa käytössä ilmenevään kulutukseen. Alla olevilla valinnoilla voit tarkentaa oman ajotapasi ja ympäristösi vaikutusta kulutukseen. Merkitsemällä kartalle ajoympäristön keskimääräisen sijainnin voit lisäksi huomioida maantieteellisen sijainnin vaikutuksen kulutukseen. Esimerkiksi sähköautojen kulutus on Suomessa useissa tapauksissa näyttäytynyt jopa 40 % suurempana kuin valmistaja on ilmoittanut.

Maantie Liikenneympäristö **Kaupunki**


-15% +15%

Taloudellinen Ajotapa **Aggressiivinen**

-10% +10%

Kulutuserroin

Sähkö	1,26
Muut polttoaineet	1,1



Käytettäessä valmistajan ilmoittamia kulutusarvoja, ajokäyttäytymisen ja liikenneympäristön vaikutusta kulutukseen voi pyrkiä tarkentamaan oheisilla liukureilla. Ajotavan ja liikenneympäristön lisäksi myös maantieteellisellä sijainnilla on vaikutusta. Karttaan tulee tällöin merkitä piste, joka edustaa ajoneuvon keskimääräistä sijaintia elinkaarensa läpi. Sähköautojen osalta oletetaan energiankulutuksen olevan alimmillaan noin +15 °C lämpötilassa (Liu ym., 2018). Siitä poikkeavat lämpötilat kasvattavat kulutusta. Esimerkiksi -10 C asteessa energiankulutus kasvaa noin 75 % ja 50 % +35 C lämpötilassa¹. Energiankulutus ei siis ole lineaarisesti lämpötilaan sidoksissa. Suomen ympärivuotinen keskilämpötila on läpi maan nollan tuntumassa tai muutamia asteita yli. Esimerkiksi Helsingissä keskilämpötila on vuosina 1980-2015 ollut +5,9 °C ja Sodankylässä -0,4 °C. Suomen keskiolosuhteissa jäädään siis sijainnista riippumatta optimilämpötilan alle siten, että energiankulutus on alimmillaan kohti lounaista suomea. Nollassa asteessa laskuri olettaa energiankulutuksen olevan 46 % optimilämpötilaa suurempi ja Helsingissä 26 % optimia suurempi (laskurin oletusarvo). Tunnetut luvut ja tehokkuudet on skaalattu pysty akselin suuntaisesti läpi Suomen siten, että pohjoisimman ja eteläisimmän arvon välillä (Utsjoki -> Kökar) muutos on lineaarinen. Suurin epävarmuustekijä korjauskertoimen käytössä on siinä, kuinka tarkasti valmistajan ilmoittama luku on kohdennettu pohjoiseen ilmastoon. Lisäksi esilämmityksen käyttö saattaa jopa puolittaa energiankulutuksen lisäyksen varsinkin lyhyillä matkoilla. Polttomoottoriautot hyötyvät suhteellisesti enemmän moottorin tuottaman hukkalämmön hyödyntämisestä lämmityksessä, joten kulutuksen muutokset lämpötilan funktiona ovat huomattavasti maltillisempia.



Oletusarvoisesti lämpötilakorjausta ei tehdä lainkaan, ja se vaikuttaa vain vähäisessä määrin polttomoottoriautojen päästöihin. Kun käyttäjä syöttää aiemmin toteutuneet kulutusarvot kulutuskenttään, tulee tällöin huomioitua kaikki kulutukseen vaikuttavat tekijät.

2.6. Laskennan ajoneuvoriippumattomat oletustiedot

Asetuskohdassa (ks. kohta 2.2) avautuu laskennassa käytettäviä ajoneuvosta riippumattomia lähtötietoja, joita käyttäjän ei oleteta muuttavan kuin erityistilanteissa.

Käyttöliittymä



Laskuria on mahdollista käyttää ilman automaattista esitäyttöä muuttamalla esitäytön oletusta. Kuvaajien oletuksena on 15 vuoden tietojen näyttö. Aikajännettä on mahdollisuus kasvattaa ja vähentää  ja  -painikkeilla. Oletuskuvaajana on pylväsdiagrammi, joka voidaan vaihtaa esimerkiksi viivadiagrammiksi, joka soveltuu paremmin autovaihtoehtojen erojen tutkimiseen erityisesti suuremmilla aikajännteillä.

Sähköntuotannon päästöjen laskentaan liittyy kolme muuttujaa. Oletuksena asetettu sähkön siirron ja jakelun tehokkuuskerroin vastaa Suomen sähköjärjestelmän keskimääräistä tilannetta (Honkapuro ym. 2015) eli se on 0,97, kun se Euroopassa on keskimäärin 0,935 (Lutsey 2017). Sähköauton latauksessa tapahtuu myös häviöitä. Latauksen tehokkuuskerroin on laskurissa 0,93, mikä vastaa Euroopan keskiarvotilannetta (Lutsey 2017).

Laskurissa on oletuksena, että sähköntuotannon kasvihuonekaasupäästökerroin (kg CO₂-ekv./kWh) vähenee vuosittain 5 %. Nopean vähenemisen taustalla on Suomen hiilineutraaliuden tavoittelu 2035.

¹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917310929>, kuva 2
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X18302365>, kuva 15
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775316308941>, kuva 4
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775314017613>, kuva 3

Suomen Ilmastopaneeli on päästöpolkuskenaariossaan esittänyt, että hiilineutraaliuden tavoittelussa Suomen sähköntuotannon päästöt vähenevät 84 % vuodesta 2016 vuoteen 2035 (Suomen Ilmastopaneeli 2019). Sähköntuotannon päästöt eivät kuitenkaan vähene aivan niin nopeasti, kun otetaan huomioon koko elinkaaren päästöt, minkä takia tässä yhteydessä on päädytty vähäisempään päästövähennyskehitykseen. Todettakoon, että vuodesta 2011 vuoteen 2017 kotimaisen sähköntuotannon päästökerroin on vähentynyt vuosittain keskimäärin 10 % (Tilastokeskus 2018).

Polttoaineiden bioperäiset osuudet tulevaisuudessa [Muokkaa](#)

Vuosi	Bensiini	Diesel
Muuta kaikkia		
2019	9	23
2020	9	23
2021	9	23
2022	9	25
2023	9	27
2024	9	30
2025	9	29
2026	9	31
2027	9	33
2028	9	36
2029	9	38
2030	9	38
...
2050	9	38

% Etanolia % Biopolttoainetta

Fossiilisen bensiinin ja dieselin biopolttoaineiden osuuksien odotetaan kehittyvän Suomen tekemien sekoitevelvoiteinjauusten mukaisesti (Eduskunta 2019). Lain mukaan bensiinin ja dieselin yhteenlasketussa jakelumäärässä tulee täyttyä biopolttoaineiden energiasisältöä kuvaava sekoitemääräprosenttiosuus. Lähtökohdana bensiiniautoille on kuitenkin se, ettei nykyisille autoille voi tankata bensiiniseosta, jossa etanolimäärä ylittää 10 %. Tässä on siksi oletettu, että E10-bensiiniä käytetään nyt valittavana olevissa autoissa tästä eteenpäin (oletus 9 % etanolia). Taustalla on oletus, ettei uutta bensiinistandardia E20 tule markkinoille. Dieselin bio-osuus on laskettu siten, että bensiinin ja dieselin myyntimääräosuudet maanliikenteessä säilyvät vuoden 2017 tasolla, etanolin osuudet noudattavat edellä olevaa oletuksia ja sekoitevelvoitteessa toteutuu lain esittämät bio-osuudet bensiinin ja dieselin yhteismäärässä.

Asetuskohdassa on erikseen mahdollisuus antaa biodieselin biokomponentin elinkaarinen päästökerroin (kg CO₂-ekv.), koska sitä ei ole mahdollisuus antaa polttoainetietojen yhteydessä (kohta 2.4). Dieselin biokomponentin elinkaaristen päästöjen per litra on oletettu olevan 80 % pienemmät kuin fossiilisen dieselin polton ja valmistuksen elinkaariset päästöt per litra. Lähtökohtana on, että Suomessa dieselin sekoitetaan 7 % perinteistä biodieseliä (ns. FAME), joka täyttää RED-direktiivin uusien laitosten päästövähennysvaatimukset (uusilla laitoksilla 70 % pienemmät päästöt kuin fossiilisella dieselillä). Loput sekoitevelvoitteen biodieselistä on parafiinista dieseliä, jolla saavutetaan 80-90 % päästövähennys perinteiseen biodieseliin nähden (Nesteen ja UPM Kymmenen ilmoittamat päästövähennykset).

Laskurissa ei oleteta, että biodieselin lisääntymisen myötä auton kulutus muuttuu, koska parafiinisten biodieselin energiasisällöt vastaavat fossiilisen dieselin energiasisältöä (36 MJ/litra).

Asetuskohdassa voi myös muuttaa bensiinin biokomponentin (etanolin) elinkaarista päästökerrointa (kg CO₂-ekv.). Sen arvo vaihtelee vuosittain raaka-ainepohjaista riippuen. Tässä yhteydessä oletetaan sen olevan keskimäärin 60 % pienemmät kuin fossiilisen bensiinin elinkaariset päästöt per litra.

Käyttäjä voi myös muuttaa eri polttoaineiden energiasisältöä.

Fossiiliset polttoaineet

Polttoaineiden bioperäiset osuudet tulevaisuudessa [Muokkaa](#)

Bensiiniin sekoitetun etanolin elinkaarinen päästökerroin (kg CO ₂ -ekv/l)	0,9009
Dieselin biokomponentin elinkaarinen päästökerroin (kg CO ₂ -ekv/l)	1,03
Bensiinin energiasisältö (MJ/l)	32
Etanolin energiasisältö (MJ/l)	21
Dieselin energiasisältö (MJ/l)	36
Biodieselin energiasisältö (MJ/l)	35,6

Asetuskohdan lopussa voi myös muuttaa seuraavia oletustietoja:

Muita tarkenteita	
Sähköauton akuston valmistuksen päästökerroin (kg CO ₂ -ekv/kWh)	115
Uuden akuston vuosittainen hinnan alenema (%)	4
Akuston valmistuksen päästökertoimen vuosikehitys (%)	3,35
Korkotasoa sidotulle pääomalle (%)	2

Auton sähkövoima-akuston oletuspäästökerroin kuvaa akun raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen aiheuttamia kasviuonekaasupäästöjä. Päästökerroin vaihtelee suuresti eri tutkimustulosten välillä (ICCT 2018). Suurena selittävä tekijänä on valmistuksessa käytetyn energian puhtaus. Romare ja Dahllöf (2017)

ovat tutkimuksissaan arvioineet energiapäästöjen selittävän vähintään 50 % akuston elinkaarisesta päästökertoimesta. Tässä yhteydessä on käytetty viimeaikaisten tutkimusten keskiarvotulosta (ICCT 2017). Vaihteluväli on 56 – 200 kg CO₂-ekv./kWh, suurempien arvojen koskiessa Aasiassa valmistettuja akkuja.

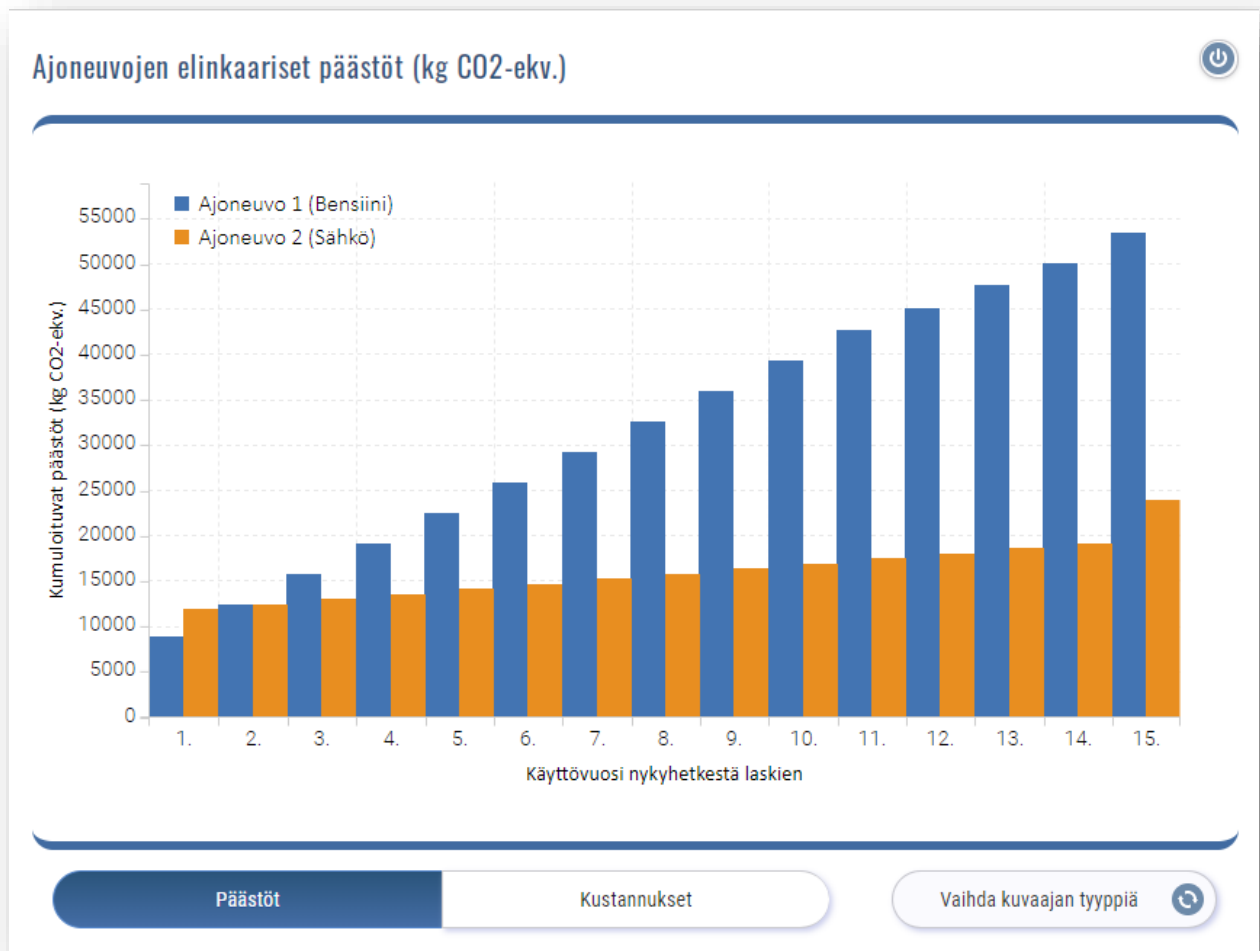
Uuden akuston oletushinta-arvio vastaa nykytilannetta (300 €/kWh) (ks. kohta 2.3). Sen hinnan on oletettu vähenevän noin 4 % vuodessa. Akuston valmistuksen päästökerroin on oletettu vähenevän vastaavasti 3 % vuodessa.

Kustannuslaskentaan (ks. kohta 4.2) varten on mahdollisuus vaihtaa korkotasoa odotetulle pääomalle. Oletuksena on 2 %.

3. ANALYYSIN TULOS JA SEN TULKINTA

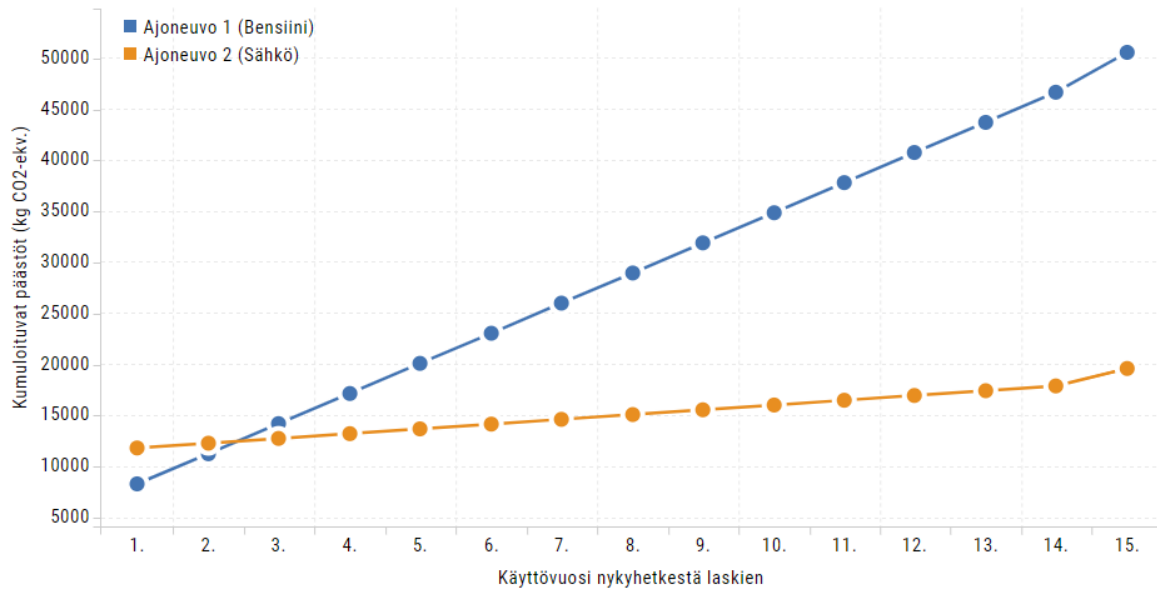
Analyyisin päästötulos näkyy oletuksena sovelluksen oikeassa reunassa. Eri autovaihtojen koko elinkaaren aikaiset päästöt lasketaan yhteen kunakin vuonna, jolloin saadaan näkyviin ns. kumulatiiviset päästöt joko pylväinä (oletus) tai viivadiagrammina (käyttäjä voi muuttaa pylväsesityksen viivaesitykseksi) ajan suhteen. Mitä pienemmät kasvihuonekaasupäästöt ovat, sitä parempi auto on ilmaston kannalta. Kohdassa, jossa eri autovaihtoehtojen kumulatiiviset päästöt leikkaavat, paremmuus vaihtoehtojen välillä muuttuu. Vastaava esitystapa ja tulosten tulkinta koskee kustannuksia.

Alla olevassa kuvassa sähköauton päästöt ovat jo 2 käyttövuoden aikana vähäisemmät kuin vertailuun otetun bensiiniauton. Kunkin vuoden numeroarvotiedot saadaan näkyviin laittamalla hiiren nuolikuviot pylväiden tai viivojen päälle.



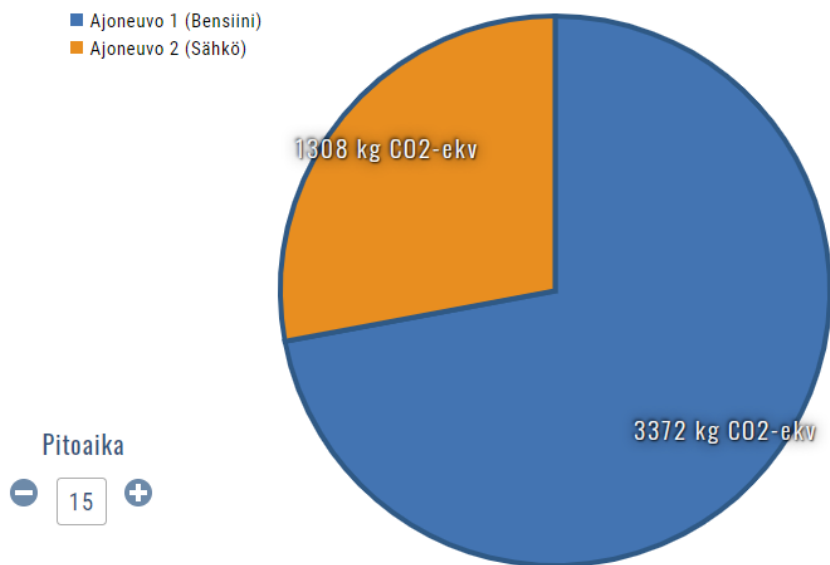
Viivadiagrammi kertoo saman informaation tiedon kuin edellinen pylväsdiagrammi, mutta tutummalla tavalla. Viivadiagrammin käytössä tulee huomata, että samankaltaisia tuloksia tuottavat valinnat näkyvät päällekkäin, jolloin tulosten erottelu ajoneuvojen välillä voi olla vaikeaa.

Ajoneuvojen elinkaariset päästöt (kg CO₂-ekv.)



Laskurin neljäs kaaviovaihtoehto kuvaa ajoneuvojen keskimääräisiä vuosittaisia kustannuksia siten, että kustannukset ynnätään yhteen koko tarkasteluväliltä. Mikäli haluat ottaa ajoneuvon jäännösarvon huomioon, voit syöttää sen ajoneuvokohtaiseen tietotauluun (kappale 2.3).

Keskimääräiset vuosittaiset päästöt (15 vuoden ajalta)



4. LASKENTAKAAVAT

4.1. Päästöjen laskentaperusteet

Eri käyttövoiman omaavien autojen valmistuksen päästötiedot kokoluokittain on otettu Euroopan ympäristöviraston julkaisusta (EEA 2018). Nämä pitävät mukanaan myös materiaalien hankinnan ja valmistuksen päästöt sekä auton kokoamisen ja materiaalien kierrätyksen vaikutukset, Mukana ei ole kuitenkaan akun materiaalien hankinnan ja valmistuksen päästöjä eikä akuston hyvityspäästöjä. Ne otetaan laskennassa erikseen huomioon omina kohtina.

Kunkin autovaihtoehdon päästöt n käyttövuoden jälkeen lasketaan seuraavasti:

$$KP_n(a) = \text{AutoVP}(a) + \text{AkkuVP}(a) + PP_1(a) + \dots + PP_n(a) + \text{AutoH}(a) + \text{AkkuU}(a) + \text{AkkuH}(a) \quad (1)$$

missä

- $KP_n(a)$ = autovaihtoehdon a kasviuonekaasupäästöt hiilidioksidiekvivalenttonnina n käyttövuoden jälkeen (kg CO₂-ekv.)
- $\text{AutoVP}(a)$ = autovaihtoehdon a raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen sekä itse auton valmistamisen päästöt (kg CO₂-ekv.)
- $\text{AkkuVP}(a)$ = auton a sähkövoima-akun raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen sekä itse akuston valmistuksen päästöt (kg CO₂-ekv.)
- $PP_i(a)$ = auton a polttoaineiden käytön päästöt vuonna i .
- $\text{AutoH}(a)$ = auton a hylkäyksen (romutuksen) päästöt
- $\text{AkkuU}(a)$ = auton a sähkövoima-akun uusimisen aiheuttamat päästöt (kg CO₂-ekv.)
- $\text{AkkuH}(a)$ = auton a sähkövoima-akun hylkäyksen jälkeisen hyötykäytön aiheuttama päästöhyvitys (negatiivinen päästö, kg CO₂-ekv.)

Muuttujien arvot $\text{AutoVP}(a)$, $\text{AutoH}(a)$ ja $\text{AkkuH}(a)$ yhtälössä (1) saadaan suoraan syöttötietona kullekin autovaihtoehdolle. Uusittavien akkujen päästöt vähenevät lineaarisesti siten, että ne ovat 15 vuoden kuluttua 60 % alkuperäisestä. Tässä oletetaan, että akkuteknologiassa tapahtuu kehitystä ja akkujen valmistuksen energiapäästöt vähenevät 80 %:lla. Todettakoon, että Romare ja Dahllöf (2017) ovat tutkimuksissaan arvioineet energiapäästöjen selittävän vähintään 50 % akuston elinkaarisesta päästökertoimesta.

Akuston päästöt lasketaan seuraavasti:

$$\text{AkkuVP}(a) = \text{auton } a \text{ sähkövoima-akuston valmistuksen päästökerroin (kg CO}_2\text{-ekv./kWh)} * \text{akuston koko (kWh)} \quad (2)$$

Bensiinauton ba bensiinin käytön päästöt (kg CO₂-ekv) kullekin vuodelle i lasketaan seuraavasti:

$$PP_i(ba) = [(SBP+VBP) * (1-SB_i/100) + (SEP+VEP) * (SB_i/100)] * VA * KB(ba) / 100 \quad (3)$$

missä

- SBP = bensiinin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO₂-ekv/litra)
- VBP = bensiinin elinkaarinen päästökerroin öljyn hankinnasta jakeluun (kg CO₂-ekv/litra)
- SB_i = sekoitevelvoitteen biopolttoaineen osuus (%) vuonna i
- SEP = etanolin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO₂-ekv/litra)
- VEP = etanolin elinkaarinen päästökerroin raaka-aineiden hankinnasta jakeluun (kg CO₂-ekv/litra)
- VA = vuosittainen ajokilometrimäärä (km)
- $KB(a)$ = auton ba bensiinin kulutus per 100 km (sisältää etanolin sekoitevelvoiteosuuden)

Dieselauton käytön päästöt lasketaan vastaavalla yhtälöllä kuin 3, mutta jossa bensiinin ja etanolin sijasta ovat dieselin ja biodieselin päästökertoimet (SDP, VDP, SBDP, VBDP).

Biodieselin erillistankkauksen päästöt lasketaan oletustilanteessa vastaavalla tavalla kuin dieselin (ks. kohta 2.5) Biodieselin erillistankkauksen päästövaikutukset lasketaan suoraan annetulla päästökertoimella (suora+epäsuora), mikäli biodieselin päästökerroin poikkeaa oletusarvosta (suora 0+ valmistuksen

elinkaariset 2,669.kg CO₂/100km). Oletusarvo edustaa vuosien 2019-2030 keskimääräistä dieselin päästökerrointa, jossa biodieselin osuus kasvaa 18 %:sta 38 %:iin.

Bensiini- ja dieselhybridiautojen polttoaineiden käytön päästöt lasketaan vastaavalla tavalla kuin bensiini- ja dieselautojen polttoaineiden käytön päästöt.

Kohdan 2.5 mukaisesti E85-polttoaineen tankkauksesta syntyy sen verran päästöjä kuin vastaavan energiasäällön omaavasta dieselpolttoaineesta. Päästövähennys bensiinin nähden kasvaa ajan myötä, kun dieselin biopolttoaineen määrä kasvaa sekoitevelvoitteen myötä. Etanoliosuus E85:ssä on arvioitu Lipaston tiedoista (VTT 2017), jonka mukaan E85-etanolissa oli 72 % etanolia vuonna 2016. E85:n erillistankkauksen polttoaineen käytön päästöt lasketaan suoraan annetulla päästökertoimella (suora+ valmistuksen elinkaariset), mikäli biodieselin päästökerroin poikkeaa oletusarvosta (suora 0,841 + valmistuksen elinkaariset 0,914 kg CO₂/100km).

Kaasuauton *ka* polttoaineen käytön päästöt lasketaan 100 kilometriä kohden käytettävien maakaasun, biokaasun ja bensiinin määrien perusteella:

$$PPI(ka) = [(SMKP+VMKP) * MKK(ka) + (SBKP+VBKP)* BKK(ka) + ((SBP+VBP) * (1-SBi/100) + (SEP+VEP)* (SBi/100))*BeK(ka)]*VA/100 \quad (4)$$

missä

- SMKP = maakaasun palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO₂-ekv/kg)
- VMKP = maakaasun elinkaarinen päästökerroin kaasun hankinnasta jakeluun (kg CO₂-ekv/kg)
- MKK(*ka*) = auton *ka* maakaasun kulutus (kg) 100 kilometriä kohti
- SBKP = biokaasun palamisen (kulutuksen) päästökerroin (= 0 kg CO₂-ekv/kg)
- VBKP = biokaasun elinkaarinen päästökerroin kaasun hankinnasta jakeluun (kg CO₂-ekv/kg)
- BKK(*ka*) = auton *ka* biokaasun kulutus (kg) 100 kilometriä kohti
- SBP = bensiinin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO₂-ekv/litra)
- VBP = bensiinin elinkaarinen päästökerroin öljyn hankinnasta jakeluun (kg CO₂-ekv/litra)
- SB_{*i*} = sekoitevelvoitteen biopolttoaineen osuus (%) vuonna *i*
- SEP = etanolin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO₂-ekv/litra)
- VEP = etanolin elinkaarinen päästökerroin raaka-aineiden hankinnasta jakeluun (kg CO₂-ekv/litra)
- BeK(*ka*) = auton *ka* bensiinin kulutus (l) 100 kilometriä kohti
- VA = vuosittainen ajokilometrimäärä (km)

Ladattavan bensiinihybridin tapauksessa ajon aiheuttamat päästöt lasketaan auton ulkopuolelta hankitun sähkön määrän ja käytetyn bensiinimäärän perusteella. Bensiinin päästöt lasketaan yhtälöllä 3. Kulutetun ostosähkön päästöt lasketaan samalla tavalla kuin sähköautolla (*sa*). Ne lasketaan seuraavasti:

$$PPI(sa) = [(SSP + VSP) * (1/SHT) * (1/ SLT)] * SK(sa) * VA/100 \quad (5)$$

missä

- SSP = sähkön tuotannon suora päästökerroin (kg CO₂-ekv/kWh)
- VSP = sähkön tuotannossa käytettävien polttoaineiden elinkaariset päästöt (kg CO₂-ekv/kWh)
- SHT = sähkön hankintajärjestelmän tehokkuuskerroin
- SLT = sähkön latauksen tehokkuuskerroin
- SK(*sa*) = auton *sa* sähkön kulutus (kWh) 100 kilometriä kohti
- VA = vuosittainen ajokilometrimäärä (km)

Ladattavan dieselhybridin päästöt lasketaan vastaavalla tavalla kuin ladattavan bensiinihybridin. Bensiinin tilalla on diesel.

4.2. Kustannusten laskenta

Auton kumulatiiviset kustannukset sisältävät auton ostokustannuksen eli investointikustannuksen, autoveron, ajoneuvoveron, vuosittaiset kustannukset ja sähköauton tapauksessa akuston vaihdon. Vuosittaiset kustannukset sisältävät tankkaus- tai latauskustannukset, ajoneuvoveron, investoinnin koron sekä huollon. Investoinnin korkokustannus on laskettu 2 % korolla auton hankintahinnasta.

Edellä mainittujen lisäksi on mahdollista myös arvioida autolle jokin jäännösarvo. Se ei ole oletusarvoisesti laskurissa, vaan halutessaan käyttäjä voi syöttää ajoneuvon jäännösarvon sille varattuun kohtaan. Tällöin laskuri poistaa syötetyn summan valitun tarkasteluvälin viimeiseltä vuodelta.

Sähköauton tapauksessa laskentakaava käytön aikaisille kumulatiivisille kustannuksille on

$$KK_n(sa) = INV - J + AV + V + \sum_{i=1}^n (W_{c,i}K_i + M_i + AJV_i + r^i * (INV - J)) \quad (6)$$

missä

- $KK_n(sa)$ = kumulatiiviset kustannukset sähköauton käytöstä n vuoden ajalta, €
- INV = ostohinta eli investointikustannus, €
- AV = autovero, €
- J = jäännösarvo, €
- V = akuston vaihdon kustannus, €
- $W_{c,i}K_i$ = sähkön hinta €/kwh kertaa sähkön kulutus kwh/v eli latauskustannukset, € per vuosi
- M = huoltokustannukset, € per vuosi
- AJV = ajoneuvovero, € per vuosi
- r = investoinnin korko, %
- n = tarkasteluväli vuosina.

Ladattavan hybridin tapauksessa:

$$KK_n(h) = INV - J + AV + \sum_{i=1}^n (W_{t,i}K_i + W_{c,i}K_i + M_i + AJV_i + r^i * (INV - J)) \quad (7)$$

missä

- $KK_n(a)$ = Kumulatiiviset kustannukset muun kuin sähköauton käytöstä n vuoden ajalta €
- INV = ostohinta eli investointikustannus, €
- AV = autovero, €
- J = jäännösarvo, €
- $W_{t,i}K_i$ = polttoaineen hinta €/l kertaa polttoaineen kulutus l/vuosi eli tankkauskustannukset, € per vuosi
- $W_{c,i}K_i$ = sähkön hinta €/kwh kertaa sähkön kulutus kwh/v eli latauskustannukset, € per vuosi
- M = huoltokustannukset, € per vuosi
- AJV = ajoneuvovero, € per vuosi
- r = investoinnin korko, %
- n = tarkasteluväli vuosina

Muiden autojen tapauksessa:

$$KK_n(a) = INV - J + AV + \sum_{i=1}^n (W_{t,i}K_i + M_i + AJV_i + r^i * (INV - J)) \quad (8)$$

missä

- $KK_n(a)$ = Kumulatiiviset kustannukset muun kuin sähköauton käytöstä n vuoden ajalta €
- INV = ostohinta eli investointikustannus, €
- AV = autovero, €
- J = jäännösarvo, €
- $W_{t,i}K_i$ = polttoaineen hinta €/l kertaa polttoaineen kulutus l/vuosi eli tankkauskustannukset, € per vuosi
- M = huoltokustannukset, € per vuosi
- AJV = ajoneuvovero, € per vuosi

- r = investoinnin korko, %
- n = tarkasteluväli vuosina

5. LASKURIN KÄYTÖN LAAJENNUKSET

5.1. Herkkyystarkastelut

Laskurin oletustiedot ovat muutettavissa ja muutosten jälkeen tulokset näkyvät sekä päästöjen että kustannusten osalta välittömästi kuvaajissa.

Sähköauton päästöihin vaikuttaa voimakkaasti latauksen käytettävän sähkön alkuperä. Herkkyystarkasteluun voi valita esimerkiksi ääritilanteet, jossa sähkö on tehty esimerkiksi tuulivoimalla ($10=0+10$ g CO₂-ekv./kWh), hiilellä ($1390=1029+361$) g CO₂-ekv./kWh) tai Euroopan sähkön keskimääräisellä päästökertoimella ($351 = 296 + 45$ g CO₂-ekv./kWh). Tuulen ja hiilivoiman elinkaariset päästökertoimet ovat peräisin julkaisusta Koffi ym. (2017). Euroopan sähkön tuotannon keskimääräinen kerroin on peräisin EEA:n (2018) julkaisusta (EU20:n suora päästökerroin vuonna 2016) ja elinkaaristen "upstream" -päästöjen osalta julkaisusta Moro ja Lunza (2018).

Sähköauton akkuihin liittyy suurta epävarmuutta, mikä riippuu ennen kaikkea akkujen alkuperästä. Aasiassa tehdyt akut ovat suuripäästöisimpiä, koska akustojen valmistuksessa käytetyn energian päästöt ovat siellä korkeita. Herkkyystarkasteluun sopiva vaihteluväli akuston valmistuksen päästökertoimella on 60 – 200 kg CO₂-ekv./kWh (vrt. kohta 2.6).

Autojen valmistuksen päästöihin liittyy melkoista vaihtelua samassa kokoluokassa saman käyttövoiman sisälläkin. Tämän takia autovaihtoehtojen vertailussa on syytä myös arvioida lopputuloksen herkkyys muuttamalla valmistuksen päästökertoimia.

Biopolttoaineiden päästökertoimiin liittyy valmistustekniikan ja raaka-ainepohjan tuomaa vaihtelua, jonka vaikutusta voi tutkia poikkeuttamalla päästövähennyksiä esim. 60-80 % vaihteluvälillä suhteessa fossiilisiin polttoaineisiin.

5.2. Biodieselin ja etanolin erilliskäytön vaikutusten arviointi

Laskurissa lasketaan biodieselin ja etanolin (E85) erilliskäytön päästövaikutukset oletustilanteessa ns. systeemitason päästömuutosten perusteella (ks. kohta 2.5). Mikäli käyttäjä haluaa nähdä kummankin polttoaineen päästökertoimen aiheuttaman päästövaikutuksen, niin päästökertoimia pienennetään esimerkiksi 80 %:lla bensiinin ja dieselin elinkaarisiin päästöihin (jossa ovat mukana sekä käytön suorat että polttoaineiden valmistuksen päästöt) nähden. Systeemitason laskenta palautuu, kun käyttäjä palauttaa päästökertoimet oletusarvoiksi: biodieselin suora 0+ valmistuksen elinkaariset 2,669 kg CO₂/100km ja E85-korkeaseosetanolia suora 0,841 + valmistuksen elinkaariset 0,914 kg CO₂/100km.

KIRJALLISUUS

Energiateollisuus 2019. Sähkötillastot. <https://energia.fi/julkaisut/tilastot/sahkotilastot>

Eduskunta 2019. Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi biopolttoöljyn käytön edistämisestä, biopolttoaineiden käytön edistämisessä liikenteessä annetun lain muuttamisesta sekä biopolttoaineista ja bionesteistä annetun lain 2 §:n muuttamisesta. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Mietinto/Sivut/TaVM_29+2018.aspx

EEA 2018. Overview of electricity production and use in Europe. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment-4>.

Ellingsen, L. A.-W., Singh, B., Strømman, A.H. 2016. The size and range effect: Lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles. Environmental Research Letters 11(5):054010.

EU 2018. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä.

European Environment Agency (EEA) 2018. Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives. TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) report. EEA Report No 13/2018. <https://www.eea.europa.eu/highlights/eea-report-confirms-electric-cars>

Koffi, B., Cerutti, A., Duerr, M., Iancu, A., Kona, A., Janssens-Maenhout, G. 2017. CoM Default Emission Factors for the Member States of the European Union. EU.

Honkapuro S., Partanen, J., Haakana, J., Annala, S., Lassi, J. 2015. Selvitys sähkö- ja kaasuinfrastruktuurin energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksista. Lappeenrannan yliopiston tutkimusraportti. https://energia.fi/files/1224/Selvitys_sahko-ja_maakaasuinfrastruktuurin_energiatehokkuuden_parantamismahdollisuuksista_2015.pdf.

ICCT (The International Council on Clean Transportation) 2018. Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions. Briefing Feb 28, www.theicct.org.

Lutsey, N. 2017. Integrating electric vehicles within U.S. and European efficiency regulation Working paper 07. ICCT (The International Council on Clean Transportation).

Moro, A., Lonza, L. 2018. Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles. Transportation Research Part D 64 (2018) 5–14.

Marmioli, B., Messagie, M., Dotelli, D., Van Mierlo, D. 2018. Electricity Generation in LCA of Electric Vehicles: A Review. Applied Science (8) 1384. doi:10.3390/app8081384.

Nevalainen, O. 2019. Biokaasun elinkaariset päästöt, Gasum Oy. 26.10.2019.

Suomen ilmastopaneeli 2019. Seppälä, J., Savolainen, H., Sironen, S., Soimakallio, S., Ollikainen, M. Päästövähennyspolku kohti hiilineutraalia Suomea – hahmotelma. Suomen ilmastopaneelin raportti 7/2019.

Ricardo 2011. Preparing for Life Cycle CO₂ measure. Low carbon vehicle partnerships.

Ricardo 2015. Life cycle emissions from cars. Low carbon vehicle partnerships.

Ricardo 2016. The role of natural gas and biomethane in the transport sector. Report for Transport and Environment (T&E). ED 61479 | Issue Number 1 | Date 16/02/2016.

Romare, M., Dahllöf, L. 2017. The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries, IVL Swedish Environmental Research Institute, 2017. <http://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede9559/1496046218976/C243+The+life+cycle+energy+consumption+and+CO2+emissions+from+lithium+ion+batteries+.pdf>.

Tilastokeskus 2018. Sähkön ja lämmön tuotannon hiilidioksidipäästöt (hyödynjakomenetelmällä) -13.3.2. Energia 2018 –taulukkopalvelu.

Tilastokeskus 219. Konttinen, J.-P. Tieliikenteen ajokilometreissä edelleen hienoista kasvua. Tilastokeskus. http://www.stat.fi/tietotrendit/artikkelit/2019/tieliikenteen-ajokilometreissa-edelleen-hienoista-kasvua/?fbclid=IwAR3ofh2RxpXNgaGB1FhLImwA0eJds_ou4h-sAzEpFhgeYMQODHMFkOA478

LIITE. NÄKÖKOHTIA VAIHTOEHTOISIIN KÄYTTÖVOIMIIN

Sähkö

Sähkö on tehtävissä vähäpäästöiseksi uusiutuvien energialähteiden ja ydinvoiman avulla eikä sen määrää rajoita kestävä raaka-ainepohjan rajallisuus. Tämä on keskeinen syy, minkä takia sähköauto näyttäytyy vaateenottavana osaratkaisuna mentäessä kohti päästötöntä henkilöautoliikennettä. Esimerkiksi energiateollisuus Suomessa uskoo, että sähkön päästöt puolittuvat nykyisestä ensi vuosikymmenellä ja vähenevät marginaaliin 2030-luvulla (Energiateollisuus 2018). Sähköauton käytön aikaiset päästöt vähenevät tämän takia ajan myöten nopeammin kuin bensiiniin ja dieseliin päästöt niihin liittyvästä biopolttoainesekoitevelvoitteesta huolimatta. Tällä on erityisesti merkitystä Suomessa, jossa autot viiptyvät kauan liikenteessä. Jos nykytilanne säilyy myös tulevaisuudessa, tänä päivänä hankittu auto poistuu liikenteestä vasta 2040.

Suomessa tuotetun verkkosähkön tuotannon kasvihuonekaasujen päästökerroin on keskimäärin jo nyt lähes 3 kertaa alhaisempi kuin Euroopassa keskimäärin. Vuonna 2016 Suomen sähköntuotannon päästöt olivat 113 g CO₂ tuotettua kWh kohti kun se EU28:ssa oli 296 g/kWh kun lähtökohtana on energiamenetelmällä laskesketut päästökertoimet (EEA 2018a). Suomessa sähköverkon häviöt ovat myös pienemmät kuin Euroopassa (Moro ja Lonza 2018). Todettakoon, että polttoaineiden hankinta lisää sähköntuotannon päästöjä noin 20 % edellisiin suoriin päästöihin nähden (Moro ja Lonza 2018).

Sähköauton suurena etuna ovat myös "nolla"-lähipäästöt, jotka kaupunkiympäristössä ovat edelleen ongelmana myös Suomessa aiheuttaen terveyshaittoja. Keskitetyn sähköntuotannon terveyshaitat ovat vain murto-osa liikenteen aiheuttamista terveyshaitoista Pohjois-Euroopassa (Stanaway ym. 2018). Myös liikennemelu taajamissa vähenee sähköautojen myötä.

Sähköauton ongelmina ovat akkujen hinta ja niiden valmistuksessa aiheutetut päästöt. Akkujen takia sähköautojen valmistuksen elinkaariset päästöt ovat suuremmat kuin vastaavan kokoluokan polttomoottoriautojen (kuva 1). Euroopan ympäristöviraston sähköautojen elinkaariautoselvityksessä (EEA 2018b) keskimääräinen akkujen valmistuksen elinkaarinen päästö oli 111 kg CO₂-ekv./kWh. Romare ja Dahllöf (2017) arvioivat kuitenkin, että Aasiassa valmistettujen akkujen elinkaariset päästöt ovat 120-150 kg CO₂-ekv./kWh. Selvityksessä päädyttiin siihen, että noin puolet akkujen päästöistä syntyy valmistuksessa käytetystä sähköstä.

Puhtaan liikkumisen järjestö (ICCT 2018) ennustaa, että sähkön tuotannon päästökerroin pienenee suurimassa osassa akkuja valmistavissa maissa yli 30 % vuoteen 2030 mennessä, minkä merkitsi päästöjen vähentymistä 17 % akkujen valmistuksessa. Jos sähkö tehdään päästöttömästi, akkujen päästöt per kWh tipahtavat puolella.

Kun akkujen käytöstä luovutaan, niissä on tyypillisesti jäljellä vielä 70-80 % varauskapasiteetista. ICCT (2018) nostaa esille akkujen "toisen elämän" esimerkiksi uusiutuvien energialähteillä tuotetun sähkön varastona. Varastoinnin avulla vältetyt fossiiliperäiset energiapäästöt vähentävät myös tällä tavalla akkujen valmistuksen päästöjä. ICCT (2018) on esittänyt, että tämä hyvitys voisi olla useita kymmeniä prosentteja alkuperäisen akun valmistuksen päästöistä.

Sähköautojen yleistymisen myötä akkujen kierrätystoiminta paranee ja siihen liittyvä teknologia kehittyi siten, että akkujen raaka-aineesta saada yhä paremmin pienetkin määrät talteen. Romare ja Dahllöf (2017) ovat arvioineet, että tehostunut kierrätys pienetää akkujen elinkaarisia päästöjä 7-17 %.

Akkuteknologian uskotaan kehittyvän siten, että akuissa 50 % suurempi energiatiheys tullaan saavuttamaan kenties alle 10 vuodessa. Lisäksi akkujen käyttöikä tulee kasvamaan (ICCT 2018).

Akkuihin liittyvistä monista myönteisistä näkymistä huolimatta ongelmana on se, että akut vaativat runsaasti erikoismetalleja. Kaivostoiminta aiheuttaa monia ympäristöongelmia, jotka eivät liity ilmastomuutokseen (ks. EEA 2018b). Vaikka akkujen kierrätys tehostuu, uusien autojen tarpeen kautta neitseellisten metallirikasteiden määrä kasvaa valtavaksi.

Tietyistä metalleista kuten litiumista voi tulla akkujen valmistuksen niukkuusresurssi, joka rajoittaa sähköautojen maailmanvalloitusta. Tästä niukkuusriskistä huolimatta sähköautoihin on asetettu ilmastopolitiikassa suuret toiveet ja niiden skaalatuvuuspotentiaali on nähty suurimpana vähähiilisessä henkilöautoliikenteessä. Tämän toiveen täydellinen toteutuminen vaatii kuitenkin vielä akkuteknologiassa murroksen, jossa ei nojauduta niukkoihin materiaaliressursseihin.

Sähköautojen hankintahintojen odotetaan laskevan polttomoottoriautojen tasolle ensi vuosikymmenen jälkipuoliskolla. Halvempien polttoaine- ja huoltokulujen kautta autoilijalla on mahdollisuus kuitenkin saavuttaa sähköautoilla pienemmät autoilun kokonaiskustannukset jo nyt ajan kanssa.

Maakaasu ja biokaasu

Liikenne- ja viestintäministeriön ehdottama toimenpideohjelma linjaa kaasukäyttöisten henkilöautojen määräksi 130 000 vuonna 2030 ja 250 000 vuonna 2045 (LVM 2018). Kaasuautojen suosiminen ilmastopolitiikassa perustuu niiden mahdollisuuteen käyttää biokaasua. Maakaasua ja biokaasua käyttävät erikseen sitä varten valmistetut bi-fuel –autot, jotka voivat käyttää tarvittaessa myös bensiiniä. Myös bensiiniautot on mahdollista muuttaa jälkiasennuksen kautta kaasuautoiksi edullisesti.

Maakaasu on metaania, jolla saavutetaan noin 20 % pienempi kasvihuonekaasupäästö bensiiniin nähden, kun tarkastellaan vain suoria polton päästöjä. Ero pienenee selvästi, kun tarkastellaan maakaasun ja bensiinin elinkaarisia kasvihuonekaasupäästöjä (Ricardo 2016). Maakaasuun tuoteketjussa tapahtuu metaanivuotoja, joiden määrä heikentää maakaasun kasvihuonekaasutasetta. Suomessa myytävä maakaasu on peräisin Venäjältä, joiden tarkkoja häviöitä ei tunneta. Maakaasua on runsaasti saatavilla, mutta sen suuret päästöt eivät tee siitä vähähiilisen liikenteen ratkaisua.

Biokaasun päästövähennykset fossiiliseen polttoaineeseen nähden riippuvat tuotantotekniikasta ja raaka-aineen alkuperästä riippuen. RED-direktiivissä esitetyt vaihteluvälit biokaasun kasvihuonekaasuvähennyksiksi ovat biojätteelle 14-78 % ja lietelannalle 72-202 % (EU 2018). Lietelantapohjaisen biokaasun nettonegatiiviset päästöt johtuvat siitä, että toiminnalla estetään lannan metaanipäästöt.

Biokaasun määrää on mahdollista Suomessa moninkertaistaa nykyisestä. Mutikainen ym. (2016) ovat arvioineet teknistaloudellisen potentiaalin olevan 9,3 TWh, mikä riittäisi noin 1,5 miljoonan henkilöauton tarpeisiin. Osa tästä biokaasupotentiaalista olisi järkevää ohjata raskaan liikenteen käyttöön, jossa on muuten vaikea edetä sähköistämässä. Tämän takia biokaasun käyttöönottoon lisääminen henkilöautoissa on selvä osaratkaisu mentäessä kohti vähähiilistä liikennettä.

Etanoli

Etanolia käytetään seospolttoaineena jakeluasemilla myytävässä bensiinissä. 98 oktaanisessa 98E5-bensiinissä sitä on korkeintaan 5 % ja 95 oktaanisessa 95E10-bensiinissä korkeintaan 10 % (nykyisin noin 8%). Tämän etanolin alkuperä vaihtelee, mutta keskiönmääräisen etanoliseoksen tulee täyttää EU:n uusiutuvan energian edistämisdirektiivin (RED) (EU 2018) kasvihuonekaasupäästövähennys-kriteerit. Globaalissa mittakaavassa kestävä etanolin käytön määrän kasvua rajoittaa maatalouspohjaisen etanoliponttiaineiden kilpailu ruoantuotannosta.

Etanolin käytön lisäämisen esteenä bensiinissä on standardin puute. Tarvittaisiin standardit E20 tai E30, jotka määrittäisivät bensiinin laatuvaatimukset ja analysointimenetelmät siten, että bensiiniin voitaisiin lisätä enintään 20 % tai 30 % etanolia. Näitä ei ole kuitenkaan vielä tekeillä. Standardin lisäksi tarvittaisiin myös autot, jotka voisivat käyttää korkeampaa etanoliseosta. Nykyiset autot ovat suunniteltu 95E10-bensiinille. Edellä mainitusta syystä nykyisten bensiinihenkilöautojen päästöt eivät tule vähenemään biopolttoaineiden sekoitevelvoitteen kasvusta huolimatta (ks. kohta biodiesel), koska niissä käytettävä polttoainekoostumus säilyy käytännössä samana tulevaisuudessa.

Suomessa myydään erikseen korkeaseoksista etanolipolttoainetta (E85), joka sisältää 50-85 tilavuusprosenttia etanolia ja loput moottoribensiiniä. Tämä etanoli on toistaiseksi Suomessa pitkälti jätteepohjaista, jossa kasvihuonekaasupäästövähennykset ovat bensiiniin nähden parhaimmillaan jopa 85 %.

E85-polttoainetta voidaan käyttää ns. flexible fuel -autoissa, joissa voidaan käyttää normaalia bensiiniä vaihtoehtona. Tämän lisäksi useimpiin uudehkoihin bensiiniautoihin voidaan asentaa E85-muutosarja, jonka jälkeen bensiiniauto voi käyttää E85-polttoainetta. Suomessa on flexible fuel – ja etanolimuunnosautoja tällä hetkellä selvästi alle 10 000 (VIITE). Jätöpohjaisen bioraaka-ainepohjan potentiaalista ei ole olemassa arviota, mutta sen määrä on kuitenkin autokannan tarpeeseen nähden hyvin rajallinen.

Biodiesel

Dieselissä voidaan käyttää sekoitepolttoaineena enintään 7 % rasvahapon metyyliesteriä, joka sisältää happea. Tätä ns. FAME (=Fatty Acid Methyl Ester) –dieselkomponenttia voidaan valmistaa kasvirasvasta tai -öljystä. Tämän biodieselin mahdollisuudet dieselin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä ovat rajalliset vähäisestä sekoitemäärästä johtuen.

Parafiinista dieselöljyä voidaan käyttää dieselautoissa fossiilisen dieselöljyn tilalla ilman määrärajoitusta. Parafiiniin dieselöljyihin kuuluvat muun muassa Nesteen kehittämät uusiutuvat dieselpolttoaineet eli NexBTL-polttoaineet sekä UPM-Kymmenen mäntyöljypohjainen BioVerno -diesel.

Suomen tavoitteena on kasvattaa biopolttoaineiden energiasisällön osuutta 30 % jakelijan kulutukseen toimittamien moottoribensiinin, dieselöljyn ja biopolttoaineiden energiasisällön kokonaismäärästä vuoteen 2029 mennessä ja säilyttää tämä taso siitä eteenpäin (Eduskunta 2019). Parafiinisen biodieselin rooli tässä Suomen biopolttoaineiden sekoitevelvoitetavoitteessa on ratkaiseva, koska FAME-biodieselkomponentin ja bioetanolin lisäykset ovat liikenteessä rajalliset. Käytännössä tämä merkitsee noin 3 kertaa suurempaa parafiinisten biodieselkomponenttien määrää dieselin jakelussa vuonna 2029 kuin nyt.

Dieselä käytetään Suomessa tieliikenteessä selvästi enemmän kuin bensiiniä raskaan liikenteen tarpeen takia. Vuonna 2017 Tilastokeskuksen (2019) mukaan tieliikenteessä käytettiin 56 489 TJ bensiiniä, kun dieselin käyttö oli 106 636 TJ. Raskaan liikenteen sähköistyminen on hankalampaa kuin henkilöautokiinteessä, minkä takia ilmastokestävä biodiesel on yksi vartenotettava keino raskaalle liikenteelle siirtyä vähähiilisempään ajosuoritteeseen.

Koska parafiinisten biodieselin kestävä raaka-ainepohja on rajallinen ja sen käyttö pitäisi ohjautua eteenkin raskaan liikenteen käyttöön, siirtyminen pelkästään parafiinisten biodieselin käyttöön henkilöautoliikenteessä ei ole skaalatuva ratkaisu mentäessä kohti ilmastokestävää henkilöautoliikennettä.

Vety

Vetytalous on nähty yhtenä isona tulevaisuuden vähähiilisyiden ratkaisuna, joka odottaa kuitenkin vielä tuloaan. Vety sopii sähköautojen energialähteeksi. Sitä pystytään valmistamaan energian avulla vedestä, se toimii energiavarastona ja siinä raaka-aineet eivät tule pullonkaulaksi niin kuin akuilla. Energiakäytöstä syntyy epäpuhtauksien sijasta vettä.

Ensimmäiset sarjavalmitteiset vetyautot ovat markkinoilla, mutta niiden hinta on vielä kaukana akkusähköautoista. Vedyn laajamittaisemman liikennekäytön esteenä ovat kuitenkin vedyn tuottamisen ja jakelun korkeat kustannukset. Vedyn jakeluun pitäisi rakentaa kokonaan uusi infra ja vety on helposti karkaavana aineena haasteellinen käsitellä.

Power to x

Power-to-x-teknologia on kehitystyön alla oleva teknologia, jolla voidaan valmistaa synteettistä, fossiilisia polttoaineita korvaavaa polttoainetta. Raaka-aineiksi tarvitaan hiilidioksidia ilmasta, vetyä vedestä tai tyypeä ilmasta. Valmistusprosessi vaati runsaasti energiaa, joka tulisi toteuttaa täysin päästöttömästi. Lopputuotteina syntyvää metaania, metanolia ja dimetyylieetteriä voidaan käyttää nykyisten laivojen, kuorma-autojen ja henkilöautojen moottorissa.

Power-to-x –tekniikan ongelmana on vielä tuotteiden hinta. Jos kustannuksia saadaan riittävän alas, polttoaineella olisi valtava skaalautuvuuspotentiaali mentäessä kohti hiilineutraalia liikennettä. Nykyinen olemassa oleva ajoneuvokanta voitaisiin hyödyntää ja polttoaineiden jakelujärjestelmät ovat jo olemassa.

Kirjallisuus

EEA (European Environmental Agency) 2018a. CO2 emission intensity – electricity generation. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity>.

EEA (European Environmental Agency) 2018b. Overview of electricity production and use in Europe. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment-4>.

Eduskunta 2019. Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi biopolttoöljyn käytön edistämisestä, biopolttoaineiden käytön edistämisessä liikenteessä annetun lain muuttamisesta sekä biopolttoaineista ja bionesteistä annetun lain 2 §:n muuttamisesta. https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Mietinto/Sivut/TaVM_29+2018.aspx

Ellingsen, L. A.-W., Singh, B., Strømman, A.H. 2016. The size and range effect: Lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles. *Environmental Research Letters* 11(5):054010.

Energiateollisuus 2018. Energia-teollisuus: Sähkön ja kaukolämmön päästöt vähenevät arvioitua nopeammin – ennakoitava politiikka mahdollistaa ilmastotoimet. https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiateollisuus_sahkon_ja_kaukolammion_paastot_vahenevat_arvioitua_nopeammin_ennakoitava_politiikka_mahdollistaa_ilmastotoimet.html

EU 2018. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä.

ICCT (The International Council on Clean Transportation) 2018. Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions. Briefing Feb 28, www.theicct.org.

LVM (Liikenne- ja viestintäministeriö) 2018. Toimenpideohjelma hiilettömään liikenteeseen 2045. Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 13/2018. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-559-0>; <https://www.lvm.fi/uusimmat-julkaisut>

Marmioli, B., Messagie, M., Dotelli, D., Van Mierlo, D. 2018. Electricity Generation in LCA of Electric Vehicles: A Review. *Applied Science* (8) 1384. doi:10.3390/app808138.

Moro, A., Lonza, L. 2018. Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles. *Transportation Research Part D* 64 (2018) 5–14.

Mutikainen, M., Sormunen, K., Paavola, H., Haikonen, T., Väisänen, M. 2016. Ramboll Finland. Biokaasusta kasvua – Biokaasuliiketoiminnan ekosysteemien mahdollisuudet. Sitran selvityksiä 11/2016.

Ricardo 2016. The role of natural gas and biomethane in the transport sector. Final Report. Report for Transport and Environment (T&E). ED 61479, Issue Number 1, Date 16/02/2016

Romare, M., Dahllöf, L. 2017. The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries, IVL Swedish Environmental Research Institute, 2017. <http://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede9559/1496046218976/C243+The+life+cycle+energy+consumption+and+CO2+emissions+from+lithium+ion+batteries+.pdf>.

Stanaway, J. D., Afshin, A., Gakidou, E., Lim, S. S., Abate, D., Abate, K. H., Murray, C. J. L. 2018. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and

metabolic risks or clusters of risks for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Stu. The Lancet, 392(10159), 1923–1994.

Tilastokeskus 2019. Liikenteen energiankulutus.

https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2018/html/suom0004.htm