

# REKKALASKURIN KÄYTTÖOPAS JA LASKENNAN PERUSTEET – KUORMA-AUTOT JA PAKETTI-AUTOT

Heikki Liimatainen<sup>1</sup>, Riku Viri<sup>1</sup>, Joonas Munther<sup>2</sup>, Jyri Seppälä<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Tampereen yliopisto

<sup>2</sup> Suomen ympäristökeskus

<sup>3</sup> Suomen ilmastopaneeli

6.6.2023

## SISÄLTÖ

<b>1. TARKOITUS JA PERUSPERIAATTEET</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LÄHTÖTIEDOT JA KÄYTTÖLIITYNTÄ</b> .....	<b>2</b>
2.1. YLEISTÄ .....	2
2.2. AJONEUVOKOHTAISET TIEDOT .....	2
2.3. POLTTOAINETIEDOT .....	6
2.4. AJONEUVOJEN KULUTUSTIEDOT .....	9
2.5. LASKENNAN AJONEUVORIIPPUMATTOMAT OLETUSTIEDOT .....	10
2.6. LISÄTIEDOT JA ASETUKSET .....	13
<b>3. ANALYYSIN TULOS JA SEN TULKINTA</b> .....	<b>14</b>
<b>4. LASKENTAKAAVAT</b> .....	<b>16</b>
4.1. PÄÄSTÖJEN LASKENTAPERUSTEET .....	16
4.2. KUSTANNUSTEN LASKENTA .....	19
<b>5. LASKURIN KÄYTÖN LAAJENNUKSET</b> .....	<b>20</b>
5.1. HERKKYYSTARKASTELUT .....	20
5.2. BIODIESELIN JA BIOKAASUN ERILLISKÄYTÖN VAIKUTUSTEN ARVIOINTI .....	20
<b>KIRJALLISUUS</b> .....	<b>22</b>

## 1. TARKOITUS JA PERUSPERIAATTEET

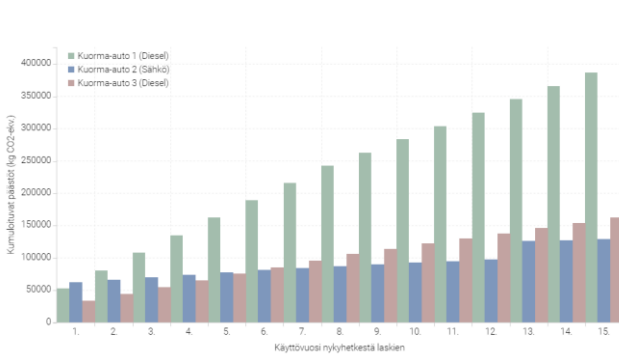
Rekkalaskuri on nettipohjainen laskuri, joka on tarkoitettu yritysten paketti- ja kuorma-autojen hankintapäätöksen tueksi. Laskuri tuo näkyviin eri käyttövoimiin perustuvien autovaihtoehtojen kumulatiiviset (kertyvät) koko elinkaaren kattavat kasvihuonekaasupäästöt ja kustannukset. Laskurin tarkoitus on tuoda esiin eri vaihtoehtojen ilmastovaikutukset, eikä laskurissa huomioida muita vaikutuksia ympäristöön. Käyttäjä voi asettaa 1–9 autovaihtoehtoa vertailtavaksi. Tulokset näytetään graafisesti vuosittain kumuloituvina päästöinä ja kustannuksina. 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 eri autovaihtoehtoihin annetut lähtötiedot, joita käyttäjä voi muuttaa vapaasti. 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.

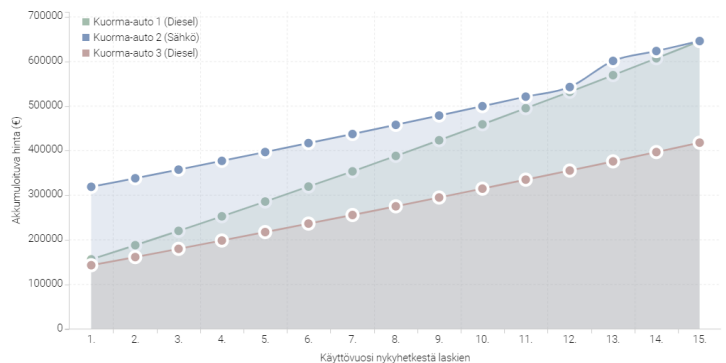
Rekkalaskuri koostuu seuraavista osa-alueista:

- Ajoneuvokohtaiset tiedot
- Ajoneuvon kulutustiedot
- Laskennan autovalinnasta riippumattomat oletustiedot
- Lisätiedot ja asetukset
- Lopputulos graafisesti esitettynä

*Kumulatiiviset päästöt (kg CO<sub>2</sub>e)*



*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

Käyttäjän laittaessa kursorin tekstin päälle, näytölle ilmestyy mahdollinen lisäteksti 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. Ajoneuvokohtaiset tiedot

Käyttäjä voi valita 1-9 vaihtoehtoista paketti- tai kuorma-autoa vertailtavaksi. Autojen määrää muutetaan painamalla käyttöliittymän  ja  -merkkejä.

Tärkeimmät syötettävät tiedot ovat auton tyyppi (pakettiauto, kuorma-auto, puliperävaunuyhdistelmä tai perävaunullinen yhdistelmä), käyttövoima, vuosittainen ajokilometrien määrä, lastattuna ajettujen kilometrien osuus, hankintahinta ja akuston koko. Nuolipainikkeen avulla avautuvat lisätiedot tarkentavat laskentaa, ja sitä kautta voi syöttää myös muita laskentaan vaikuttavia parametreja, kuten latauslaitteen hinnan, huoltokustannukset, ajoneuvon jäännösarvon ja muita lisäkuluja. Ajoneuvolle voi myös syöttää lempinimen, esimerkiksi sen todellisen merkin ja mallimerkinnän taulukon sarakeotsikon kohdalle.

Ajoneuvokohtaiset tiedot

	Ajoneuvo 1	Ajoneuvo 2
Tyyppi	Kuorma-auto <input type="button" value="v"/>	Kuorma-auto <input type="button" value="v"/>
Käyttövoima	Diesel <input type="button" value="v"/>	Sähkö <input type="button" value="v"/>
Kilometrejä vuodessa (km)	40000 km	40000 km
Massa tyhjänä (kg)	4800 kg	5920 kg
Massa lastattuna (kg)	16000 kg	16000 kg
Osuus ajosta lastattuna (%)	77 %	77 %
Hankintahinta (€)	125000 €	250000 €
Akuston koko (kWh)	0 kWh	300 kWh



Ensimmäisenä annetaan auton tyyppi, joka antaa lähtöoletukset auton hankinta- ja huoltokustannusten sekä valmistuksen ja käytön päästöjen arviointiin. Laskurissa auton kokoluokkia on neljä ja ne noudattelevat tyypillisiä kappaletavarakuljetuksissa käytettäviä autoja: pakettiauto (kokonaismassa 3,5 t), jakelukuorma-auto (16 t), puoliperävaunuyhdistelmä (44 t) ja perävaunullinen yhdistelmä (76 t).

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

*Kaasuauto* voi käyttää maa- tai biokaasua, minkä takia erillistä biokaasuauto-termiä ei käytetä käyttövoimavalinnassa.



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

Autojen massa tyhjänä ottaa huomioon akkujen massan, jolloin sähköautojen hyötykuorma on pienempi kuin polttomoottoriautojen

Eri käyttövoiman omaavien kuorma-autojen valmistuksen päästötiedot on arvioitu TU Delftin (Huisman 2018) ja TU Munichin (Wolff et al. 2020) perusteella, joissa molemmissa on taustalla EcoInvent-tietokanta EcoInvent 2022). Sähköautojen valmistuksen päästöt on laskettu erikseen ilman akustoa ja akuston valmistukselle, koska akun valmistuksen päästöt muodostavat valtaosa sähköauton valmistuksen päästöistä ja akun valmistuksen päästöt riippuvat täysin akuston koosta. Ilman akuston valmistuksen päästöjä sähköauton valmistuksen päästöt ovat noin 15–20 % polttomoottoriauton valmistuksen päästöjä pienemmät.

Ohjelma antaa valitun auton tyyppin ja käyttövoiman perusteella oletustiedot auton hankintahinnalle (€), kotilatauspisteelle (€) ja akuston koolle (kWh). Käyttäjä voi muuttaa näitä oletustietoja vastaamaan itse valitsemiaan vertailuautoja. Ajokilometrien oletukset on arvioitu Tieliikenteen tavarankuljetustilaston ja Kuorma-autoliikenteen kustannusindeksin (Tilastokeskus 2012) tietojen perusteella.

Painamalla -merkkiä saadaan näkyviin ajoneuvokohtaiset tarkentavat tiedot.

	Ajoneuvo 1	Ajoneuvo 2
Tyyppi	Kuorma-auto ▼	Kuorma-auto ▼
Käyttövoima	Diesel ▼	Sähkö ▼
Lukumäärä (kpl)	1 kpl	1 kpl
Kilometrejä vuodessa (km)	40000 km	40000 km
Massa tyhjänä (kg)	4800 kg	5920 kg
Massa lastattuna (kg)	16000 kg	16000 kg
Osuus ajosta lastattuna (%)	77 %	77 %
Hankintahinta (€)	125000 €	250000 €
Latauslaite (€)	0 €	50000 €
Ajoneuvovero* (€/vuosi)	800 €	800 €
Muut vuosittaiset kustannukset (€)	650 €	650 €
Jäännösarvo (€)	0 €	0 €
Valmistuksen päästöt (t CO2-ekv)	22.2 t	18.2 t
Päästöt huoltotoimista (kg CO2-ekv./1000km)	37.2 kg	18.6 kg
Kustannukset huoltotoimista (€/km)	0.18 €	0.11 €
Akuston koko (kWh)	0 kWh	300 kWh
Vaihtoväli akustolle (tkm)	0	500
Vaihtoakuston hinta (€/kWh)	0 €/kWh	200 €/kWh
Hyvityspäästö akustolle (kg CO2-ekv.)	0 kg	0 kg
Lisäkulut	A ▼ 	B ▼ 

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

Autotyyppiikohtainen *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 sisältyy alempana kohdassa "Kustannukset huoltotoimista (€/km)" esitettävään arvioon, joka perustuu VTT:n (2021) arvioihin huoltokustannuksista ja Palomäen (2013) arvioon rengaskustannuksista.

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 1 000 000 km. Todettakoon, että akuston vaihtoväli ei riipu pelkästään kilometreistä vaan myös latauskerroista. Kuorma-autojen litiumrautafosfaattiakuston eliniäksi on arvioitu 3000–7000 lataus sykliä (Nyqvist ja Olsson 2021; Mauler ym. 2022; Teichert ym. 2023), jolloin keskimääräinen ajosuorite olisi 143–333 km per lataus sykli. Käytännössä akkujen kesto vaihtelee muun muassa auton akuston koon, niiden jäähditys järjestelmien ja loppukäyttäjän omien lataustapojen perusteella. Akuston kapasiteetista voi olla hyvinkin jäljellä merkittävä osuus vielä 1 000 000 ajokilometrin jälkeen. Asiaa kannattaa myös tiedustella auton myyjiltä.

Hyvityspäästö akuston poistolle tarkoittaa tilannetta, jossa vanhat akut toimitetaan jatko-ohjelmien käyttöön ja tällä toiminnalla saavutetaan päästöhyötyjä. Nyt hankittavan sähköauton tullessa elinkaarensa päähän on selvää, että akuston kierrätysmahdollisuudet ovat hyvät. Akkujen toisiokäyttö myös yleistyy (esim. niitä tullaan käyttämään aurinkopaneelien sähkövarastoina), millä pystytään välttämään fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Hajautetun energiajärjestelmän varastointikäytön jälkeen akun raaka-aineet todennäköisesti saadaan talteen. EU-lainsäädännössä on tarkat reunaehdot kierrättämiselle. Hyvityspäästön arviointiin liittyy suurta epävarmuutta, mutta liitteen tietoihin perustuen tässä yhteydessä käytetään hyvityspäästön oletustietona maltillisesti 20 % alkuperäisen akuston päästöstä (Bieker 2021). Hyvityspäästö vähentää ko. määrällä auton koko elinkaaren aikaista päästömäärää.

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 kierrätys- ja hyvitykset on otettu auton valmistuksen päästöissä huomioon muiden materiaalien kuin akustojen osalta (EEA 2018).

Lähtökohtana on, että käyttäjä itse tallentaa tarkat vertailun kohteena olevat autojen hankintahinnat. Laskurissa on oletusarvoina kokoluokittain ja käyttövoimittain suuntaa-antavia oletustietoja. Kaasukuorma-autojen hintalisä dieseliin verrattuna on arvioitu 1,3-kertaiseksi pakettiautoille ja jakelukuorma-autoille (CNG) ja 1,4-kertaiseksi ajoneuvoyhdistelmille (LNG). Ladattavien hybridien hintalisä on arvioitu 2-kertaiseksi ja sähkökuorma-auton 2,5-kertaiseksi. Hankintahinnat on arvioitu perustuen useisiin lähteisiin. Pakettiautojen hankintahintoja on tarkasteltu autokauppojen hinnastoista. Kuorma-autojen osalta lähteinä on käytetty VTT:n (2021a) arvioita sekä tutkimusartikkeleja (Nyqvist ja Olsson 2021, Guerrero ym. 2020, Gunawan ja Monaghan 2022, Mauler ym. 2022, ITF 2022). Tutkimusartikkeleissa on tyypillisesti käsitelty puoliperävaunuyhdistelmiä, joten tieto jakelukuorma-autojen ja täysperävaunuyhdistelmien tilanteesta on arvioitu näiden pohjalta. Sähkökuorma-autojen hankintahinnan osalta on otettava huomioon, että tutkimuskirjallisuudessa hintaero diesel-vaihtoehtoon on yleensä alle 2-kertainen, mutta todellinen hankintahinta voi olla huomattavasti yli 2-kertainen, koska sähkökuorma-autojen tuotantomäärät ovat vielä pieniä ja kysyntä on todennäköisesti huomattavasti tarjontaa suurempaa (IEA 2022).

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 CO<sub>2</sub>-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.

### 2.3. Polttoainetiedot

Laskurissa on oletustietona syksyn 2022 polttoaineiden hintatiedot. Käyttäjä on vapaa muuttamaan näitä hintoja päivän hintatilanteen mukaan.

## Polttoaineiden ominaisuudet

	Diesel	Biodiesel	Maakaasu	Biokaasu	Sähkö
Hinta	2.065	2.127	3.54	2.05	0.25
	€/l	€/l	€/kg	€/kg	€/kWh



Painamalla -merkkiä saadaan näkyviin taulukko päästökertoimien syöttämiseksi:

### Polttoainekohtaiset lisätarkenteet

Voit käyttää myös vaihtoehtoisia päästökertoimia. Esiasetetuissa kertoimissa polttoaineen poltosta seuraavat päästöt ovat erotettu polttoaineen valmistuksen elinkaarisista päästöistä. Molemmissa arvoissa käytetään yksikkönä kilogrammoja hiilidioksidia kunkin polttoaineen yhtä käyttöyksikköä kohden.

	Diesel	Biodiesel	Maakaasu	Biokaasu	Sähkö
Käyttöyksikkö	litra (l)	litra (l)	kg	kg	kWh
Suorat päästöt *	2.689	1.357	2.750	0.000	0.096
Valmistuksen ja hankinnan päästöt *	0.750	0.525	0.977	0.950	0.016
Vuotuinen hintakehitys (%)	2.000	1.500	1.500	1.500	1.500

\* (kg CO<sub>2</sub>-ekv/käyttöyksikkö)

Päivitä

Polttoaineiden suorat päästöt tarkoittavat eri polttoaineiden käytön aikaisia päästöjä per käyttöyksikkö. LCA-lisä tarkoittaa polttoaineiden raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen kasvihuonekaasupäästöjä (kg CO<sub>2</sub>-ekv/käyttöyksikkö). Tässä yhteydessä bensiinin ja dieselin päästökertoimissa ei ole mukana jakeluasemilla myytävien polttoaineiden biokomponenttipäästövaikutusta. Se lasketaan erikseen laskurissa polttoaineiden sekoitusuhteen 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, jossa on mukana biodiesel jakeluvelvoitteen osoittamalla biokomponenttimäärä. 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 biodieseliä määrät ovat globaalisti rajalliset. Suomen bensiinin ja dieselin biopolttoaineiden sekoitevelvoitteen nykyiset pelisäännöt johtavat tilanteeseen, jossa erillistankattulla biodieselillä ei saada systeemitasolla lisää päästövähennyksiä. Jos autoilija jättää tankkaamatta erillisbiodieseliä, niin vastaava määrä biopolttoainetta tulee joka tapauksessa lisätä jakeluun. Jos autoilija tankkaa biodieseliä, 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. kohdat 2.6 ja 5.2).

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 CO<sub>2</sub>-ekv./MJ (Nevalainen 2019). Tämä merkitsee 0,95 kg CO<sub>2</sub>-ekv./kg, jota on käytetty laskurin oletuspäästökertoimena biokaasulle. Tulevaisuudessa päästökerroin saattaa muuttua oletusarvosta muun muassa sen perusteella kuinka lantaa pystytään ohjaamaan biokaasun tuotantoon. Laskurissa biokaasun päästökertoimena on käytetty 0,93 kg CO<sub>2</sub>-ekv./kg.

Biokaasu on sisällytetty nykyisin jakeluvelvoitteeseen. Tämän takia erillistankattavan biokaasun päästöhyödyt eivät ohjaudu kaasuauton käyttäjälle täysimääräisesti. Erillistankattavan biokaasun päästö arvioidaan seuraavasti: tankattava biokaasun määrä kertaa biokaasun päästökerroin lisätyn päästöllä, joka syntyy, kun kyseisen vuoden jakeluvelvoitteen kaasun bio-osuuden ylittävä biokaasumäärä vähentää vastaavan energiamäärän dieseliä jaettavassa kaasussa (ks. laskentakaava luvussa 4.1). Päästövähennys maakaasuun nähden kasvaa ajan myötä, kun jaettavan polttoaineen biokomponentin määrä kasvaa jakeluvelvoitteen bio-osuuden kasvun myötä.

Sähkön elinkaariset päästökertoimet edustavat Suomessa tuotetun sähkön tuotannon keskimääräistä päästökerrointa. Mukana eivät ole siis tuonin sähkön osuuden vaikutusta päästökertoimiin. Tuonin sähkön elinkaariset päästötiedot ovat todennäköisesti Suomessa tuotettua sähkön elinkaarisia päästökertoimia pienempiä, sillä yli 70 % sähköstä on tullut viime vuosina Pohjoismaista (Energiateollisuus 2019) ja jatkossa sähkön oletetaan tulevanmuualta kuin Venäjältä. Esimerkiksi Ruotsin sähkön tuotannon elinkaarinen päästökerroin oli vuonna 2013 noin 2,5 kertaa pienempi kuin Suomessa tuotetun sähkön päästökerroin (Moro ja Lonza 2018).

Sähkön käytön päästölaskelmien lähtötilanteen oletustietona on käytetty tuotannon suoraa ominaispäästöä päästökerrointa, mikä vastaa Fingridin ylläpitämää kotimaisen sähköntuotannon keskiarvopäästökerrointa vuonna 2021. Se on määritelty yhdessä Tilastokeskuksen ja Energiateollisuus ry:n kanssa. Suomessa tuotetun sähkön päästökertoimien kesiarvo on ollut tuolloin 81 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh (Fingrid 2022). Suomen sähkön raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen päästökerroin on arvioitu olevan Moron ja Lonzan (2018) julkaisun perusteella olevan 16 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh. Tieto edustaa vuoden 2014 tilannetta, minkä takia sen voidaan olettaa olleen hieman pienempi vuonna 2021.

Sähkön ominaispäästön kehitys Lehtilän ym. 2021 politiikkaskenaarion (WAM) arvion mukaan on nopeaa. Sen mukaan vuonna 2030 suorien päästöjen ominaispäästö on jo alle 10 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh. Tässä yhteydessä laskurin oletusskenaariossa muutos tapahtuu hieman hitaammin siten, että sähkön tuotannon ominaispäästö

pienenee vuoden 2023 arvosta 80 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh lineaarisesti arvoon 10 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh vuoteen 2035 mennessä. Sen jälkeen se pienenee vuoteen 2040 mennessä arvoon 5 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh, jolle tasolle se jää mentäessä ajassa eteenpäin. Muiden sähkön tuotannon elinaaristen vaiheiden ominaispäästöt kehittyvät vuoden 2023 arvosta 15 g CO<sub>2</sub>/ekv./kWh arvoon 10 g CO<sub>2</sub>/ekv./kWh vuoteen 2035 mennessä, jolle tasolle ne jäävät.

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

#### **2.4. Ajoneuvojen kulutustiedot**

Käyttäjällä on mahdollisuus täyttää erilaisia energiankulutustietoja ajettua sataa kilometriä kohti. Oletuksena on, että käyttäjän syöttämät tiedot vastaavat varsinaista kulutusta. Jos käyttäjällä on jo auto, josta saa ajotietokoneen kulutusarvoja, niitä on hyvä käyttää laskennan pohjaksi. Kulutuslukemia on arvioitu samojen lähteiden perusteella kuin hankintahintoja ja lisäksi Tampereen yliopiston kehittämien kulutusfunktioiden avulla (Liimatainen ja Pöllänen 2011, Jahangir Samet ym. 2021).

Kuorma-auton kokonaismassalla on suuri vaikutus energiankulutukseen, joten kulutukset ilmoitetaan sekä tyhjänä että lastattuna. Tyhjänä ajon osuudeksi on arvioitu Tieliikenteen tavarankuljetustilaston perusteella 23 % ajokilometreistä. Lastatun kulutukset on arvioitu lähes täyteen lastatulle autolle.

## Ajoneuvon kulutus

?

Kulutus sataa kilometriä kohden (per käyttöyksikkö), tyhjänä ja lastattuna. Mikäli et ole syöttänyt arvoa, kulutuksen arvo skaalautuu ajoneuvon massan mukaan.

### Kulutus tyhjänä

	Diesel l	Biodiesel l	Maakaasu kg	Biokaasu kg	Sähkö kWh
Ajoneuvo 1	14.1	0	0	0	0
Ajoneuvo 2	0	0	0	0	67
Ajoneuvo 3	8.4	0	0	0	0

### Kulutus lastattuna

	Diesel l	Biodiesel l	Maakaasu kg	Biokaasu kg	Sähkö kWh
Ajoneuvo 1	27.4	0	0	0	0
Ajoneuvo 2	0	0	0	0	85
Ajoneuvo 3	8.4	0	0	0	0

## 2.5. Laskennan ajoneuvoriippumattomat oletustiedot

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

### Käyttöliittymä

Tietojen automaattinen esitäyttö



Kuvaajan aikaväli



15



Vaihda kuvaajan tyyppiä

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 aikajän-teillä.

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 CO<sub>2</sub>-ekv./kWh) kehittyy kohdassa 2.4 esiteyllä tavalla perusskenaariossa, joka on oletustietona. Käyttäjä voi halutessaan tehdä oman päästökerroinskenaarion tallentamalla vuosittaiset arvot kullekin vuodelle asetuskohtassa.

### Talukko 1. Autkalkulaattorissa käytetyt polttoaineiden bio-osuuden kehitys tulevaisuudessa.

Uusi	Bensiini Etanoli %	Diesel Biodiesel %	Kaasu Biokaasu %	Myytävä polttoaine Bio-osuus %
2023	10,0	17	50	13,5
2024	10,0	36	76	28
2025	10,0	37	78	29
2026	10,0	37	78	29
2027	10,0	38,5	80	30
2028	10,0	39,5	80,5	31
2029	10,0	40,5	81	32
2030	10,0	42,8	83	34
.....	.....		.....	.....
2050	10,0	42,8	83	34

Fossiilisen bensiinin ja dieselin biopolttoaineiden osuuk-sien odotetaan kehittyvän Suomen tekemien jakeluvetoitelinjausten mukaisesti (Eduskunta 2022). Lain mukaan bensiinin ja dieselin yhteenlasketussa jakelumäärässä tulee täytyä biopolttoaineiden energiasisältöä kuvaava jakelumääräprosenttiosuus. Lähtökohtana 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 10 % etanolia). Taustalla on oletus, ettei uutta bensiinistandardia E20 tule markkinoille. Dieselin ja biokaasun bio-osuudet on ekstrapoloitu Tieliikenteen vähähiilisyystekartan WAM-skenaariossa esitettyjen lukujen perusteella vuoteen 2030 (VTT 2021b), minkä jälkeen jakeluvetoitteen bio-osuudet säilyvät samoina (Taulukko 1).

Asetuskohtassa on erikseen mahdollisuus antaa biodieselin biokomponentin elinkaarinen päästökerroin (kg CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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 <sub>2</sub> -ekv/l)	0,9009
Dieselin biokomponentin elinkaarinen päästökerroin (kg CO <sub>2</sub> -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 <sub>2</sub> -ekv/kWh)	115
Uuden akuston vuosittainen hinnan alenema (%)	4
Akuston valmistuksen päästökertoimen vuosikehitys (%)	3,35
Korkotaso sidotulle pääomalle (%)	2

Auton sähkövoima-akuston oletuspäästökerroin kuvaa akun raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä. Päästökerroin vaihtelee suuresti eri tutkimustulosten välillä (ICCT 2018). Suurena selittävänä 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 (Bieker 2021

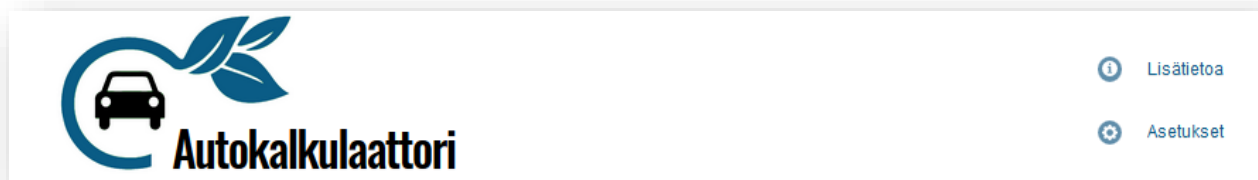
ja Green NCAP 2022), joka on vain 760 kg CO<sub>2</sub>-ekv./kWh (ks. lähemmin Autokalkulaattorin käyttöopas Seppälä ym. 2023).

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 %.

## 2.6. Lisätiedot ja asetukset

Rekkalaskurin 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.




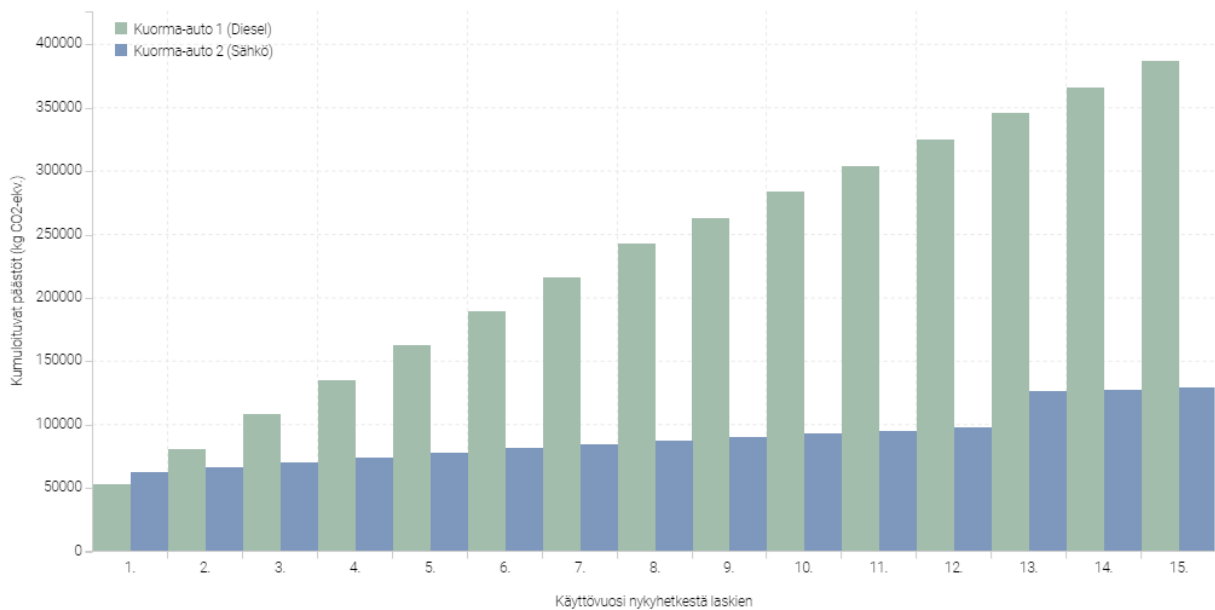
### 3. ANALYYSIN TULOS JA SEN TULKINTA

Analyysin 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 kasviuonekaasupäästöt 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.


Ajoneuvojen elinkaariset päästöt (kg CO<sub>2</sub>-ekv.)

 Asetukset



Päästöt

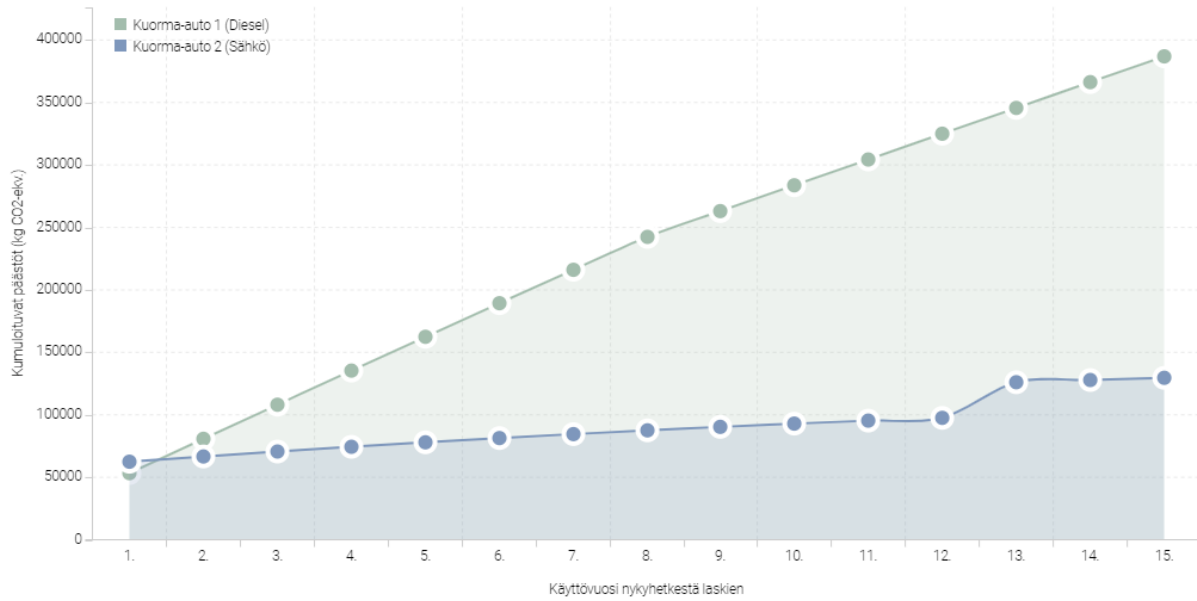
Kustannukset

Vaihda kuvaajan tyyppiä 

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 CO<sub>2</sub>-ekv.)


 Asetukset



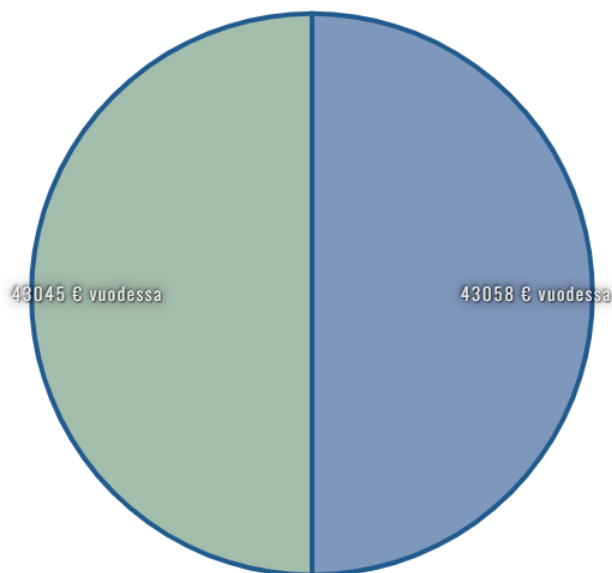
Päästöt      Kustannukset       Vaihda kuvaajan tyyppiä

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 kustannukset (15 vuoden ajalta)

 Asetukset

■ Kuorma-auto 1 (Diesel)  
■ Kuorma-auto 2 (Sähkö)



Pitoaika

Päästöt      **Kustannukset**       Vaihda kuvaajan tyyppiä

## 4. LASKENTAKAAVAT

Luvun 4 päästöjen ja laskentakaavat perustuvat autokalkulaattorin tietoihin (Seppälä ym. 2023).

### 4.1. Päästöjen laskentaperusteet

Eri käyttövoiman omaavien kuorma-autojen valmistuksen päästötiedot on arvioitu TU Delftin (Huisman 2018) ja TU Munichin (Wolff et al. 2020) perusteella, joissa molemmissa on taustalla Ecolnvent-tietokanta (Ecolnvent 2022). 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.

#### Elinkaaripäästöjen arviointi

Kunkin autovaihtoehdon päästöt  $n$  käyttövuoden jälkeen lasketaan seuraavasti:

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

missä

- $KP_n(a)$  = autovaihtoehdon  $a$  kasvihuonekaasupäästöt hiilidioksidiekvivalenttina  $n$  käyttövuoden jälkeen (kg CO<sub>2</sub>-ekv.)
- $\text{AutoVP}(a)$  = autovaihtoehdon  $a$  raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen sekä itse auton valmistamisen päästöt (kg CO<sub>2</sub>-ekv.)
- $\text{AkkuVP}(a)$  = auton  $a$  sähkövoima-akun raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen sekä itse akuston valmistuksen päästöt (kg CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-ekv.)
- $\text{AkkuH}(a)$  = auton  $a$  sähkövoima-akun hylkäyksen jälkeisen hyötykäytön aiheuttama päästöhyvitys (negatiivinen päästö, kg CO<sub>2</sub>-ekv.)
- $\text{HP}_n(a)$  = autovaihtoehdon  $a$  huoltotoimien päästöt  $n$  käyttövuoden jälkeen (kg CO<sub>2</sub>-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:

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

#### 95E10-bensiinipolttoaineen käytön päästöt

Henkilöauton  $a$  95E10 -bensiinin käytön päästöt (kg CO<sub>2</sub>-ekv) kullekin vuodelle  $i$  lasketaan seuraavasti:

$$PP_{95E10_i}(a) = [(SBP+VBP) * (1-SB_i) + (SEP_i+VEP_i) * SB_i] * VA * K_{95E10}(a) / 100 \quad (3)$$

missä

- $PP_{95E10_i}(a)$  = auton  $a$  95E10-bensiinipolttoaineen käytön päästö vuonna  $i$
- $SBP$  = bensiinin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO<sub>2</sub>-ekv/litra)
- $VBP$  = bensiinin elinkaarinen päästökerroin öljyn hankinnasta jakeluun (kg CO<sub>2</sub>-ekv/litra)
- $SB_i$  = jakeluvaihtoehdon biopolttoaineen (etanolin) osuus (%) vuonna  $i$
- $SEP_i$  = etanolin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO<sub>2</sub>-ekv/litra) vuonna  $i$

$VEP_i$  = etanolin elinkaarinen päästökerroin raaka-aineiden hankinnasta jakeluun (kg CO<sub>2</sub>-ekv/litra) vuonna  $i$   
 $VA$  = vuosittainen ajokilometrimäärä (km)  
 $K95E10(a)$  = auton a 95E10-bensiinin kulutus per 100 km (sisältää etanolin jakeluelvoiteosuuden)

Yhtälössä 3 bensiinin SBP ja VBP arvot saadaan suoraan autokalkulaattorin oletusarvoista, jotka näkyvät käyttäjälle (näkyvä sivulla 8). Niiden oletetaan pysyvän vakiona ajassa eteenpäin. Samassa yhteydessä esitetty etanolin päästökerroin (SEP+VEP) vastaa etanolin oletuspäästökerrointa, jossa etanolilla saa 70 % päästövähennyksen bensiinin elinkaarisiin päästöihin nähden. 95E10-polttoaineseoksena olevan etanolin päästövähennyksen oletetaan säilyvän tulevaisuudessa myös 70 %:ssa.

### Dieselin ja biodieselin käytön päästöt

Dieselauton käytön päästöt vuosittain lasketaan vastaavalla yhtälöllä kuin 3 ( $PPD_i(a)$ ), 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 ilman jakeluelvoitevaikutusta voidaan laskea kohdassa 5.2.2 esitetyllä tavalla.

### Bensiini- ja dieselhybridien polttoaineiden käytön päästöt

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

### E85-etanolipolttoaineen päästövaikutukset

Kohdan 2.5 mukaisesti E85-etanolipolttoaineen erillistankkauksen päästövaikutus syntyy seuraavien laskentavaiheiden kautta. Ensin lasketaan E85-polttoaineen päästö käytetyllä litramäärällä yhtälön 3 mukaisesti ( $PPE85_i(a)$ ). Etanoliosuus E85:ssä on arvioitu olevan 80 %. E85:n etanolin käyttö saa aikaiseksi 80 % vähennyksen bensiinin elinkaariaikaisiin päästöihin eli  $SEP+VEP = 0,2 \cdot (21/32) \cdot (SBP+VBP)$ , missä (21/32) on etanolin ja bensiinin energiasisältöjen suhdeluku polttoainelitraa kohti.

Toisena vaiheena E85-tapauksessa lasketaan päästölisä, joka tulee ylimääräisen etanolin syrjäyttäessä biodieselin käyttöä dieselin yhteydessä eli se määrä etanolia, joka tietyssä vuotena  $i$  biopolttoaineen jakeluelvoitteen prosenttien yli menevä etanolimäärä vähentää sen verran biodieselin käyttöä. Tämä biodieselin syrjäyttämisen päästölisä,  $PLBD_i(a)$  lasketaan yhteen E85 aiheuttaman päästön ( $PPE85_i(a)$ ) kanssa, jolloin autolle a saadaan E85-käytön kokonaispäästövaikutus kunakin vuonna  $i$  ( $KPPE85_i(a)$ ) eli

$$KPPE85_i(a) = PPE85_i(a) + PLBD_i(a) = PPE85_i(a) + SMFD_i(a) \cdot [(SFDP+VFDP) - (SDP_i+VDP_i)] \quad (4)$$

missä

$PPE85_i(a)$  = auto a E85-etanolipolttoaineen käytön ( $VA \cdot KE85(a)$ ) päästö vuonna  $i$   
 $SMFD_i(a)$  = auton a E85-käytöstä aiheutuva fossiilisen dieselin lisäys dieselin jakeluelvoitemäärässä vuonna  $i$   
 $SFDP$  = fossiilisen dieselin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO<sub>2</sub>-ekv/litra)  
 $VFDP$  = fossiilisen dieselin elinkaarinen päästökerroin biodieselin hankinnasta jakeluun (kg CO<sub>2</sub>-ekv/litra)  
 $SDP_i$  = jakeluelvoitteessa olevan dieselin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO<sub>2</sub>-ekv/litra) vuonna  $i$   
 $VDP_i$  = jakeluelvoitteessa olevan dieselin elinkaarinen päästökerroin biodieselin hankinnasta jakeluun (kg CO<sub>2</sub>-ekv/litra) vuonna  $i$   
 $VA$  = vuosittainen ajokilometrimäärä (km)  
 $KE85(a)$  = auton a E85-etanolin kulutus per 100 km

Yhtälössä (4) SMFD saadaan laskettua ensin E85:ssä olevan bensiinin ja etanolin energiamäärät litrassa. Bensiinin energiamäärä  $BE = 32 \cdot (1 - 0,80) = 6,86$  MJ ja etanolin energiamäärä  $EE = 21 \cdot 0,80 = 16,8$  MJ. Laskennassa on siis oletettu, että E85-litrassa on tilavuudeltaan 80 % etanolia ja loput bensiiniä. Prosentuaalisesti yhdessä RE85-litrassa on siis bensiinin energiaa 28 % ja etanolin 72 %. Kunakin vuonna  $i$  jakeluvaihteen mukaisesti bio-osuuden pitäisi olla jaettavasta polttoaineesta  $X_i$ %. Ylimenevä etanolimäärä  $(EE - (BE + EE) \cdot X_i)$  auton  $a$  tankattavasta E85-etanolimäärästä  $VA \cdot KE85$ ) aiheuttaa fossiilisen dieselin tankkauslisän seuraavasti:

$$SMFD_i(a) = ((EE - (BE + EE) \cdot X_i) / X_i) \cdot VA \cdot KE85(a) \cdot 23,2 / 36 \quad (5)$$

jossa 36 on dieselin energiamäärä (MJ/l) ja 23,2 on E85:n energiamäärä (MJ/l)

### Kaasuauton polttoaineiden käytön päästöt

Kaasuauton  $ka$  polttoaineiden käytön kokonaispäästöt lasketaan 100 kilometriä kohden käytettävien maakaasun, biokaasun ja bensiinin määrien perusteella:

$$KPPi(ka) = [(SPMK + VPMK) \cdot KMK(ka) + KPPBK_i(ka) + (SP95E \cdot VP95E) \cdot K95E(ka)] \cdot VA / 100 \quad (6)$$

missä

SPMK = maakaasun palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO<sub>2</sub>-ekv/kg)  
 VPMK = maakaasun elinkaarinen päästökerroin kaasun hankinnasta jakeluun (kg CO<sub>2</sub>-ekv/kg)  
 KMK( $ka$ ) = kaasuauton  $ka$  maakaasun kulutus (kg) 100 kilometriä kohti  
 KPPBK <sub>$i$</sub> ( $ka$ ) = kaasuauton  $ka$  biokaasun käytön kokonaispäästövaikutukset vuonna  $i$   
 SP95E = 95E-bensiinin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO<sub>2</sub>-ekv/litra)  
 VP95E = 95E-bensiinin elinkaarinen päästökerroin öljyn hankinnasta jakeluun (kg CO<sub>2</sub>-ekv/litra)  
 K95E( $ka$ ) = auton  $ka$  95-bensiinin kulutus (l) 100 kilometriä kohti  
 VA = vuosittainen ajokilometrimäärä (km)

Biokaasu kuuluu nykyisin jakeluvaihteen piiriin. Sen takia sen käytön kokonaisvaikutukset muodostuvat biokaasun käytön päästöistä ja biovaihteen ylittävän biokaasumäärän epäsuorasta päästolisästä, joka syntyy, kun ko. biokaasumäärä vähentää jaettavan dieselin biodieselosuutta. Maakaasun käyttö on niin pientä tieliikenteessä, että muutoksen oletetaan tapahtuvan jaettavassa biodieselin määrässä. Kaasuauton  $ka$  biokaasun kokonaispäästövaikutusten (KPPBK <sub>$i$</sub> ( $ka$ )) kunakin vuonna  $i$  laskenta tehdään seuraavasti vastaavalla tavalla kuin E85-etanolin yhteydessä (yhtälö 4) eli

$$KPPBK_i(ka) = PPBK_i(ka) + PLBD_i(ka) = PPBK_i(ka) + SMFD_i(a) \cdot [(SFDP + VFDP) - (SDP_i + VDP_i)] \quad (7)$$

missä

PPBK <sub>$i$</sub> ( $ka$ ) = auton  $ka$  biokaasun käytön ( $VA \cdot KPK(ka)$ ) päästö vuonna  $i$   
 PLBD <sub>$i$</sub> ( $ka$ ) = biodieselin syrjäyttämisen päästolisä auton  $ka$  käyttämästä biokaasusta vuonna  $i$   
 SMFD <sub>$i$</sub> ( $a$ ) = auton  $ka$  biokaasun käytöstä aiheutuva fossiilisen dieselin lisäys dieselin jakeluvaihtemäärässä vuonna  $i$   
 SFDP = fossiilisen dieselin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO<sub>2</sub>-ekv./litra)  
 VFDP = fossiilisen dieselin elinkaarinen päästökerroin biodieselin hankinnasta jakeluun (kg CO<sub>2</sub>-ekv./litra)  
 SDP <sub>$i$</sub>  = jakeluvaihteessa olevan dieselin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO<sub>2</sub>-ekv./litra) vuonna  $i$   
 VDP <sub>$i$</sub>  = jakeluvaihteessa olevan dieselin elinkaarinen päästökerroin biodieselin hankinnasta jakeluun (kg CO<sub>2</sub>-ekv./litra) vuonna  $i$   
 VA = vuosittainen ajokilometrimäärä (km)  
 KBK( $a$ ) = auton  $a$  biokaasun kulutus kg per 100 km

Tekijä SMFD <sub>$i$</sub> ( $a$ ) lasketaan yhtälöllä (5) muuten paitsi energiamuunnos (21/36) korvataan biokaasun ja dieselin välisellä suhteella (50/36), jolloin biokaasun kulutus kilogrammoissa muutetaan diesellitroiksi.

## 4.2. Kustannusten laskenta

Auton kumulatiiviset kustannukset sisältävät auton hankintakustannuksen 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

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

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:

$$KK_n(h) = INV - J + AV + \sum_{i=1}^n (W_{t,i}K_i + W_{c,i}K_i + M_i + AJV_i + r^i * (INV - J)) \quad (9)$$

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:

$$KK_n(a) = INV - J + AV + \sum_{i=1}^n (W_{t,i}K_i + M_i + AJV_i + r^i * (INV - J)) \quad (10)$$

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

Luvun 5 sisältö perustuu autokalkulaattorin dokumenttiin (Seppälä ym. 2023).

### 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 CO<sub>2</sub>-ekv./kWh), hiilellä ( $1390=1029+361$ ) g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh) tai Euroopan sähkön keskimääräisellä päästökertoimella ( $351 = 296 + 45$  g CO<sub>2</sub>-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 – 100 kg CO<sub>2</sub>-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 biokaasun erilliskäytön vaikutusten arviointi

Laskurissa lasketaan oletuksena biodieselin, biokaasun ja etanolin (E85) erilliskäytön päästövaikutus systeemitasolla, jossa biopolttoaineiden elinkaaristen päästöjen lisäksi niiden päästöihin lisätään jakeluvaihtoehtojen palauttama päästölisa (jakeluvaihtoehtojen luvut on esitetty kohdassa 2.6). Asiaa on selvennetty tarkemmin autokalkulaattorin käyttöohjeessa (Seppälä ym. 2023). Mikäli käyttäjä haluaa nähdä ko. polttoaineiden laskennallisen päästön ilman jakeluvaihtoehtojen vaikutusta, käyttäjällä on mahdollisuus asettaa tämä systeemitason laskentaoletus pois päältä (liukurin arvo muutetaan arvoon 0 %), jolloin laskenta käyttää ainoastaan biopolttoaineiden valmistuksen elinkaarisia päästökertoimia.

Polttoaineiden jakeluvoitteen palauttamien päästöt (avaa klikkaamalla)

Erillistankattavien biopolttoaineiden jakeluvoitteen palauttamien päästöt.	kg CO <sub>2</sub> /käyttöyksikkö			Jakeluvoite (%)
	Etanoli	Biodiesel	Biokaasu	
Vuosi				
2023	0.907	2.380	3.305	13.5
2024	0.640	1.981	2.751	28
2025	0.640	1.981	2.751	29
2026	0.622	1.953	2.713	29
2027	0.603	1.926	2.675	30
2028	0.585	1.898	2.637	31
2029	0.567	1.871	2.598	32
2030	0.530	1.816	2.522	34
...	...	...	...	...
2050	0.530	1.816	2.522	34

Huomioitava osuus (%):

100



## KIRJALLISUUS

Bieker, G. 2021 A global comparison of the life-cycle greenhouse gas emissions of combustion engine and electric cars. White paper. International council on clean transportation (ICCT).

Ecoinvent 2022. ecoinvent Database. <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/>

Energiatoteollisuus 2019. Sähkötillastot. <https://energia.fi/julkaisut/tilastot/sahkotillastot>

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](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.

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>

Guerrero, A. et al. 2020. Projecting adoption of truck powertrain technologies and CO2 emissions in line-haul networks. Transportation research part D, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102354>

Gunawan, T. & Monaghan, R. 2022. Techno-econo-environmental comparisons of zero- and low-emission heavy-duty trucks. Applied Energy, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118327>

Green NCAP 2022. Estimated Greenhouse Gas Emissions and Primary Energy Demand of Passenger Vehicles – 2nd edition. Life cycle methodology and data. Green NCAP, Switzerland.

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.

Liimatainen, H. & Pöllänen, M. 2010. Trends of energy efficiency in Finnish road freight transport 1995–2009 and forecast to 2016. Energy Policy, 38, 12, 7676-7686, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.08.010>

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](https://energia.fi/files/1224/Selvitys_sahko-ja_maakaasuinfrastruktuurin_energiatehokkuuden_parantamismahdollisuuksista_2015.pdf).

Huisman, M. 2018. Electric trucks: wishful thinking or the real deal. The potential of electric tractor-trailers as a means of CO2 reduction in the Netherlands by 2030. Master's thesis. TU Delft. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:ec7af087-834b-4e50-a07d-1fd881167666/datastream/OBJ/download>

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](http://www.theicct.org).

IEA 2022. Trends in electric heavy-duty vehicles. Global EV Outlook 2022. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022/trends-in-electric-heavy-duty-vehicles>

ITF 2022. Decarbonising Europe's Trucks - How to Minimise Cost Uncertainty. International Transport Forum.

- Jahangir Samet, M. et al. 2021. Road freight transport electrification potential by using battery electric trucks in Finland and Switzerland. *Energies* 14 (4), 823, <https://doi.org/10.3390/en14040823>
- Lutsey, N. 2017. Integrating electric vehicles within U.S. and European efficiency regulation Working paper 07. ICCT (The International Council on Clean Transportation).
- Mauler, L. et al. 2022. Cost-effective technology choice in a decarbonized and diversified long-haul truck transportation sector: A U.S. case study. *Journal of energy storage*, <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103891>
- 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.
- Nyqvist, B., Olsson, O. 2021. The feasibility of heavy battery electric trucks. *Joule*, 5, 901-913. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.03.007>
- Palomäki, J.-M. 2013. Kuljetuskustannusten laskentasovellus. Opinnäytetyö. Jyväskylä ammattikorkeakoulu.
- 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+ener+gy+consumption+and+CO2+emissions+from+lithium+ion+batteries+.pdf>.
- Seppälä, J., Münther, J., Viri, R., Liimatainen, H., Weaver, H., Ollikainen, M. 2023. Autokalkulaattorin käyttöopas ja laskennan perustee. Suomen ilmastopaneeli. Versio 6.6.2023. <https://www.ilmastopaneeli.fi/autokalkulaattori/>.
- Suomen ilmastopaneeli 2019. Seppälä, J., Savolainen, H., Sironen, S., Soimakallio, S., Ollikainen, M. Päästövähennyspolku kohti hiilineutraalia Suomea – hahmotelma. Suomen ilmastopaneelin raportti 7/2019.
- Teichert, O., Link, S., Schneider, J., Wolff, S., Lienkamp, M. 2023. Techno-economic cell selection for battery-electric long-haul trucks. *eTransportation*, 16, 100225. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2022.100225>
- Tilastokeskus 2012. Kuorma-autoliikenteen kustannusindeksi. Käyttäjän käsikirja. [https://www.stat.fi/til/kalki/2012/kalki\\_2012\\_2012-12-04\\_men\\_001.html](https://www.stat.fi/til/kalki/2012/kalki_2012_2012-12-04_men_001.html)
- Tilastokeskus 2018. Sähkön ja lämmön tuotannon hiilidioksidipäästöt (hyödynjakomenetelmällä) -13.3.2. Energia 2018 –taulukkopalvelu.
- VTT 2021. Kaupallisten ajoneuvojen rooli liikenteen ilmastopolitiikassa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:34.
- VTT 2021b. Polttoaineiden bio-osuudet tulevaisuudessa – syksyn 2021 tieliikenteen WAM-skenaario. Tieliikenteen laskentamalli. Julkaisematon – saatu VTT:ltä.
- Wolff, S. et al. 2020. Scalable Life-Cycle Inventory for Heavy-Duty Vehicle Production. *Sustainability* 12(13). <https://doi.org/10.3390/su12135396>