

PAKETTI- JA KUORMA-AUTOJEN PÄÄSTÖ- JA KUSTANNUSLASKURI – KÄYTTÖOPAS JA LASKENNAN PERUSTEET

Heikki Liimatainen¹, Riku Viri¹, Joonas Munther², Jyri Seppälä^{2,3}

¹ Tampereen yliopisto

² Suomen ympäristökeskus

³ Suomen ilmastopaneeli

6.6.2023

SISÄLTÖ

1. TARKOITUS JA PERUSPERIAATTEET	1
2. LÄHTÖTIEDOT JA KÄYTTÖLIITYNTÄ	2
2.1. YLEISTÄ	2
2.2. AJONEUVOKOHTAISET TIEDOT	2
2.3. POLTTOAINETIEDOT	7
2.4. AJONEUVOJEN KULUTUSTIEDOT	10
2.5. LASKENNAN AJONEUVORIIPPUMATTOMAT OLETUSTIEDOT	11
2.6. LISÄTIEDOT JA ASETUKSET	14
3. ANALYYSIN TULOS JA SEN TULKINTA	14
4. LASKENTAKAAVAT	16
4.1. PÄÄSTÖJEN LASKENTAPERUSTEET	16
4.2. KUSTANNUSTEN LASKENTA	18
5. LASKURIN KÄYTÖN LAAJENNUKSET	19
5.1. HERKKYYSTARKASTELUT	19
5.2. BIODIESELIN JA BIOKAASUN ERILLISKÄYTÖN VAIKUTUSTEN ARVIOINTI	20
KIRJALLISUUS	21

1. TARKOITUS JA PERUSPERIAATTEET

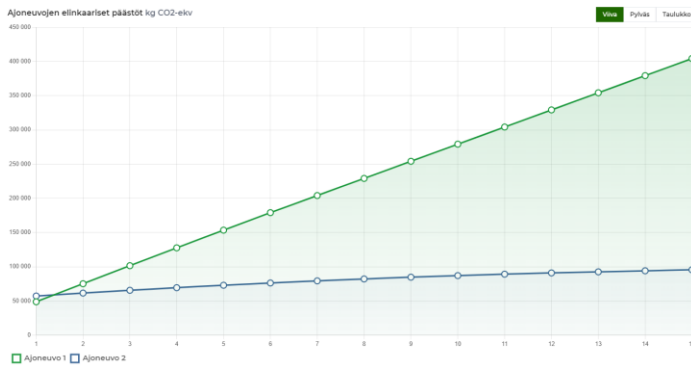
Laskuri on verkkopohjainen laskuri, joka on tarkoitettu yritysten paketti- ja kuorma-autojen hankintapäätöksen tueksi. Laskuri tuo näkyviin eri käyttövoimiin perustuvien autovaihtoehtojen kumulatiiviset (kertyvät) koko elinkaaren kattavat kasvihuonekaasupäästöt ja kustannukset. Laskurin tarkoitus on 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.

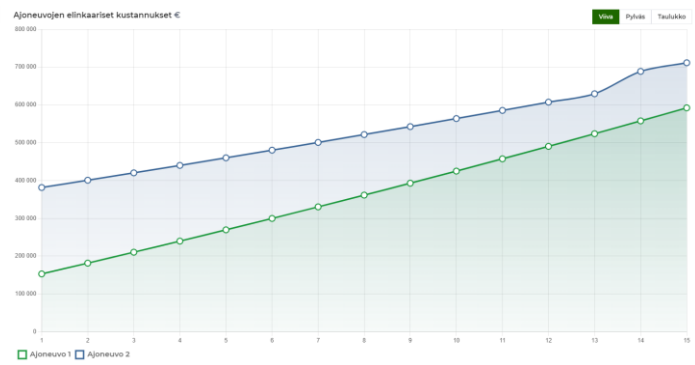
Laskuri koostuu seuraavista osa-alueista:

- Pitoaika vuosissa
- Ajoneuvokohtaiset tiedot
- Laskennan autovalinnasta riippumattomat oletustiedot
- Lisätiedot ja asetukset
- Lopputulos graafisesti ja taulukkomuodossa 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

Sivustolla on joidenkin kenttien ja otsikoiden perässä lisätietoihin viittaava kuvake , jota painamalla avautuu lisätietoja laskurin käytön avuksi.

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

Painamalla "Näytä tarkemmat tiedot"-painiketta-saadaan näkyviin ko. tietokohtaan liittyvät lisäyöttömahdollisuudet.

"Lisää ajoneuvo"-painike lisää laskuriin uuden ajoneuvon. Ajoneuvon voi poistaa avaamalla sen tiedot ja painamalla "Poista ajoneuvo"-painiketta.

Ohjelma toimii kaikissa yleisimmissä selaimissa.

2.2. Ajoneuvokohtaiset tiedot

Käyttäjä voi valita 1-6 vaihtoehtoista paketti- tai kuorma-autoa vertailtavaksi. Autojen määrää muutetaan painamalla käyttöliittymän "Lisää ajoneuvo"- ja "Poista ajoneuvo"-painikkeita.

Tärkeimmät syötettävät tiedot ovat auton tyyppi (pakettiauto, kuorma-auto, puliperävaunuyhdistelmä tai perävaunullinen yhdistelmä), käyttövoima, vuosittainen ajokilometrien määrä, polttoaineen kulutus tyhjänä, polttoaineen kulutus lastattuna, lastattuna ajettujen kilometrien osuus, hankintahinta ja akuston koko. "Näytä tarkemmat tiedot"-painikkeen 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 yksittäisen ajoneuvon otsikkoriville.

Ajoneuvo 1	
Poista ajoneuvo	
Tyyppi	
Kuorma-auto	
Käyttövoima	
Diesel	
Lukumäärä	
1 kpl	
Ajokilometrejä vuodessa	
40000 km	
Dieselin kulutus lastattuna	
27,4 l	
Dieselin kulutus tyhjänä	
14,1 l	
Biodieselin kulutus lastattuna	
0 l	
Biodieselin kulutus tyhjänä	
0 l	
Massa tyhjänä	
4800 kg	
Massa lastattuna	
16000 kg	
Osuus ajosta lastattuna	
77 %	
Hankintahinta	
125000 €	
Lisäkulut	Muokkaa
Näytä tarkemmat tiedot	

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 tyyppillisiä kappaletavarakuljetuksissa käytettäviä autoja: pakettiauto (kokonaismassa 3,5 t), jakelukuorma-auto (16 t), puoliperävaunun yhdistelmä (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 Ecolnvent-tietokanta Ecolnvent 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 “Näytä tarkemmat tiedot”-painiketta saadaan näkyviin ajoneuvokohtaiset tarkentavat tiedot.



Ajoneuvo 1



Poista ajoneuvo

Tyyppi

Kuorma-auto



Käyttövoima

Sähkö



Lukumäärä

1

kpl

Ajokilometrejä vuodessa

40000

km

Sähkön kulutus lastattuna

106

kWh

Sähkön kulutus tyhjänä

84

kWh

Massa tyhjänä

5280

kg

Massa lastattuna

16000

kg

Osuus ajosta lastattuna

77

%

Hankintahinta

250000

€

Kotilatauslaite

0

€

Ajoneuvovero

450

€

Muut vuosittaiset kustannukset

650

€

Jäännösarvo

0

€

Valmistuksen päästöt

22,2

kg CO2-ekv

Huollon päästöt

37,2

kg CO2-ekv/100km

Kustannukset huoltotoimista

0,18

€/km

Akuston koko

90

kWh

Vaihtoväli akustolle 

1000 tkm

Vaihtoakuston hinta 

200 €/kWh

Hyvityspäästö akustolle 

0 kg CO₂-ekv

Lisäkulut Muokkaa 

Piilota tarkemmat tiedot

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

Autotyyppikohtainen ajoneuvovero on haettavissa Traficomin ajoneuvoverolaskurista <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/ajoneuvoverolaskuri>. Laskuri laskee karkean arvion perustuen empiirisesti Traficomin 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 lataussykliä (Nyqvist ja Olsson 2021; Mauler ym. 2022; Teichert ym. 2023), jolloin keskimääräinen ajosuorite olisi 143–333 km per lataussykli. Käytännössä akkujen kesto vaihtelee muun muassa auton akuston koon, niiden jäähdytysjärjestelmien 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 akustolle tarkoittaa tilannetta, jossa vanhat akut toimitetaan jatkohyötykäyttöön 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 kierrätyskyvytykset 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 tarkkoja vuosittaisia lisäkuluja kohdassa *lisäkulut* ja "*muokkaa*".

Lisäkulut

1. Vuosi	2. Vuosi
<input type="text" value="0"/> €	<input type="text" value="0"/> €
3. Vuosi	4. Vuosi
<input type="text" value="0"/> €	<input type="text" value="0"/> €
5. Vuosi	6. Vuosi
<input type="text" value="0"/> €	<input type="text" value="0"/> €
7. Vuosi	8. Vuosi
<input type="text" value="0"/> €	<input type="text" value="0"/> €
9. Vuosi	10. Vuosi
<input type="text" value="0"/> €	<input type="text" value="0"/> €
11. Vuosi	12. Vuosi
<input type="text" value="0"/> €	<input type="text" value="0"/> €
13. Vuosi	14. Vuosi
<input type="text" value="0"/> €	<input type="text" value="0"/> €
15. Vuosi	
<input type="text" value="0"/> €	

Ajoneuvokohtaisten 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.

<p>Diesel</p> <p>Hinta</p> <p>1,778 € / l</p>
<p>Biodiesel</p> <p>Hinta</p> <p>1,968 € / l</p>
<p>Sähkö</p> <p>Hinta</p> <p>0,18 € / kWh</p>
<p>Näytä tarkemmat tiedot</p>

Painamalla "Näytä tarkemmat tiedot"-painiketta saadaan näkyviin lisää kenttiä päästökertoimien ja vuosittaisen hintakehityksen syöttämiseksi:

<p>Polttoaineet</p>
<p>Diesel</p> <p>Hinta</p> <p>1,778 € / l</p>
<p>Suorat päästöt</p> <p>2,689 kg CO₂-ekv/L</p>
<p>Valmistuksen ja hankinnan päästöt</p> <p>0,75 kg CO₂-ekv/L</p>
<p>Vuosittainen hintakehitys</p> <p>2 %</p>

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 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 erillistankatulla biodiesellillä 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 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. Laskurissa biokaasun päästökertoimena on käytetty 0,93 kg CO₂-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 lisättynä päästöllä, joka syntyy, kun kyseisen vuoden jakeluvelvoitteen kaasun bio-osuuden ylittävä biokaasumäärä vähentää vastaavan energianmäärän 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 tulevan muualta 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 CO₂-ekv./kWh (Fingrid 2022). Suomen sähkön raaka-aineiden hankinnan ja valmistuksen päästökerroin on arvioitu olevan Moron ja Lonzan (2018) julkaisun perusteella olevan 16 g CO₂-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 CO₂-ekv./kWh. Tässä yhteydessä laskurin oletusskenaariossa muutos tapahtuu hieman hitaammin siten, että sähkön tuotannon ominaispäästö


pienenee vuoden 2023 arvosta 80 g CO₂-ekv./kWh lineaarisesti arvoon 10 g CO₂-ekv./kWh vuoteen 2035 mennessä. Sen jälkeen se pienenee vuoteen 2040 mennessä arvoon 5 g CO₂-ekv./kWh, jolle tasolle se jää mentäessä ajassa eteenpäin. Muiden sähkön tuotannon elinaaristen vaiheiden ominaispäästöt kehittyvät vuoden 2023 arvosta 15 g CO₂/ekv./kWh arvoon 10 g CO₂/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.

Tyyppi 

Kuorma-auto	▼
-------------	---

Käyttövoima 

Diesel	▼
--------	---

Lukumäärä

1	kpl
---	-----

Ajokilometrejä vuodessa

40000	km
-------	----

Dieselin kulutus lastattuna

27,4	l
------	---

Dieselin kulutus tyhjänä

14,1	l
------	---

Biodieselin kulutus lastattuna

0	l
---	---

Biodieselin kulutus tyhjänä

0	l
---	---

2.5. Laskennan ajoneuvoriippumattomat oletustiedot

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

Asetukset

Sähköntuotanto

Sähkön siirron ja jakelun tehokkuuskerroin

Latauksen tehokkuuskerroin

Sähköntuotannon päästöjen kehitysskenaario

Laskurin oletuksena on 15 vuoden tietojen näyttö. Aikajännettä on mahdollisuus kasvattaa ja vähentää. Oletuskuvaajana on pylväsdiagrammi, joka voidaan vaihtaa esimerkiksi viivadiagrammiksi, joka soveltuu paremmin autovaihtoehtojen erojen tutkimiseen erityisesti suuremmilla aikajännteillä. Tuloksia voidaan tarkastella myös taulukkomuodossa valitsemalla kuvaajien yllä olevista painikkeista "Taulukko".

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) kehittyy kohdassa 2.4 esiteyllä tavalla perusskenaariossa, joka on oletustietona. Käyttäjä voi halutessaan tehdä oman päästökerroinskenaarion tallentamalla vuosittaiset arvot kullekin vuodelle asetuskohdassa.

Taulukko 1. Paketti- ja kuorma-autolaskurissa käytettyjen polttoaineiden bio-osuuden kehitys tulevaisuudessa.

Vuosi	Bensiini	Diesel	Kaasu	Myytävä polttoaine
	Etanoli %	Biodiesel %	Biokaasu %	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 osuuskien odotetaan kehittyvän Suomen tekemien jakeluvelvoitelinjausten mukaisesti (Eduskunta 2022). Lain mukaan bensiinin ja dieselin yhteenlasketussa jakelumäärässä tulee täytyä biopolttoaineiden energiasisältöä kuvaava jakelumääräprosenttiosuus. Lähtökohtana bensiinautoille 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 jakeluvelvoitteen bio-osuudet säilyvät samoina (Taulukko 1).

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

Dieselin biokomponentin elinkaarinen päästökerroin

0,69 kg CO₂-ekv/L

Asetuskohdan lopussa voi myös muuttaa seuraavia oletustietoja:

Muita tarkenteita

Sähköauton akuston valmistuksen päästökerroin

115 kg CO₂-ekv/kWh

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 kasvihuonekaasupäästöjä. 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 (Bieker 2021 ja Green NCAP 2022), joka on vain 760 kg CO₂-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 3,35 % vuodessa.

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

2.6. Lisätiedot ja asetukset

Laskurin oikeassa ylänurkassa löytyy asetuskohta. Painamalla painiketta "Asetukset" avautuu laskennassa käytettäviä autoriippumattomia lähtötietoja, joita käyttäjän ei oleteta muuttavan kuin erityistilanteissa. Näistä on kerrottu tarkemmin kohdassa 2.6.

PAKETTI- JA KUORMA-AUTOJEN PÄÄSTÖ- JA KUSTANNUSLASKURI



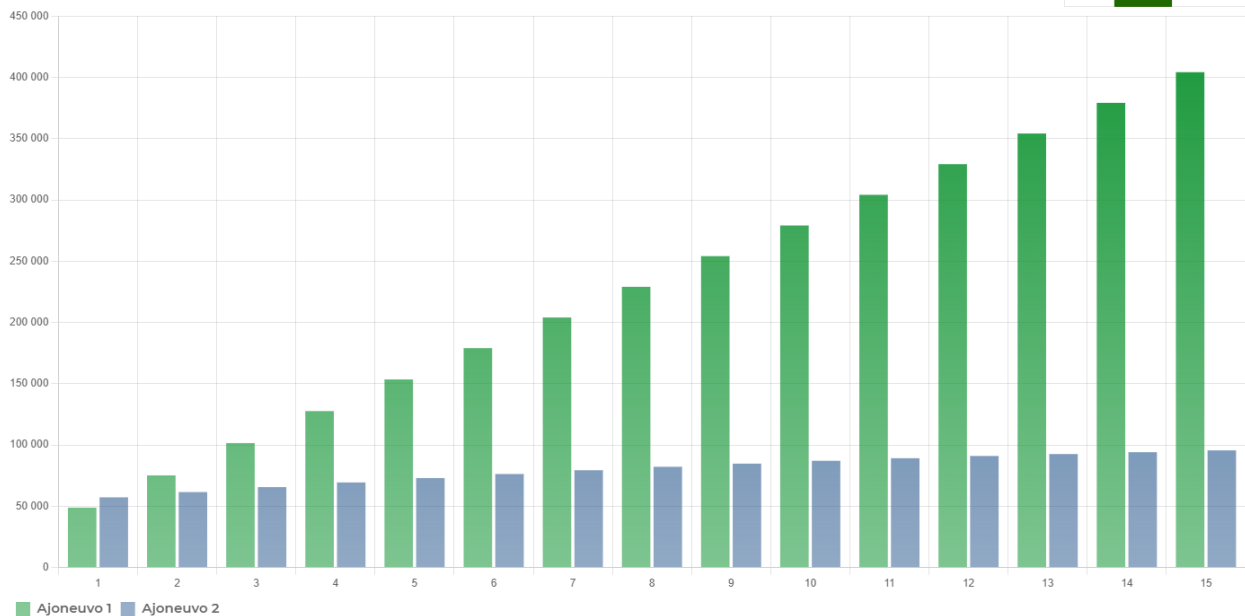
3. ANALYYSIN TULOS JA SEN TULKINTA

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), viivadiagrammina tai taulukkona (käyttäjä voi muuttaa pylväsesityksen viivaesitykseksi tai taulukoksi) 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 nuolikuviio pylväiden tai viivojen päälle.

Ajoneuvojen elinkaariset päästöt kg CO2-ekv

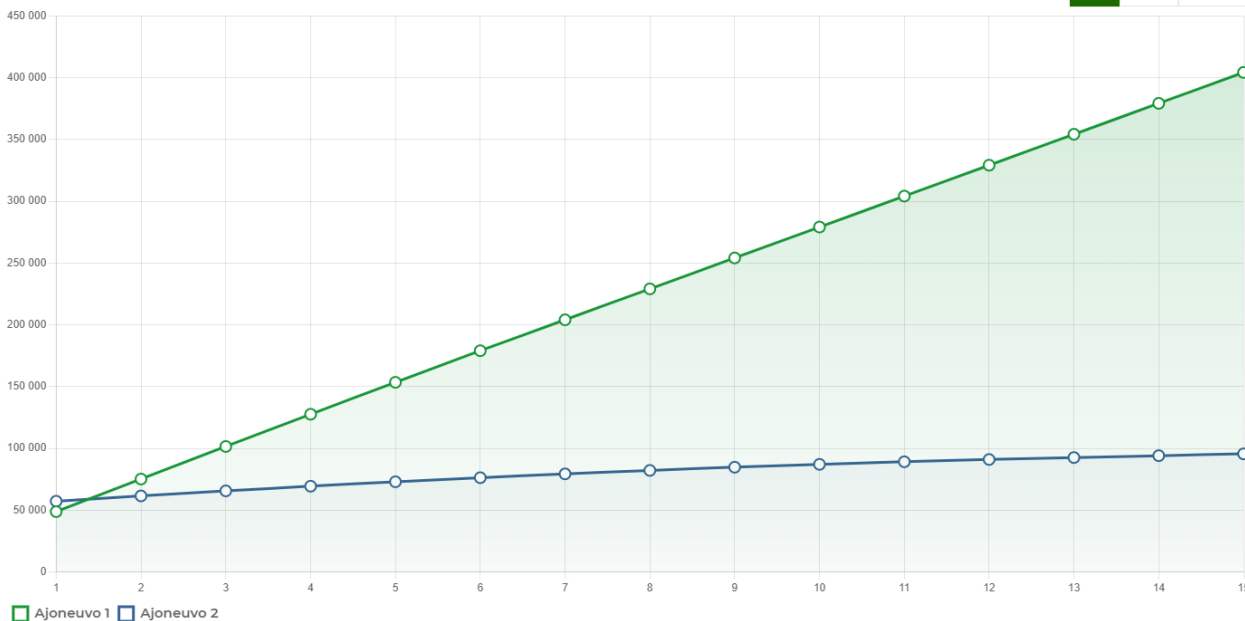
Viiva Pylväs Taulukko



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

Viiva Pylväs Taulukko



Laskurin kolmas vaihtoehto, taulukko, kuvaa ajoneuvojen yhteenlaskettuja päästöjä kunkin vuoden kohdalla. Taulukon keskiarvorivillä on kuvattu ajoneuvon keskimääräiset vuosittaiset päästöt. Myös kuluja voi tarkastella taulukkona samalla logiikalla.

Vuosi	Ajoneuvo 1 (Diesel)	Ajoneuvo 2 (Sähkö)
2023 (1)	49726	44419
2024 (2)	76985	49639
2025 (3)	104244	54859
2026 (4)	131237	60079
2027 (5)	157962	65298
2028 (6)	184421	70518
2029 (7)	210347	75738
2030 (8)	236272	80958
2031 (9)	262197	86178
2032 (10)	288123	91397
2033 (11)	314048	96617
2034 (12)	339974	101837
2035 (13)	365899	107057
2036 (14)	391824	112276
2037 (15)	417750	117496
Keskimääräiset päästöt / vuosi	27850	7833

4. LASKENTAKAAVAT

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

4.1. Päästöjen laskentaperusteet

Eri käyttövoiman omaavien kuorma-autojen valmistuksen päästötiedot on arvioitu TU Delftin (Huismans 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 hyvituspäästöjä. 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 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 päästöhvytys (negatiivinen päästö, kg CO₂-ekv.)
- $\text{HP}_n(a)$ = autovaihtoehdon a huoltotoimien päästöt n käyttövuoden jälkeen (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:

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

Dieselin ja biodieselin käytön päästöt

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

$$\text{PP95E10}_i(a) = [(\text{SBP} + \text{VBP}) * (1 - \text{SB}_i) + (\text{SEP}_i + \text{VEP}_i) * \text{SB}_i] * \text{VA} * \text{K95E10}(a) / 100 \quad (3)$$

missä

PP95E10_i(a) = auton a 95E10-bensiinipolttoaineen käytön päästö vuonna i

SBP = bensiinin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO₂-ekv/litra)

VBP = bensiinin elinkaarinen päästökerroin öljyn hankinnasta jakeluun (kg CO₂-ekv/litra)

SB_i = jakeluvelvoitteen biopolttoaineen (etanolin) osuus (%) vuonna i

SEP_i = etanolin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO₂-ekv/litra) vuonna i

VEP_i = etanolin elinkaarinen päästökerroin raaka-aineiden hankinnasta jakeluun (kg CO₂-ekv/litra) vuonna i

VA = vuosittainen ajokilometrimäärä (km)

K95E10(a) = auton a 95E10-bensiinin kulutus per 100 km (sisältää etanolin jakeluvelvoiteosuuden)

Biodieselin erillistankkauksen päästöt lasketaan oletustilanteessa vastaavalla tavalla kuin dieselin (ks. kohta 2.5). Biodieselin erillistankkauksen päästövaikutukset ilman jakeluvelvoitevaikutusta voidaan laskea kohdassa 5.2.2 esitetyllä tavalla.

Dieselhybridien polttoaineiden käytön päästöt

Dieselhybridiautojen polttoaineiden käytön päästöt lasketaan vastaavalla tavalla kuin dieselautojen polttoaineiden käytön päästöt.

Kaasuauton polttoaineiden käytön päästöt

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

$$\text{KPPi}(ka) = [(\text{SPMK} + \text{VPMK}) * \text{KMK}(ka) + \text{KPPBK}_i(ka) + (\text{SP95E} * \text{VP95E}) * \text{K95E}(ka)] * \text{VA} / 100 \quad (4)$$

missä

SPMK = maakaasun palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO₂-ekv/kg)

VPMK = maakaasun elinkaarinen päästökerroin kaasun hankinnasta jakeluun (kg CO₂-ekv/kg)

KMK(ka) = kaasuauton ka maakaasun kulutus (kg) 100 kilometriä kohti

KPPBK_i(ka) = kaasuauton ka biokaasun käytön kokonaispäästövaikutukset vuonna i

SP95E = 95E-bensiinin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO₂-ekv/litra)

VP95E = 95E-bensiinin elinkaarinen päästökerroin öljyn hankinnasta jakeluun (kg CO₂-ekv/litra)

K95E(ka) = auton ka 95-bensiinin kulutus (l) 100 kilometriä kohti

VA = vuosittainen ajokilometrimäärä (km)

Biokaasu kuuluu nykyisin jakeluvelvoitteen piiriin. Sen takia sen käytön kokonaisvaikutukset muodostuvat biokaasun käytön päästöistä ja biovelvoitteen ylittävän biokaasumäärän epäsuorasta päästöllisestä, 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_i(ka)) kunakin vuonna i laskenta tehdään seuraavasti

$$KPPBK_i(ka) = PPBK_i(ka) + PLBD_i(ka) = PPBK_i(ka) + SMFD_i(a) * [(SFDP + VFDP) - (SDP_i + VDP_i)] \quad (5)$$

missä

PPBK_i(ka) = auton ka biokaasun käytön (VA*KPK(ka)) päästö vuonna i

PLBD_i(ka) = biodieselin syrjäyttämisen päästölisä auton ka käyttämästä biokaasusta vuonna i

SMFD_i(a) = auton ka biokaasun käytöstä aiheutuva fossiilisen dieselin lisäys dieselin jakeluelvoitemäärässä vuonna i

SFDP = fossiilisen dieselin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO₂-ekv./litra)

VFDP = fossiilisen dieselin elinkaarinen päästökerroin biodieselin hankinnasta jakeluun (kg CO₂-ekv./litra)

SDP_i = jakeluelvoitteessa olevan dieselin palamisen (kulutuksen) päästökerroin (kg CO₂-ekv./litra) vuonna i

VDP_i = jakeluelvoitteessa olevan dieselin elinkaarinen päästökerroin biodieselin hankinnasta jakeluun (kg CO₂-ekv./litra) vuonna i

VA = vuosittainen ajokilometrimäärä (km)

KBK(a) = auton a biokaasun kulutus kg per 100 km

Tekijä SMFD_i(a) lasketaan seuraavalla yhtälöllä (6) muuten paitsi energiamuunnos (21/36) korvataan biokaasun ja dieselin välisellä suhteella (50/36), jolloin biokaasun kulutus kilogrammoissa muutetaan diesellitroiksi.

$$SMFD_i(a) = ((EE - (BE + EE) * X_i) / X_i) * VA * KE85(a) * 23,2 / 36 \quad (6)$$

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

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

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

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:

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

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
- $W_{c,i}K_i$ = 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:

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

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
- 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 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 – 100 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 biokaasun erilliskäytön vaikutusten arviointi

Laskurissa lasketaan oletuksena biodieselin, biokaasun ja etanolin (E85) erilliskäytön päästövaikutus systeemitasolla, jossa biopolttoaineiden elinkaaristen päästöjen lisäksi niiden päästöihin lisätään jakeluvaiheen palauttama päästölisa (jakeluvaiheen luvut on esitetty kohdassa 2.5. Asiaa on selvennetty tarkemmin Ilmastopaneelin autokalkulaattorin käyttöohjeessa (Seppälä ym. 2023). Mikäli käyttäjä haluaa nähdä ko. polttoaineiden laskennallisen päästön ilman jakeluvaiheen vaikutusta, käyttäjällä on mahdollisuus asettaa tämä systeemitason laskentaoletus pois päältä (Jakeluvaiheen huomioitava osuus muutetaan arvoon 0 %), jolloin laskenta käyttää ainoastaan biopolttoaineiden valmistuksen elinkaarisia päästökertoimia.

Jakeluvaihe

Jakeluvaiheen vaikutus päästölaskentaan

Jakeluvaiheen huomioitava osuus

100 %

Jakeluvaiheprosentti



Biopolttoaineen osuus prosenteissa.

2023	2024	2025	2026	2027	2028
13,5 %	28 %	29 %	29 %	30 %	31 %
2029	2030	2050			
32 %	34 %	34 %			

Etanoli



Biodiesel



Biokaasu



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. Sähkötalostat. <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

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.

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.

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+energy+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 perusteet. 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
- 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>