



Euroopan unionin
rahoittama
NextGenerationEU



Metsäteho
LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

Metsätehon raportti 275
lisälaskelmat
29.8.2025

METSÄYHTIÖIDEN AUTOKULJETUSTEN SÄHKÖISTÄMINEN (MESI)

Kustannus- ja päästölaskelmien lisäaineistot

Pirjo Venäläinen
Annaleena Porttikivi
Asko Poikela
Riku Tarvainen

ISSN 1796-2374 (Verkkojulkaisu)

METSÄTEHO OY
Vernissakatu 1
01300 Vantaa

www.metsateho.fi

METSÄYHTIÖIDEN AUTOKULJETUSTEN SÄHKÖISTYMINEN (MESI)

Kustannus- ja päästölaskelmien lisäaineistot

Pirjo Venäläinen
Annaleena Porttikivi
Asko Poikela
Riku Tarvainen

Metsätehon raportti 275
lisäraportti
29.8.2025

ISSN 1796-2374 (Verkkojulkaisu)

© Metsäteho Oy

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	4
2 SÄHKÖISEN JA TAVALLISEN PUUTAVARAKUORMAIMEN KULUTUSTUTKIMUS	5
3 LÄMPÖTILAN VAIKUTUS SÄHKÖAUTON KULUTUKSEEN	8
3.1 Kirjallisuuskatsaus lämpötilan vaikutuksesta kulutukseen	8
3.2 Alueellisia lämpötilatilastoja.....	11
4 LATAUS- JA TAUKOAIKOJEN LISÄLASKELMAT	14
5 AKUT	16
5.1 Yleistä	16
5.2 Kalenteri- ja syklinen ikääntyminen	17
5.3 Akkukennotyyppien ominaisuudet	18
5.4 Lämpötila	20
5.4.1 Lämpötilan vaikutus akun elinkaareen ja toimintakykyyn	20
5.4.2 Akun lämmönhallintajärjestelmä	20
5.4.3 Akuston eristys/kapselointi	21
5.5 Akuston korjaus, uusiokäyttö ja kierrätys	22
5.5.1 Akuston korjaus ja uusiokäyttö	22
5.5.2 Toissijainen käyttö ja jälleenmyyntiarvo	23
5.5.3 Kierrätys	23
5.6 Akkujen hintakehitys	24
5.7 Uudet akkuteknologiat	25
5.7.1 Akkujen kehitys	25
5.7.2 Kiinteän elektrolyytin akut	26
5.7.3 Natriumioniakut	26
6 AKUN LATAUS	27
6.1 Latausstandardit	27
6.1.1 AC-lataus	27
6.1.2 DC-lataus	27
6.1.3 MCS-lataus	28
6.2 Latausstrategia	29
6.3 Latauksen kehitys	31
6.3.1 Uudet standardit	31
6.3.2 Kaksisuuntainen lataus	31
6.3.3 Akunvaihto	31
7 TÄYDENTÄVÄT YHDISTELMIEN KUSTANNUS-VERTAILUT	32
7.1 68-tonnisen hakeauton kustannusvertailu	32
7.2 76-tonnisen metsäauton herkkyytstarkastelu: lämpötilan vaikutus ...	33
8 VEROTUKSEN NYKYTILA JA MUUTOSNÄKYMÄT	35

8.1 Ajoneuvovero	35
8.2 Energiaverotus (valmistevero)	36
8.2.1 Nestemäisten polttoaineiden valmistevero	36
8.2.2 Sähkön verotus	37
8.3 Vakuutusmaksuvero	38
8.4 Arvonlisävero	38
8.5 Verotuksen muutosnäkyviä	38
8.5.1 Yritysjoneuvojen vähähiilistäminen	38
8.5.2 Energiaverodirektiivi	38
8.5.3 Hallitusohjelma	38
8.5.4 Liikenteen verotuksen ja rahoituksen kokonaisuudistus	39
LÄHTEET	40

1 JOHDANTO

Tämä raportti on laadittu osana Metsäteho Oy:n toteuttamaa MESI-hanketta (Metsäyhtiöiden autokuljetusten sähköistäminen). MESI-hanke saa osarahoitusta Traficom Sähköisen raskaan liikenteen ohjelmasta (<https://traficom.fi/fi/sahkoinenliikenne>).

Raporttiin on koottu sähköisten kuorma-autojen kustannuksia, energiankulutusta ja akkuja koskevia täydentäviä aineistoja (tutkimuksia, tilastoja ja laskelmia). Raportti täydentää tammi-kuussa julkaistua MESI-hankkeen laskelmaraporttia (Venäläinen ym. 2025a). Kummankin raportin keskeiset havainnot otetaan huomioon MESI-hankkeen loppuraportissa (Venäläinen ym. 2025b). Kaikki MESI-hankkeen raportit ovat saatavilla sivulla www.metsateho.fi/mesi.

2 SÄHKÖISEN JA TAVALLISEN PUUTAVARAKUORMAIMEN KULUTUSTUTKIMUS

Hanketta varten toteutettiin sähköisen ja tavallisen puutavarakuormaimen kulutustutkimus. Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Pohjois-Karjalan koulutuskuntayhtymän (Riveria), Koneurakointi S. Kuittinen Oy:n ja Scania Suomi Oy:n kanssa.

Tutkimuksessa seurattiin kahden erilaisen puutavarakuormaimen kulutusta puutavaran kuormauksen ja purun aikana (kuormainten ominaisuudet taulukossa 1). Kummallakin yhdistelmällä käsiteltiin pari kuormaa sekä talvella että kesällä. Tutkimukseen osallistui kaksi kuljettajaa niin, että kummatkin käsitelivät kuormia kummallakin yhdistelmällä. Talviajan tutkimus toteutettiin 14.3.2025, jolloin ilman lämpötila oli $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ tiedonkeruun alkaessa ja $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ tiedonkeruun päättyessä. Kesäajan tutkimus toteutettiin 23.5.2025, jolloin ilman lämpötila oli $+11\text{ }^{\circ}\text{C}$ tiedonkeruun alkaessa ja $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ tiedonkeruun päättyessä.

Taulukko 1. Puutavarakuormainten ominaisuudet.

Ominaisuus	Dieselkuormain	Sähköinen kuormain
Merkki ja malli	Kesla 2012T linkki	Kesla 2110T linkki
Vuosimalli	2020	2018
Kuormaintyyppi	Suorapuominen	Suorapuominen
Kokoluokka (tonnimetrit, ulottuma m)	12 / 9,65	10 (100 kNm) / 10
Kouran koko (pinta-ala m ²)	0,46	0,43
Hydrauliikka	Säätötilavuus	Säätötilavuus
Kuormaimen lataustapa	-	75 kw:n verkkoon kytketty sähkömoottori, 143 cm ³ /r:n hydraulikoneikon pumppu, joka on kytketty suoraan sähkömoottorin akselille. Sähkömoottoria käytetään taajuusmuuttajalla, jonka kautta saadaan myös sähkönsä teho-tieto.
Kulutusdatan lähde	Auton FMS (My Scania) ja kesällä myös auton kulutusmittari	Creanexin mittausjärjestelmä (raportti nosturin kärjen kul-kema matka m)
Kulutustiedon frekvenssi	1 minuutin välein	Puolen sekunnin välein

Tutkimuspäivien kuormakoot, kuorma- ja purkuajat, mitatut kulutustiedot ja näiden pohjalta lasketut keskimääräiset tulokset on koottu taulukoihin 2–3. Kuormakoko tonneissa oli lähes sama kumpanakin tutkimuspäivänä (kuorman kokoa kuutioissa ei mitattu). Työvaiheiden kes-tot (minuuttia per käsitelty tonni) olivat lähes samaa tasoa kummallakin kuormaintyyppillä. Pie-nen mittauskertojen määrän takia kesä- ja talviajan kulutuksen eroista ei voi tehdä johtopää-töksiä. Autosta, jossa oli dieselkuormain, seurattiin kulutuslukemia myös kulutusmittarista. Kuormausten osalta kulutuslukema oli lähellä FMS-järjestelmästä saatua lukua. Purun osalta lukema saatiin vain yhdeltä kerralta. Se poikkesi selvemmin FMS-järjestelmän lukemasta.

Taulukko 2. Sähköisen kuormaimen kulutus.

KUORMAUS								
Käyttövoima	Kuukausi	Kuormat	Minuuttia	min/t	Kulutus kWh	Kulutus kWh/min	Kulutus kWh/h	Kulutus kWh/t
Sähkö	3	50,153	24,0	0,48	12,99	0,54	32,5	0,26
Sähkö	3	50,153	21,1	0,42	11,46	0,54	32,6	0,23
Keskimäärin			22,6	0,45	12,23	0,54	32,5	0,24
Käyttövoima	Kuukausi	Kuorma t	Minuuttia	min/t	Kulutus kWh	Kulutus kWh/min	Kulutus kWh/h	Kulutus kWh/t
Sähkö	5	50,12	20,5	0,41	11,45	0,56	33,54	0,23
Sähkö	5	50,12	20,0	0,40	11,33	0,57	33,91	0,23
Keskimäärin			20,3	0,40	11,39	0,56	33,73	0,23
Keskimäärin (talvi + kesä)			21,41	0,43	11,81	0,55	33,13	0,24
Talven ero kesään %			11%	11%	7%	-4%	-4%	7%
PURKU								
Käyttövoima	Kuukausi	Kuorma t	Minuuttia	min/t	Kulutus kWh	Kulutus kWh/min	Kulutus kWh/h	Kulutus kWh/t
Sähkö	3	50,153	16,2	0,32	8,91	0,55	33,0	0,18
Sähkö	3	50,153	15,3	0,30	8,43	0,55	33,2	0,17
Sähkö	3	50,153	18,2	0,36	9,77	0,54	32,2	0,19
Keskimäärin			16,6	0,33	9,04	0,55	32,78	0,18
Käyttövoima	Kuukausi	Kuorma t	Minuuttia	min/t	Kulutus kWh	Kulutus kWh/min	Kulutus kWh/h	Kulutus kWh/t
Sähkö	5	50,12	17,3	0,34	9,48	0,55	32,98	0,19
Sähkö	5	50,12	17,8	0,35	9,65	0,54	32,59	0,19
Keskimäärin			17,5	0,35	9,57	0,55	32,79	0,19
Keskimäärin (talvi + kesä)			17,0	0,34	9,30	0,55	32,79	0,19
Talven ero kesään %			-5%	-6%	-6%	0%	0%	-6%

Taulukko 3. Tavallisen kuormaimen kulutus.

KUORMAUS											
Käyttövoima	Kuukausi	Kuorma t	Minuuttia	min/t	Kulutus l	Kulutus l/min	Kulutus l/h	Kulutus l/t	M min*	Kulutus l/M min*	
Diesel	3	50,153	14	0,28	na						
Diesel	3	50,153	23	0,46	1,80	0,08	4,7	0,04			
Keskimäärin			19	0,37	1,80	0,08	4,7	0,04			
Käyttövoima	Kuukausi	Kuorma t	Minuuttia	min/t	Kulutus l	Kulutus l/min	Kulutus l/h	Kulutus l/t	M min*	Kulutus l/M min*	Mittari l/h**
Diesel	5	50,120	17	0,34	1,99	0,12	7,02	0,04	10	0,20	6,8
Diesel	5	50,120	25	0,50	2,66	0,11	6,39	0,05	26	0,10	6,3
Keskimäärin			21	0,42	2,33	0,11	6,71	0,05	18	0,15	6,6
Keskimäärin (talvi + kesä)			20	0,39	2,06	0,10	5,70	0,04	9	0,08	3,28
Talven ero kesään %			-12%	-12%	-23%	-30%	-30%	-23%			
PURKU											
Käyttövoima	Kuukausi	Kuorma t	Minuuttia	min/t	Kulutus l	Kulutus l/min	Kulutus l/h	Kulutus l/t	M min*	Kulutus l/M min*	
Diesel	3	50,153	13	0,26							
Diesel	3	50,153	16	0,32							
Keskimäärin			15	0,29							
Käyttövoima	Kuukausi	Kuorma t	Minuuttia	min/t	Kulutus l	Kulutus l/min	Kulutus l/h	Kulutus l/t	M min*	Kulutus l/M min*	Mittari l/h**
Diesel	5	50,120	13	0,26	1,26	0,10	5,80	0,03	4	0,31	na
Diesel	5	50,120	17	0,34	1,67	0,10	5,88	0,03	8	0,21	6,4
Keskimäärin			15	0,30	1,46	0,10	5,84	0,03	6	0,26	6,4
Keskimäärin (talvi + kesä)			15	0,29							
Talven ero kesään %			-3%	-3%							
*M min = Moottorin käyntiaika minuuteissa											
**Auton mittarista kerätty keskimääräinen kulutuslukema työvaiheen päättyessä (tiedot kerättiin vain kesäajan tutkimuspäivinä)											

Luonnonvarakeskuksen tutkimuksessa (Anttila ym. 2023) dieselkäyttöisen puutavarakuormaimen kulutus oli:

- 68-tonnisen yhdistelmän kuormauksessa 7 litraa/tunti
- 68-tonnisen yhdistelmän purussa 5 litraa/tunti
- 76-tonnisen yhdistelmän kuormauksessa 9 litraa/tunti
- 76-tonnisen yhdistelmän purussa 6 litraa/tunti.

76-tonnisen osalta purkuvaiheen kulutus Luonnonvarakeskuksen tutkimuksessa oli sama kuin nyt tehdyssä tutkimuksessa. Kuormausvaiheessa Luonnonvarakeskuksen tutkimuksen mukaan kulutus oli selvästi purkuvaihetta korkeampi. Nyt tehdyssä tutkimuksessa kuormausvaiheen kulutus oli jopa purkuvaiheen kulutusta pienempi.

Itä-Suomen yliopiston tutkimuksessa (Huuskonen ym. 2025, Huuskonen 2025) 76-tonnisen puutavara-auton kuormauksen kulutus oli keskimäärin 0,33 GJ (eli 6,5 litraa) kuormaa kohden. Ko. tutkimuksen aineistossa kuormauksen kesto oli keskimäärin noin 48 minuuttia, kun kuormauksen kesto määriteltiin alkamaan auton pysähtymisestä pinolle ja loppumaan auton lähtiessä pinolta (sisältäen mm. kuorman sidonnan ja kulutuksen osalta mahdollisen tyhjäkäynnin). Tuntikohtainen kulutus oli keskimäärin 7,8 litraa (vaihteluväli 6,7–10,3 litraa/tunti). Ko. kulutustaso sijoittuu MESI-hankkeen ja em. Luonnonvarakeskuksen tutkimuksen tulosten väliin.

MESI-hankkeen kulutus- ja kustannuslaskelmissa (Venäläinen ym. 2025a) käytettiin kuormakohtaisia kuormaimen kulutusoletuksia (taulukko 4). Sähköisen kuormaimen osalta kulutusoletukset ovat selvästi tässä selvityksessä mitattuja kulutuslukemia suurempia. Tavallisen kuormaimen osalta Metsätehon oletukset ovat kuormauksen osalta olleet selvästi tämän selvityksen mittaustuloksia korkeampia. Purkuvaiheen kulutuksen osalta kulutusero ei ole yhtä suuri. Kuormainten kulutustutkimuksia on tarpeen tehdä jatkossakin oikean kulutustason varmistamiseksi.

Taulukko 4. MESI-hankkeen laskelmien kulutusoletukset (litraa/kuorma) (Venäläinen ym. 2025a).

Työvaihe/Käyttövoima	Sähkö	Diesel
Kuormaus	34,96	8,37
Purku	17,10	2,30

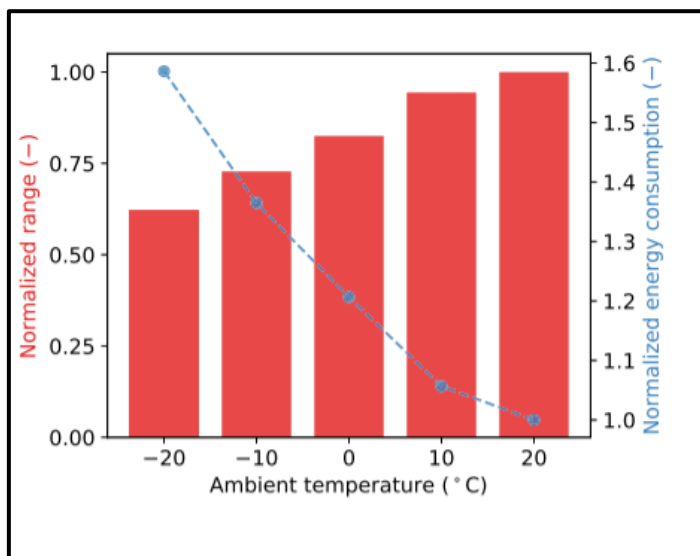
3 LÄMPÖTILAN VAIKUTUS SÄHKÖAUTON KULUTUKSEEN

Lämpötilan vaikutusta sähköisen kuorma-auton kulutukseen on tarkasteltu tässä ensin kirjallisuuskatsauksen pohjalta. Lisäksi on laadittu kulutuslaskelmia suomalaisten paikkakuntien lämpötilatilastojen pohjalta. Kylmän lämpötilan vaikutusta sähkökuorma-autojen kustannuksiin on tarkasteltu luvussa 7.2.

3.1 Kirjallisuuskatsaus lämpötilan vaikutuksesta kulutukseen

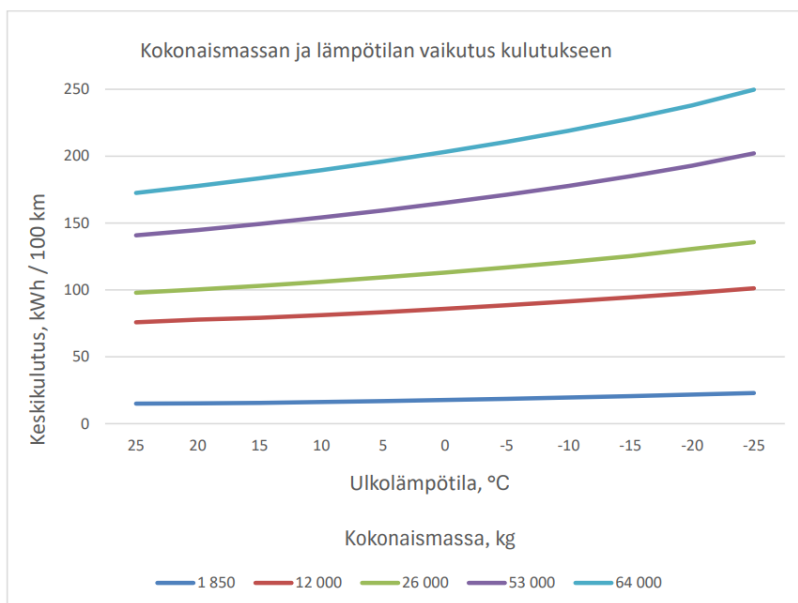
Lämpötila on sääolosuhteista merkittävin tekijä, joka vaikuttaa sähköajoneuvon energiankulutukseen, lataustehoon ja näiden yhteisvaikutuksesta myös kantamaan (Skuza ja Jurecki 2022; Tikka 2024). Alhaiset lämpötilat lisäävät energian kulutusta enemmän kuin korkeat lämpötilat (Skuza ja Jurecki 2022), sillä sähköajoneuvoissa on rajalliset mahdollisuudet hyödyntää ajon aikaista hukkalämpöä. Tällöin lämmitykseen käytettävä energia on otettava akusta (Tikka ym. 2021). Kylmissä olosuhteissa myös latausteho heikkenee, mikä voi merkittävästi vähentää ajoneuvon toimintamatkaa ja pidentää latausaikaa (Babu ym. 2022).

Lämpötilan vaikutusta kokonaisenergiankulutukseen ja kantamaan kuvattiin Babun ym. (2025) tutkimuksessa. Kuva 1 ilmaisee ajoneuvon toimintamatkaa ja energiankulutusta eri ulkolämpötiloissa normalisoituna 20 °C lämpötilaan. -20 °C:ssa kantama lyheni 38 % ja energiankulutus kasvoi 58 % verrattuna 20 °C:n lämpötilaan.



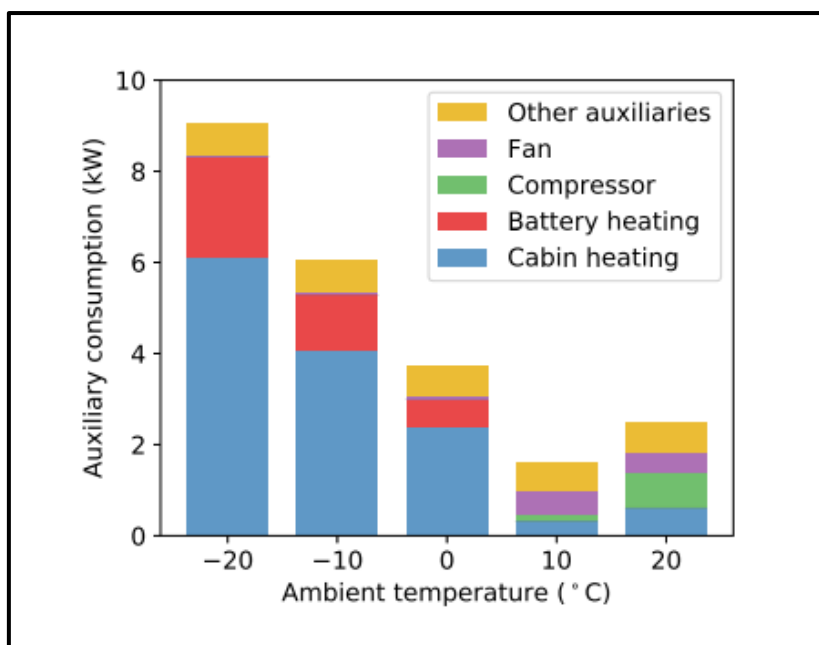
Kuva 1. Normalisoitu kantama ja energiankulutus eri ulkolämpötiloissa (Babu ym. 2025).

Oulun yliopiston opinnäytetyön (Korhonen 2024b) mukaan kylmän lämpötilan lisäys keskikulutukseen kasvaa nopeammin suurimmissa ajoneuvon massaluokissa (kuva 2).



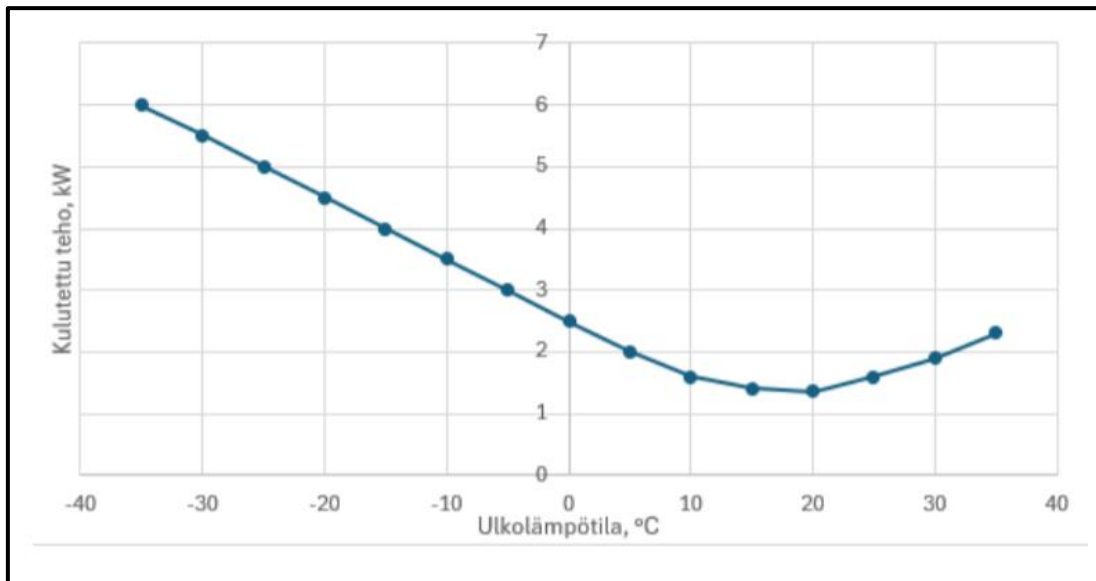
Kuva 2. Lämpötilan vaikutus erikokoisten sähköajoneuvojen kulutukseen (Korhonen 2024b).

Lämpötilan laskusta johtuva energiankulutuksen kasvua selittävät mm. sähkökuorma-auton matkustamon ja akuston lämmitystarve. Babun ym. (2025) tutkimuksessa havaittiin, että apulaitteiden energiankulutus viisinkertaistui lämpötilan laskiessa +10 °C:sta –20 °C:een (kuva 3). Suurimmat ulkolämpötilasta riippuvat tekijät olivat matkustamon lämmitys, akun lämmitys, kompressorin ja moottoritilan puhallin. Kaikki muut apulaitteet, kuten pumput ja puhaltimet, kulluttivat suunnilleen saman verran energiaa kaikissa käyttölämpötiloissa. Huomioitavaa Babun ym. (2025) tutkimuksessa on, että akusto oli lämpöeristetty, mitä nykyisissä ajoneuvoissa ei ole tarjolla.



Kuva 3. Apulaitteiden energiakulutus eri ulkolämpötiloissa (Babu ym. 2025).

Korhosen tutkimuksesta (2024b) saatiin samansuuntaisia tuloksia kuin Babun ym. (2025) tutkimuksessa matkustamon lämmityksen suhteen. Energiantarve noin nelinkertaistui lämpötilan laskiessa 10 celsiusasteesta –35 celsiusasteeseen (kuva 4).



Kuva 4. Lämmityksen ja jäähdytyksen vaikutus energiankulutukseen (Korhonen 2024b).

Matkustamon lämmityksen merkitys kokonaisenergiankulutuksesta todettiin kuitenkin molemissa tutkimuksissa melko vähäiseksi. Sen sijaan akuston lämmitys ennen ajoa lisäsi merkittävästi energian kulutusta (Korhonen 2024b). Korhosen tutkimuksen mukaan esimerkiksi 3 000 kg:n LFP-akun esilämmitys –20 celsiusasteesta 30 asteen tavoitelämpötilaan kuluttaa sähköenergiaa lähes 50 kWh. Suotuisin tilanne olisikin, että akuston ja matkustamon esilämmitys ennen ajoa tapahtuu latauksessa ollessa, jolloin lämmitykseen käytettyä energiaa ei oteta suoraan akusta ajon aikana. Akun esi- ja ylläpitolämmityksen lisäksi erityisen kylmissä, alle –10 asteen lämpötiloissa saatetaan tarvita akun lisälämmitystä myös ennen latausta, mikä vielä lisää energiankulutusta (Tikka 2024).

Akuston ja matkustamon lämmityksen lisäksi lämpötilariippuvaisia energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat ilmanvastus, vierintävastus, voimalinjahäviöt ja jarrutusvoimahäviöt (Babu ym. 2025).

Korhosen (2024b) tutkimuksessa arvioitiin kuorma-auton akuston koon tarvetta eri ajoneuvo-massoilla ja ulkolämpötiloissa, kun ajomatka oli 200, 300 tai 400 kilometriä. Tutkimuksen mukaan sekä lämpötila että ajoneuvon massa vaikuttivat merkittävästi ajoneuvon toimintamataan ja näin ollen akuston koon tarpeeseen.

Tällä hetkellä suurimpien myynnissä olevien kuorma-autojen akustot ovat noin 600 kWh:n kokoisia, mutta vuoden 2025 aikana on tulossa markkinoille suurempia vaihtoehtoja (ks. tarkemmin Venäläinen ym. 2025b). Esimerkiksi Scania tuo myyntiin kuorma-auton 728 kWh:n akustolla vuoden 2025 aikana. Korhosen (2024b) tutkimuksen mukaan raskaimmilla, 80-tonnisilla ajoneuvoilla noin 600 kWh:n akusto mahdollistaa 200 kilometrin ajomatkan, kun lämpötila on yli +5 °C (taulukko 5). 728 kWh:n akku mahdollistaa saman kantaman myös kylmissä –15...–20 celsiusasteen ulkolämpötiloissa.

Taulukko 5. Tarvittava akkukoko (kWh) eri ajoneuvomassoilla ja ulkolämpötiloissa. Toimintamatka 200 km. (Korhonen 2024b).

200km: Massa → Lämpötila ↓	10000 kg	20000 kg	30000 kg	40000 kg	50000 kg	60000 kg	70000 kg	80000 kg
25	191	232	274	315	357	435	480	526
20	194	237	281	324	367	448	495	542
15	199	244	289	334	378	462	511	560
10	204	250	297	344	391	477	528	579
5	209	258	307	355	404	494	547	600
0	215	266	317	367	418	511	567	622
-5	222	275	328	381	433	530	588	646
-10	229	284	339	395	450	551	611	671
-15	236	294	352	410	468	573	636	700
-20	244	305	366	427	488	598	665	731
-25	253	317	382	447	511	627	698	768

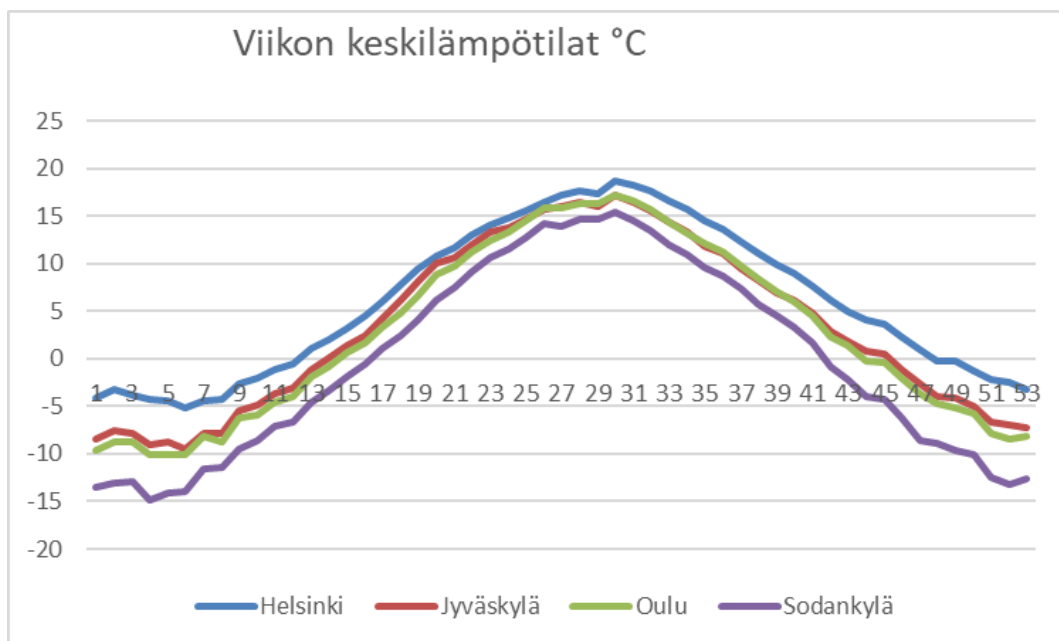
300 km:n kantamaan ei yllätä vielä 70–80 tonnin painoluokassa suurimmallakaan, 728 kWh:n akustolla (taulukko 6).

Taulukko 6. Tarvittava akkukoko (kWh) eri ajoneuvomassoilla ja ulkolämpötiloissa. Toimintamatka 300 km. (Korhonen 2024b).

300km: Massa → Lämpötila ↓	10000 kg	20000 kg	30000 kg	40000 kg	50000 kg	60000 kg	70000 kg	80000 kg
25	286	346	411	473	535	652	720	788
20	291	356	421	486	551	672	742	813
15	298	365	433	500	568	693	766	840
10	305	376	446	516	586	716	792	869
5	314	387	460	533	606	740	820	900
0	323	399	475	551	627	740	850	933
-5	333	412	491	571	650	795	882	968
-10	343	426	509	592	675	826	917	1007
-15	354	441	528	615	702	860	955	1049
-20	366	458	549	641	732	897	997	1097
-25	379	476	573	670	767	941	1046	1152

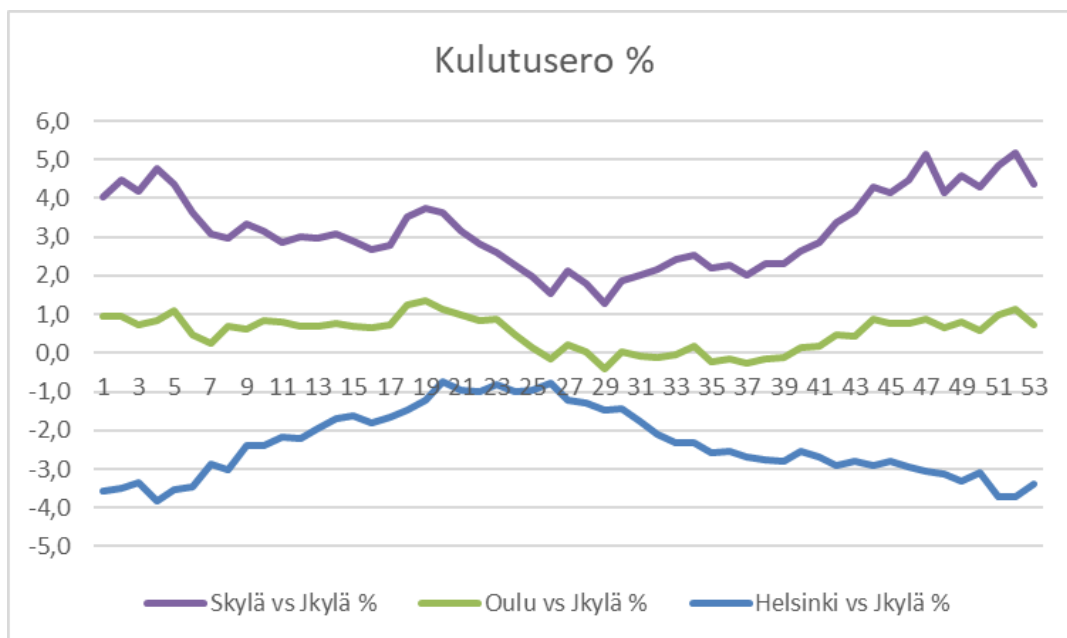
3.2 Alueellisia lämpötilatilastoja

Talvisin Suomen pohjoisten ja eteläisten paikkakuntien viikkotason keskilämpötiloissa voi olla kymmenenkin asteen ero (kuva 5). Keskipäivällä ero jää noin viiteen asteeseen.



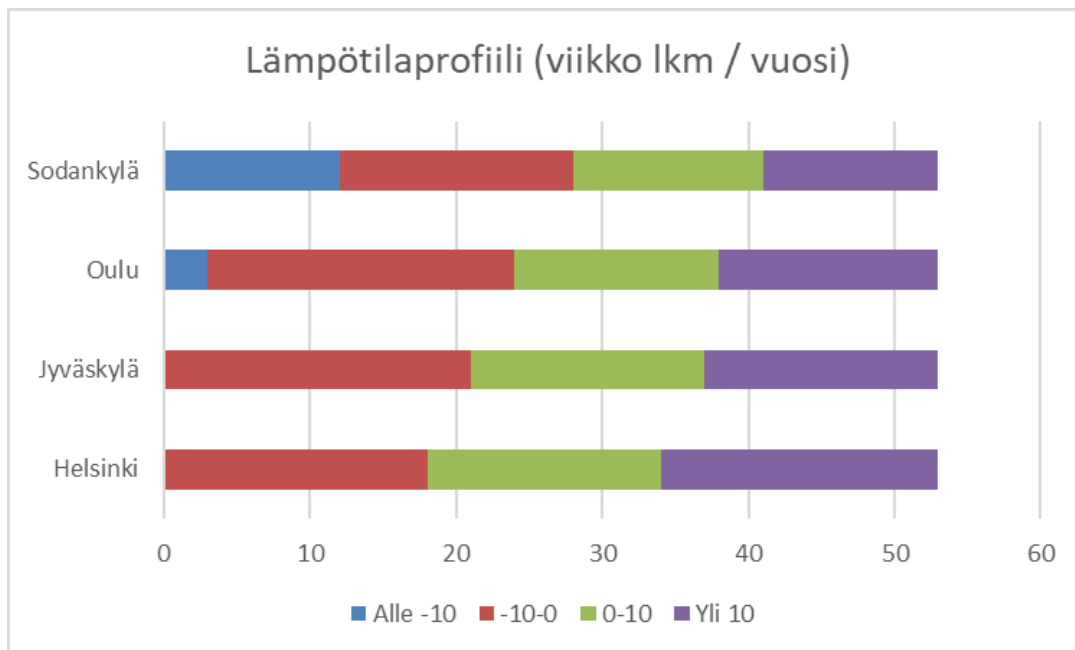
Kuva 5. Valittujen paikkakuntien viikkokohtaiset keskilämpötilat 1975–2025 (Ilmatieteen laitos 2025).

MESI-hankkeessa sähkökuorma-autojen kulutuksen ja kustannusten peruslaskelmat on tehty Jyväskylän vuositason keskilämpötilan (+4,2 °C) kulutuksen mukaan. Viikotason keskilämpötiloilla verrattuna Sodankylässä sähkökuorma-auton kulutus on suuren osaa vuotta 3–5 % suurempi kuin Jyväskylässä (kuva 6). Oulun ero Jyväskylään verrattuna on pieni. Helsingissä kulutus jää suuren osaa vuotta 2–4 % pienemmäksi kuin Jyväskylässä.



Kuva 6. Sähköisen kuorma-auton (76-tonninen metsäauto) kulutusero Sodankylässä, Oulussa ja Helsingissä, kun vertailukohteena on Jyväskylä. Kulutusvertailu on laadittu Volvon kulutuslaskelmien pohjalta.

Sähkökuorma-auton kulutus nousee selvästi pakkaslämpötiloissa (ks. luku 3.1). Helsingissä vain kolmanneksessa viikoista keskilämpötila on pakkasella (kuva 7). Myös Jyväskylässä ja Oulussa pakkasviikkojen osuus jää alle puoleen. Sodankylässä pakkasviikkojen osuus on hieman yli 50 % (neljänneksessä viikoista keskilämpötila on alle –10 °C).



Kuva 7. Valittujen paikkakuntien lämpötilaprofiilit 1975–2025 (keskilämpötilaluokkien osuus viikoista) (Ilmatieteen laitos 2025).

4 LATAUS- JA TAUKOAIKOJEN LISÄLASKELMAT

Sähköisten kuorma-autojen lataukseen kuluva-aikaa ja latauksen yhdistämistä kuljettajien taukoaikoihin on tarkasteltu yhdeksän esimerkin osalta raportissa Venäläinen ym. 2025a. Raportissa on kuvattu myös tarkemmin laskelmien laatimisperusteet. Tähän raporttiin lisättiin laskelma 68-tonniselle hakeyhdistelmälle (taulukko 7). Lisäksi 76-tonniselle metsäautolle tehtiin laskelma (taulukko 8) kylmässä olosuhteessa (−4 °C), jonka oletettiin nostavan ajonaikaista kulutusta 7 % (vaikutusta puutavaranosturin kulutukseen ei arvioitu). Kulutusvaikutus arvioitiin autovalmistajien mallinnusten ja Oulun yliopiston laskurin (Korhonen 2024a) pohjalta. Laskelmien tuloksia hyödynnetään yhdistelmien kustannuslaskelmien herkkyystarkasteluissa (luku 7).

Taulukko 7. Esimerkki 10 lataus- ja taukoajien yhdistämisestä (68-tonninen hakeauto).

Ajoneuvoyhdistelmä	68HS		Latauspisteiden lkm	2	
Latausteho kW	350		Ylimääräistä taukoa min / kuorma	38,3	
Akun varaus työpäivän alussa (70% SOC)	407				
Tehtaan ja terminaalien etäisyys (km)	100				
Työvuorojen lkm	3				
Työvuoron kesto (h)	8:09				
Ajettu matka / Työvaihe	Käytetty aika (min)	Aikasumma (min)	Aikasumma (hh:mm)	Akun varaus	Tauko aika (min)
Purku	31,9	32	0:31	404	0
Ajo 100	86,9	119	1:58	269	0
Kuormaus	31,1	150	2:29	263	0
Ajo 100	94,1	244	4:03	38	0
Lataus	45,0	289	4:48	300	45
Purku	31,9	321	5:20	297	0
Ajo 100	86,9	408	6:47	162	0
Kuormaus	31,1	439	7:18	156	0
Lataus	30,0	469	7:48	331	30
Kuljettajan vaihto					
Ajo 100	94,1	563	9:22	106	0
Purku	31,9	595	9:54	102	0
Lataus	45,0	640	10:39	365	45
Ajo 100	86,9	727	12:06	230	0
Kuormaus	31,1	758	12:37	224	0
Lataus	40,0	798	13:17	457	40
Ajo 100	94,1	892	14:51	232	0
Purku	31,9	924	14:23	229	0
Kuljettajan vaihto					
Ajo 100	86,9	1011	16:50	94	0
Kuormaus	31,1	1042	17:21	88	0
Lataus	45,0	1087	18:06	356	45
Ajo 100	94,1	1181	19:40	131	0
Purku	31,9	1213	20:12	128	0
Lataus	45,0	1258	20:57	390	45
Ajo 100	86,9	1345	22:24	255	0
Kuormaus	31,1	1376	22:55	249	0
Ajo 100	94,1	1470	0:29	24	0

Taulukko 8. Esimerkki 11 lataus- ja taukoajojen yhdistämisestä (76-tonninen metsäauto – 4 °C:n lämpötilassa).

Ajoneuvoyhdistelmä	76MS		Latauspisteiden lkm	2	
Latausteho kW	350		Ylimääräistä taukoa min / kuorma	45,0	
Akun varaus työpäivän alussa (70% SOC)	407				
Metsän ja terminaalin etäisyys (km)	100				
Työvuorojen lkm	3				
Työvuoron kesto (h)	8:00				
Matka / Työvaihe	Käytetty aika (min)	Aikasumma (min)	Aikasumma (hh:mm)	Akun varaus	Taukoaika (min)
Kuljettaja 1 aloittaa 00:00					
Purku	42	42	0:42	389	0
Ajo 100	87	129	2:09	204	0
Kuormaus	60	189	3:08	167	0
Lataus	45	234	3:53	429	45
Ajo 100	94	328	5:27	121	0
Purku	42	370	6:10	103	0
Lataus	35	405	6:45	307	35
Ajo 100	87	492	8:12	123	0
Kuljettaja 2 aloittaa 9:11					
Kuormaus	60	552	9:11	85	0
Lataus	45	597	9:56	348	45
Ajo 100	94	691	11:30	40	0
Lataus	55	746	12:25	361	55
Purku	42	788	13:08	343	0
Ajo 100	87	875	14:34	158	0
Kuormaus	60	934	15:34	121	0
Lataus	50	984	16:24	412	50
Kuljettaja 3 aloittaa 17:58					
Ajo 100	94	1079	17:58	105	0
Purku	42	1121	18:40	86	0
Lataus	45	1166	19:25	349	45
Ajo 100	87	1253	20:52	164	0
Kuormaus	60	1312	21:52	127	0
Lataus	40	1352	22:32	360	40
Ajo 100	94	1446	0:06	52	0

5 AKUT

Ajoneuvojen akkujen hintakehitys on ollut pitkään laskeva ja kehityksen odotetaan jatkuvan samanlaisena energiatihedyyden kasvaessa ja uusien teknologioiden kehittyessä. Kuitenkin akustot ovat edelleen kalliita ja sähkökuorma-auton korkea hinta johtuu ensisijaisesti akuston hankintakustannuksista. Akuston toimintakykyyn ja elinikään vaikuttavat useat tekijät kuten ulkolämpötila, lataustila, akun sisäinen lämpötila ja lataustapa. Ajoneuvon latauksen ja käytön optimoinnilla pystytään vaikuttamaan merkittävästi akuston elinikään.

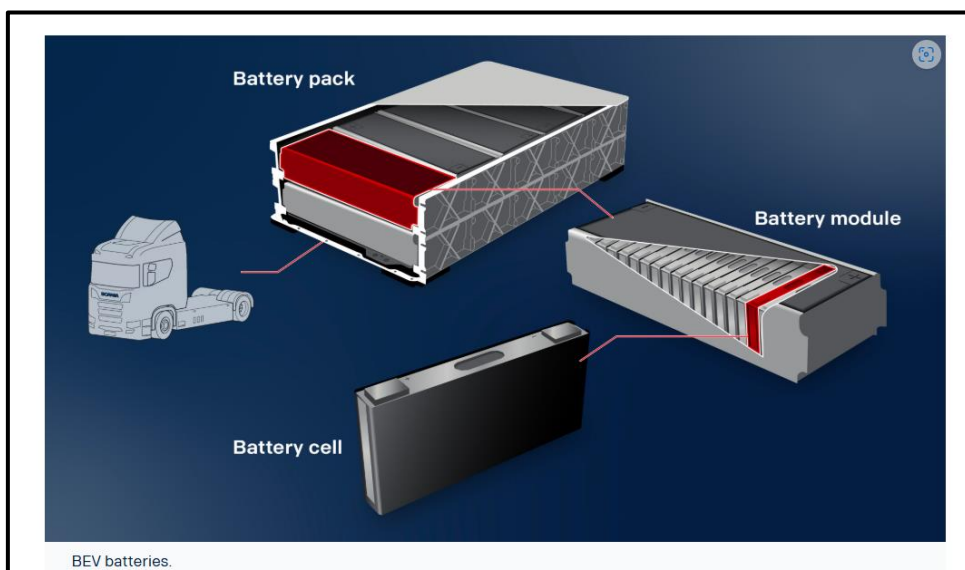
Myös akkukennomateriaalien ominaisuudet eroavat toisistaan mm. energiatihedyyden ja lataus-sykliden määrän suhteen. Sähkökuorma-autoa hankkiessa olisikin hyvä arvioida akuston soveltuvuutta käyttötarkoitukseen.

Taulukko 9. Akkuihin liittyviä käsitteitä

SOC (State of charge)	Akun varaustila prosentteina
SOH (State of health)	Akun kunto/kapasiteetti prosentteina, verrattuna akun alkuperäiseen kapasiteettiin.
EFC (Equivalent full cycles)	Täysien syklien määrä. 100 % latautuminen ja purkautuminen tarkoittaa yhtä täyttä sykliä.
C-arvo (C-rate)	Lataus- tai purkuteho suhteessa akun kapasiteettiin. Esim. 500 kWh:n akku 250 kW:n latauksella latautuu täyteen 2 h. (250 kW/ 500 kWh=0,5C)
DOD (Depth of discharge)	Purkaussyvyys Esim. purkaus 80 prosentista 20 prosenttiin tarkoittaa 60 prosentin purkaussyvyyttä

5.1 Yleistä

Sähkökuorma-autojen akusto muodostuu akkupaketeista, joiden määrä vaihtelee ajoneuvon ominaisuuksien ja käyttötarkoituksen mukaan. Tyypillisesti akustossa on 4–6 akkupakettia, ja valmistajat voivat myös räätälöidä akustoja ajoneuvoihin asiakkaan toiveiden mukaisesti (Scania 2025a). Akkupaketit sisältävät satoja yksittäisiä akkukennoja (kuva 8).



Kuva 8. Sähkökuorma-auton akusto koostuu akustosta (battery pack), akkupaketeista (battery module) ja akkukennoista (battery cell) (Scania 2025a).

Akkupakettien kapasiteetti vaihtelee valmistajittain. Esimerkiksi Volvon sähkökuorma-autoissa yhden akkupaketin kapasiteetti on 90 kWh, jolloin kuudella akkupaketilla saavutetaan akustossa yhteensä 540 kWh:n kokonaiskapasiteetti (Volvo 2025).

Sähköajoneuvoissa käytetään yleisesti litiumioniakkuja, joiden ominaisuudet soveltuvat hyvin liikenteen sähköistämiseen verrattuna muihin perinteisiin akkutyyppisiin. Litiumioniakkujen korkea energiatiheys mahdollistaa suuren energiamäärän varastoinnin ilman, että akuston paino nousee ajoneuvossa liian korkeaksi. Lisäksi hyvä lataus- ja purkausnopeus mahdollistavat nopean latauksen ja tarvittaessa myös nopean energian tuoton ajon aikana (Wassiliadis ym. 2023; Rehan 2024).

Litiumioniakkutyyppinä on lukuisia, mutta sähköisissä raskaissa kuorma-autoissa käytetään lähinnä NMC-, LFP- tai NCA- akkuja (taulukko 10). Akkujen nimet muodostuvat akkukennojen katodin aktiivimateriaalien lyhenteistä. NMC-akuissa kennojen katodimateriaaleina käytetään litiumin lisäksi nikkeliä, mangaanioksidia ja kobolttia. Kennoista on eri versioita, joissa katodimateriaalien suhteet vaihtelevat. Sähköajoneuvoissa käytetään yleisimmin NMC-811-akkukennoja, joissa nikkelin, mangaanioksidin ja koboltin suhteet ovat 80, 10 ja 10 prosenttia. LFP- akuissa kennojen katodimateriaaleja ovat litium, rauta ja fosfaatti ja NCA-akkukennojen katodimateriaalina käytetään litiumia, nikkeliä, kobolttia ja alumiinioksidia.

Taulukko 10. Eri kuorma-autovalmistajien käyttämät akkujen kennotyypit.

Ajoneuvovalmistaja	Akkukennotyyppi	Lähde
MAN Truck & Bus	NMC	Linkki
Mercedes Benz Trucks (Daimler Truck AG)	LFP	Linkki
Scania	NMC	Linkki
Volvo	NCA	Linkki Silvonen 2025
DAF	LFP	Linkki

5.2 Kalenteri- ja syklinen ikääntyminen

Ajan myötä akun toimintakyky heikkenee kapasiteetin vähenemisen ja sisäisen vastuksen kasvun seurauksena. Tämä johtaa käytettävissä olevan energian ja tehon alenemiseen (Leijon 2025; Spitthoff ym. 2021). Akun toimintakyky laskee käytön vaikutuksesta, mutta myös akun ollessa käyttämättömänä, sillä akussa tapahtuu jatkuvasti kemiallisia reaktioita (Rehan 2024). Akun kalenteri-ikäntyminen kuvaa käytön ulkopuolella tapahtuvaa ikääntymistä, kun taas syklinen ikääntyminen mittaa käytön vaikutuksesta tapahtuvaa ikääntymistä, jolloin akku käy läpi jatkuvia lataus- ja purkaussyklejä.

Kalenteri-ikäntymistä tapahtuu ajo- tai lataustapahtumien ulkopuolella tai ennen ajoneuvon varsinaista käyttöönottoa, esimerkiksi akkuvalmistajien varastoissa tai ajoneuvon myyntiliikkeessä (Leijon 2025). Akun kalenteri-ikäntymiseen vaikuttavia stressitekijöitä ovat varaustila, lämpötila ja aika (Lehtola ja Zahedi 2021; Spitthoff ym. 2021; Rehan 2024; Leijon 2025).

Akun säilyttäminen korkeassa varaustilassa nopeuttaa ikääntymistä (Spitthoff ym. 2021; Rehan 2024). Korkea akun varaustila tarkoittaa suurempaa akkuun varastoitunutta energiaa, mikä kiihdyttää akun sisäisiä reaktioita ja lisää akun sisäistä vastusta. Tämä johtaa akun sisäisen lämpötilan nousuun (Wassiliadis ym. 2023; Rehan 2024).

Korkea varastointilämpötila kiihdyttää ikääntymisprosessia entisestään (Spitthoff ym. 2021). Kalenteri-ikäntymisen kannalta suositeltavinta on siis säilyttää akkua alhaisessa varaustilassa (Lehtola ja Zahedi 2021). Myös viileässä säilyttämisen on havaittu vähentävän kalenteri-

ikäntymistä. NMC-akkukennoilla +5 asteen säilytyslämpötila vähensi ikäntymistä myös akun korkeassa varaustilassa (Rehan 2024).

Syklistä ikäntymistä tapahtuu, kun akku käy läpi jatkuvaa käytöstä aiheutuvaa lataus- ja purkaussykliä (equivalent full cycle, EFC). EFC:n lukumäärällä onkin keskeinen vaikutus akun elinkaareen (Leijon 2025). Sykliseen ikäntymiseen vaikuttavia tekijöitä ovat (Spitthoff ym. 2021; Rehan 2024; Leijon 2025):

- akun varaustila (SOC)
- lämpötila
- purkautumisaste (Depth of Discharge, DOD)
- latausteho ja purkunopeus suhteessa akun kapasiteettiin (C-arvo).

Yksittäisen tekijän vaikutusta sykliseen ikäntymiseen on vaikea arvioida, sillä tekijät ovat voimakkaasti toisistaan riippuvaisia (Wassiliadis ym. 2023; Rehan 2024). Myöskään tietty latausteho ei itsessään edistä akun ikäntymistä, vaan ikäntymisen kannalta olennaista on lataus- tai purkausteho suhteessa akun kapasiteettiin (C-arvo). Esimerkiksi 1C tarkoittaa akun latautumista tyhjästä täyteen yhdessä tunnissa.

Korkea C-arvon lataus johtaa akun sisäisen lämpötilan nousuun. Sama ilmiö tapahtuu myös nopean purkaustapahtuman aikana, kun akusta vaaditaan suuria tehoja. Tämä aiheuttaa vähitellen akun kapasiteetin heikkenemistä ja sisäisen vastuksen kasvua. Syklistä ikäntymistä tapahtuu vähiten, kun latauksen tai purkauksen C-arvo on maltillinen ja akun sisäinen lämpötila pidetään käytön aikana suotuisassa 25 celsiusasteessa. Hyvin matalat ja korkeat akun sisäiset lämpötilat latauksen tai purkauksen aikana nopeuttavat ikäntymistä (Leijon 2025).

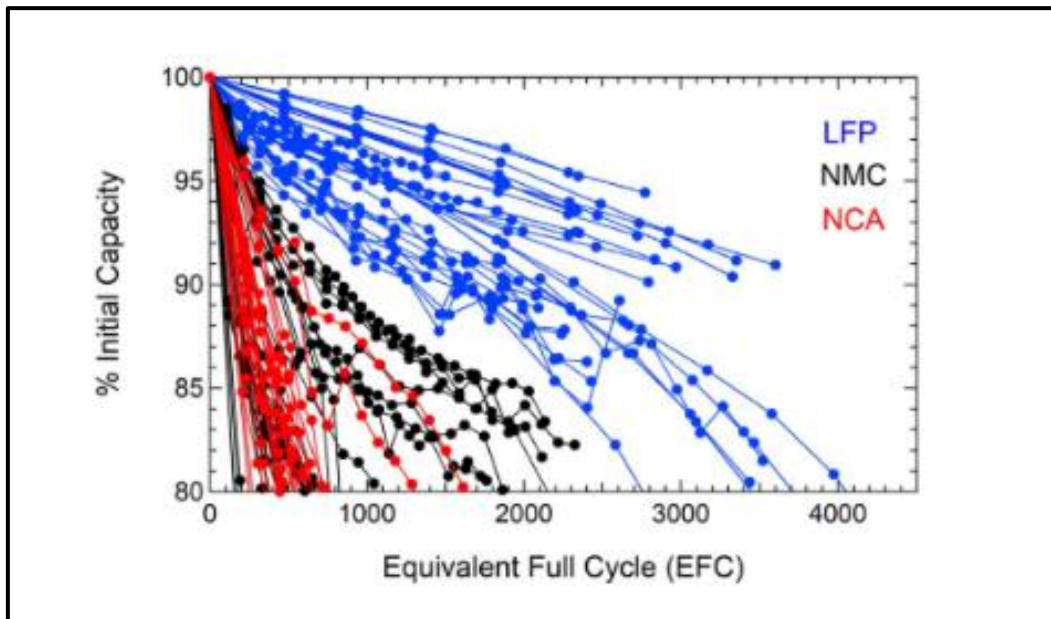
DOD (Depth of Discharge), jota kutsutaan myös syklin syvyydeksi, tarkoittaa prosenttiosuutta akun maksimikapasiteetista, joka on ladattu tai purettu käytön aikana (Rehan 2024). Jos akun varaustila laskee esimerkiksi 80 prosentista 20 prosenttiin, DOD on 60 %. Eri tutkimuksissa todetaan, että hyvin korkeiden ja alhaisten varaustilojen välttäminen ja akun käyttö noin 35–55 %:n varaustilassa (DOD 20 %) ovat merkittäviä keinoja vähentää akun ikäntymistä (Lehtola ja Zahedi 2021; Leijon 2025). Akkukennotyypillä on kuitenkin huomattava vaikutus siihen, kuinka paljon DOD vaikuttaa akun elinkaareen (Rehan 2024).

Akun kalenteri- ja syklinen ikäntyminen on aluksi hidasta, kunnes se kiihtyy merkittävästi akun ikäntyessä. Tästä syystä sähköisten ajoneuvojen akun katsotaan olevan elinkaarensa päässä (End of life, EOL) ensisijaisessa käytössä, kun akun kapasiteetista on jäljellä vielä 70–80 % (Leijon 2025). Sähkökuorma-autoissa EOL: n kapasiteetin taso määritellään sähköhenkilöautoja korkeammaksi, yleensä 80 %:iin (Schneider ym. 2023; Zähringer ym. 2024).

5.3 Akkukennotyyppien ominaisuudet

Akkukennojen käyttöikään vaikuttavat useat eri tekijät. Haitallisia ovat kennojen korkeat ja matalat sisälämpötilat, kapasiteetin ääripäiden toistuva käyttö, suuri lataussyklien määrä sekä suuret lataus- ja purkausnopeudet. Näiden tekijöiden vaikutus vaihtelee kuitenkin akkukennomateriaalin mukaan, ja eri akkukennotyypit reagoivat kuormitukseen eri tavoin.

LFP-akkujen käyttö on yleistynyt viime vuosina ja niitä käytetään laajasti sähköajoneuvoissa ja sähkövarastointijärjestelmissä niiden edullisuuden, turvallisuuden ja kestävyysvuoksi (Rostami ym. 2024). LFP-akun merkittävä etu on erinomainen syklkestävyys, ts. akku kestää hyvin lukuisia täysiä lataus- ja purkaustapahtumia. Pregerin (2020) tutkimuksessa LFP-akkukennoilla täysien syklien määrä (EFC) oli 2 500–9 000, kun NMC-kennoilla se oli 200–2 500 ja NCA-kennoilla 200–1 500 (kuva 9). Huomioitavaa tutkimuksessa oli, että kaikki LFP-akkukennot eivät ehtineet saavuttaa 80 %:n kapasiteetin alarajaa testiajanjakson aikana.



Kuva 9. EFC LFP-, NMC- ja NCA-akuilla (Preger 2020).

LFP-akut kestävät hyvin suuria purkaussyvyys (DOD) (Preger 2020) ja akun ominaisuudet soveltuvat hyvin myös korkeiden C-arvojen suuritehoiseen lataukseen. (Schneider ym. 2023; Zahringer ym. 2024). LFP-akut ovat lämpöstabiileja, mikä lisää akun käyttöturvallisuutta. Akkua pidetään myös ympäristöystävällisempänä verrattuna muihin litiumioniakkuihin, sillä akku ei sisällä eettisesti kyseenalaisia akkumateriaaleja kuten kobolttia tai nikkeliä (Busck ym. 2024).

LFP-akut eivät kuitenkaan yllä energiatiheudessaan NMC- tai NCA-akun tasolle, mikä rajoittaa ajoneuvon toimintasädettä (Preger 2020). Alhainen energiatiheys vaikuttaa myös negatiivisesti akun painoon. LFP-akut soveltuvatkin hyvin lyhyen matkan operointiin, joka mahdollistaa akun useat ja suuritehoiset lataukset pysähdysten aikana (Schneider ym. 2023). Pregerin (2020) tutkimuksessa vielä todetaan, että vaikka LFP-akkujen syklinen kestävyys on selvästi muita akkutyppejä parempi, ero tasoittuu, kun tarkastellaan koko elinkaaren aikaista kokonaisenergiantuottoa.

NMC-akun energiatiheys on erinomainen verrattuna muihin akkutyppeihin, mikä tuo etuja pitkämatkaiseen raskaaseen kuljetukseen (Schneider ym. 2023; Busck ym. 2024). NMC-akun EFC on kuitenkin selkeästi LFP-akku heikompi (kuva 9) johtuen mm. herkkyydestä suuremmille purkautumissyvyyksille (DOD). Pregerin (2020) tutkimuksessa todettiin, että NMC-akuilla korkea DOD aiheuttaa merkittävää kapasiteetin menetystä ja lyhentää käyttöikää.

NMC-akkujen valmistukseen käytetään kobolttia ja nikkeliä, joihin liittyy sekä ympäristö- että sosiaalisen kestävyys ongelmia. Erityisesti koboltin hankintaketjussa on haasteita, mikä aiheuttaa epävarmuutta hintakehityksessä (Busck ym. 2024). NMC-811-akuissa nikkelin määrää on lisätty ja koboltin määrää vähennetty verrattuna muihin NMC-akkutyppeihin. Tämä lisää akun kapasiteettia ja energiatihelyä, vaikuttaa myönteisesti hintaan, sillä nikkeli on edullinen materiaali verrattuna kobolttiin. Nikkelin lisääminen akuissa vähentää kuitenkin lämpöstabiilisuutta, mikä vaikuttaa akun käyttöturvallisuuteen (Spitthoff ym. 2021; Busck ym. 2024).

NCA-akun on todettu kestävän hyvin vaativia latausolosuhteita ja verrattuna muihin akkukentyypppeihin, korkean C-arvon lataustapahtumat eivät merkittävästi vaikuta akun elinkaareen (Wassiliadis ym. 2023). NCA-akku hyödyt tulevatkin esille käytössä, jossa tarvitaan usein nopeaa suurteholatausta (Gehm 2024). EFC on kuitenkin alhaisempi verrattuna NMC- tai LFP-akkuihin (kuva 9). Samoin kuin NMC-akulla, suuri DOD vaikuttaa NCA-akulla merkittävästi akun kapasiteetin alenemiseen ja EFC:n määrän vähenemiseen (Preger 2020). NCA-akun

energiatiheys on vastaava tasoa kuin NMC-akun, mutta ominaispaino on NMC-akkua kevyempi.

5.4 Lämpötila

5.4.1 Lämpötilan vaikutus akun elinkaareen ja toimintakykyyn

Akun sisäisen lämpötilan hallinnalla on ratkaiseva merkitys syklisen ikääntymisen hillitsemisessä ja akun suorituskyvyn säilyttämisessä (Spitthoff ym. 2021; Huhtala ym. 2024). Litiumioniakkujen optimaalinen toimintalämpötila on 15–35 astetta (Maciocha ym. 2025; Moradi ym. 2025). Tätä korkeammat ja alhaisemmat lämpötilat heikentävät akun suorituskykyä ja ovat merkittävimmät akun ikääntymiseen vaikuttavat tekijät (Spitthoff ym. 2021; Wassiliadis ym. 2023).

Korkeat lämpötilat ovat akun elinkaaren kannalta erityisen haitallisia, sillä ne kiihdyttävät kemiallista vanhenemista ja kasvattavat sisäistä resistanssia. Akun syklisen iän on todettu olevan 250 % pidempi 25 °C:n lämpötilassa verrattuna 55 °C:een. Alhaiset lämpötilat eivät vaikuta akun sykliseen ikääntymiseen yhtä haitallisesti kuin korkeat lämpötilat. Esimerkiksi –20 °C:ssa akun syklinen käyttöikä lyheni 30 % 25 celsiusasteen lämpötilaan verrattuna. (Maciocha ym. 2025).

Akun lämpötila nousee käytön aikana erityisesti korkean C-arvon lataus- ja purkaustapahtumien sekä puutteellisesti toimivan lämmönhallintajärjestelmän seurauksena. Kohtuullisesti kohonnut lämpötila vähentää akun sisäistä vastusta, mikä edistää nopeaa latausta tai purkausta. Samalla se kuitenkin kiihdyttää kiinteän elektrolyyttivälikerroksen (solid electrolyte interphase, SEI) kasvua. Tämä aiheuttaa akun aktiivisen materiaalin häviämistä, minkä vuoksi akun kapasiteetti laskee ajan myötä (Wassiliadis ym. 2023; Rehan 2024).

Liiallinen lämmönnousu akussa on aina haitallista ja voi pahimmillaan johtaa lämpökarkaamiseen. Lämpökarkaamisessa ylikuumentunut akkukenno alkaa itse tuottaa lämpöä ilman ulkoista virranlähdettä. Yhden akkukennon ylikuumeneminen voi laukaista ketjureaktion, jossa myös viereiset kennot alkavat ylikuumentua. Tämä johtaa akkukennojen tai moduulin vaurioitumisen ja pahimmillaan akkupaloon, mikä muodostaa merkittävän paloturvallisuusriskin koko ajoneuvolle (Busck ym. 2024; Huhtala ym. 2024).

Alle nolla celsiusasteen lämpötilat latauksen tai purkauksen aikana hidastavat akun kineettisiä prosesseja, kuten litiumionien reaktiivisuutta ja liikkuvuutta. Tämä lisää akun sisäistä vastusta ja jännitehäviöitä (Babu ym. 2022; Wassiliadis ym. 2023), jolloin akku purkautuu enemmän, mutta kyky latautua ajon tai latauksen aikana heikkenee. Akkukennoissa tämä voi johtaa litiumin saostumiseen eli litiumin pinnoittumiseen (lithium plating) aiheuttaen vähitellen akun kapasiteetin laskua.

Alhaiset lämpötilat voivat myös aiheuttaa tehohäviöitä, sillä akussa syntyvä ylimääräinen lämpö ei pääse poistumaan tehokkaasti, jolloin akku lämpenee epätasaisesti. Tämä johtaa ajoneuvon tilapäiseen toimintakyvyn heikkenemiseen (Wassiliadis ym. 2023).

5.4.2 Akun lämmönhallintajärjestelmä

Sähköajoneuvoja käytetään hyvin vaihtelevissa lämpöolosuhteissa, jolloin akku voi altistua haitallisen korkeille tai alhaisille lämpötiloille. Lähes kaikissa nykyaikaisissa sähköajoneuvoissa onkin käytössä lämmönhallintajärjestelmä (Battery Thermal Management System, BTMS), jonka tehtävänä on ylläpitää lämpötila tasaisena optimaalisella 15–35 °C:n alueella sekä akkukenno- että moduulitasolla. Tämä parantaa akun suorituskykyä, pidentää sen käyttöikää ja lisää järjestelmän turvallisuutta (Spitthoff ym. 2021).

Lämmönhallintajärjestelmän tarkoitus on kontrolloida akuston lämpötilaa käytön aikana. Järjestelmän toiminnan voi eritellä seuraavasti:

- Akun esilämmitys ennen ajoa
- Akun lämpötilan pitäminen optimaalisena ajon aikana
- Akun lämmitys ennen latausta
- Akun viilennys latauksen aikana.

Lämmönhallintajärjestelmän ominaisuudet vaihtelevat ajoneuvomerkin ja -mallin mukaan. Uusimmissa, kehittyneissä malleissa järjestelmät ovat pitkälle automatisoituja, ja niissä hyödynnetään tekoälyä ja koneoppimista (Leijon 2025). Nykyisin yleisin jäähdytysmenetelmä on nestejäähdytys, joka siirtää lämpöä tehokkaasti ja tasaa akuston lämpötilaeroja (Moradi ym. 2025).

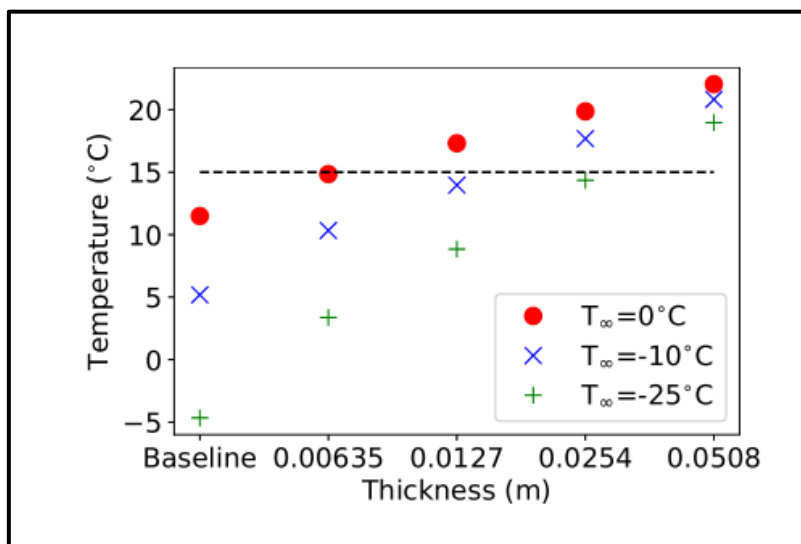
5.4.3 Akuston eristys/kapselointi

Sähköajoneuvojen akuston eristämistä on tutkittu, mutta käytännön sovelluksia ei ole vielä markkinoilla. Akuston kotelointi/eristys on passiivinen ja kustannustehokas lämmönhallintaratkaisu, jonka avulla akun lämpötila pidetään kylmissä olosuhteissa optimaalisena ja vähennetään lämpöhäviötä. Babun ym. (2022) tutkimuksessa käytettiin simulointimallia, jossa akkupaketit eristettiin lämpöä eristävillä materiaaleilla.

Tutkimuksessa tarkasteltiin akun sisälämpötilan kehitystä vaihtelevissa ulkolämpötiloissa sekä eristyspaksuuden vaikutusta lämpötilan hallintaan. Simuloinnissa ajoneuvon kokonaismassa oli 15 000 kg ja akussa käytettiin NMC-akkukennoja.

Tutkimuksessa todettiin, että akuston eristys vähensi keskimääräistä energiankulutusta lämpötiloissa, jotka olivat 10 °C tai tätä alhaisempia. Esimerkiksi -25 °C:ssa energiankulutuksen säästö oli noin 9 %.

Eristyksen todettiin vähentävän merkittävästi lämmönsiirtymistä akuston ja ympäristön välillä myös 12 tunnin käyttötaujan aikana (kuva 10). Esimerkiksi 5,08 cm:n paksuinen eriste kykeni ylläpitämään akkupaketin lämpötilan suotuisana jopa -25 °C:n ympäristölämpötilassa, jolloin akuston lämmitykselle ei ole tarvetta ennen ajoa.

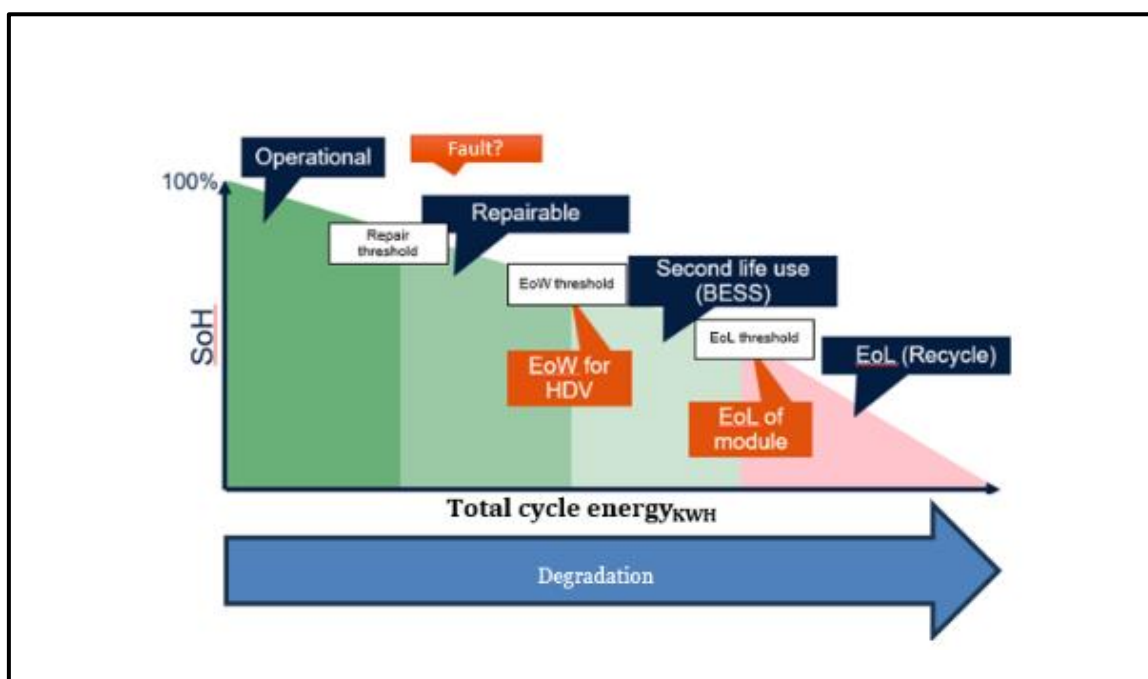


Kuva 10. Akun lämpötila 12 tunnin käyttötaujan jälkeen 0, -10 ja -25 asteen ulkolämpötiloissa. Eristyksen paksuus vaikuttaa akun sisäiseen lämpötilaan (Babu ym. 2022).

5.5 Akuston korjaus, uusiokäyttö ja kierrätys

Raskaiden ajoneuvojen akkujen kiertotalous ottaa vasta ensiaskeliaan, kun viallisia tai käyttöiän päässä olevia akkupaketteja tulee vähitellen kierrätettäväksi. Kiertotalouden kannalta optimaalisinta olisi, jos akun elinkaari olisi mahdollisimman pitkä. Kuitenkin tällä hetkellä suurin osa käytetyistä akuista menee vielä suoraan murskattavaksi.

Raju (2024) kuvaa akkujen tavoiteltavaa elinkaarta suhteessa SOH:iin (State of health) (kuva 11). Riippuen akun jäljellä olevasta kapasiteetista ja kunnosta akkupaketit joko korjataan ja palautetaan ensisijaiseen käyttöön tai siirretään toissijaiseen käyttöön. Viimeinen vaihtoehto on kierrätys, jossa uudelleen hyödynnettävät materiaalit ja raaka-aineet kerätään talteen (Raju 2024).



Kuva 11. Raskaiden kuorma-autojen akkujen uusiokäyttö ja kierrätys (Raju 2024).

5.5.1 Akuston korjaus ja uusiokäyttö

Ajoneuvon akuston on tarkoitus kestää koko ajoneuvon elinkaaren ajan, mutta akkukennot voivat myös vikaantua ennenaikaisesti. Tällä hetkellä yksittäisiä akkukennoja ei vaihdeta eikä niitä voi korjata korjaamalla, vaan korjaus perustuu koko akkupaketin vaihtoon. Vialliset akkupaketit lähetetään eteenpäin arvioitavaksi ja mahdollisesti korjattavaksi tähän erikoistuneisiin kierrätyskeskuksiin. Korjatut akkupaketit palautuvat uudelleenkäyttöön varaosa-akuiksi.

Korjattujen akkupakettien uudelleenkäyttö raskaissa ajoneuvoissa on vielä vähäistä, mutta käyttö varaosa-akkuina tulee yleistymään. Uuden akkupaketin asentaminen käytettyyn ajoneuvoon ei välttämättä ole tarkoituksenmukaista, sillä akkupaketin elinikä todennäköisesti ylittäisi ajoneuvon jäljellä olevan käyttöiän. Käytetyn ja korjatun akun hyödyntäminen on ajoneuvon arvoon mukautettu kunnostusratkaisu, jolloin akku on alkuperäisessä käytössä käyttökänsä loppuun saakka (Scania 2025b).

Metsäsektorin kuljetuksissa käytettävien suurempien sähkökuorma-autojen huoltopalvelut ovat saatavilla valtakunnallisesti sähkökuorma-autohankintojen mukaisesti.

5.5.2 Toissijainen käyttö ja jälleenmyyntiarvo

Kuorma-auton akusto on elinkaarensa päässä, kun sen SOH laskee alle 80 %, vaikka akusto olisi teknisesti edelleen toimintakykyinen. Tämän jälkeen akut voidaan hyödyntää toissijaisissa sovelluksissa, kuten kiinteissä energiavarastoissa. Vaikka toissijainen käyttö on vielä vähäistä, arvioiden mukaan käytettyjen akkujen käyttö- ja jälleenmyyntiarvo muissa sovelluksissa voi olla merkittävä (Parviziomran ja Elliot 2024).

Akkujen toissijaisen käytön edellyttämä sääntely, markkinarakente, toimijaverkosto, teknologia ja työkalut eivät ole vielä kehittyneet ja vakiintuneet, mikä vaikeuttaa akkujen uudelleenkäyttöä ja samalla arvonmäärittystä (Parviziomran ja Elliot 2024). Tehokkaiden käytettyjen akkujen määrän kasvu avaa kuitenkin tulevaisuudessa uusia käyttömahdollisuuksia esimerkiksi erilaisissa energiavarastoratkaisuissa (lisää luvussa 5.5) tuoden positiivisia vaikutuksia ajoneuvon elinkaarikustannukseen (total costs of ownership, TCO) (Raju 2024).

Akun jäännösarvoa ei vielä useinkaan eritellä ajoneuvon elinkaarikustannuksissa, vaan sisällytetään ajoneuvon kokonaisjäännösarvoon. Parviziomran ja Bergqvist (2025) arvioivat, että raskaiden kuorma-autojen akkujen, joiden SOH on alle 80 % eikä kapasiteetti enää riitä ammatilliliikenteeseen, jälleenmyyntiarvo voi olla jopa 70 % jäljellä olevan kapasiteetin arvosta.

5.5.3 Kierrätys

Akkujen uusiokäyttöä ja raaka-aineiden kierrätystä sääntelee Euroopan parlamentin ja neuvoston akku- ja paristoasetus 2023/1542. Vuoden 2023 asetuksen tavoitteena on pitää akkujen kysynnän kasvu ympäristökestävänä. Kierrätettyjen materiaalien käyttöosuusvelvoite on 8 vuotta asetuksen voimaantulosta koboltille 16 %, lyijylle 85 % sekä litiumille ja nikkeliä 6 %. Vuoden 2027 lopussa on kerätyistä akuista ja paristoista otettava talteen 90 % akkujen koboltista, kuparista, lyijystä ja nikkelistä sekä 50 % litiumista. Lisäksi isoimpiin akkuihin liitetään digitaalinen akkupassi, jolloin kuluttajien ja korjaajien on mahdollisuus saada tarkempaa tietoa akkujen valmistuksesta, suorituskyvystä ja koostumuksesta (Ympäristöministeriö 2023).

Kierrätykseen tulevien akkukennojen määrä kasvaa tulevaisuudessa merkittävästi. Tällä hetkellä osa kennomateriaaleista saadaan jo hyvin eroteltua ja käytettyä uudelleen akkujen raaka-aineina. Esimerkiksi litium, nikkeli ja kromi saadaan hyvin kierrätettyä, mutta mangaanin ja grafiitin kierrätyksessä on vielä kehittämishaasteita. Myös eri akkukennotyyppien kierrätyksessä on merkittäviä eroja. NMC- ja NCA- akkujen kierrätys on jo hyvin kaupallistunut ja skaalautunut, mutta LFP-akkujen kierrätys on vielä kehittymätöntä. LFP-akkujen kierrätystä hidastaa katodimateriaalina käytettävien fosforin ja raudan alhainen arvo, joka ei kata kierrätysprosessin kokonaiskustannuksia. LFP-akkujen kestävää käyttöä ja kierrätysshaasteiden ratkaisua edistäisikin akkujen käyttö energiavarastoissa ensisijaisen käytön jälkeen. (Virtanen 2025) Kierrätettävät akkukennot (paitsi LFP-akkukennot) murskataan mustaksi massaksi, josta raaka-aineet voidaan eri tekniikoita hyödyntäen erotella toisistaan. Myös akkukennojen nopea massatestaus on kehittynyt niin paljon, että toimivista kennoista pystytään kustannustehokkaasti rakentamaan uusioakkuja.

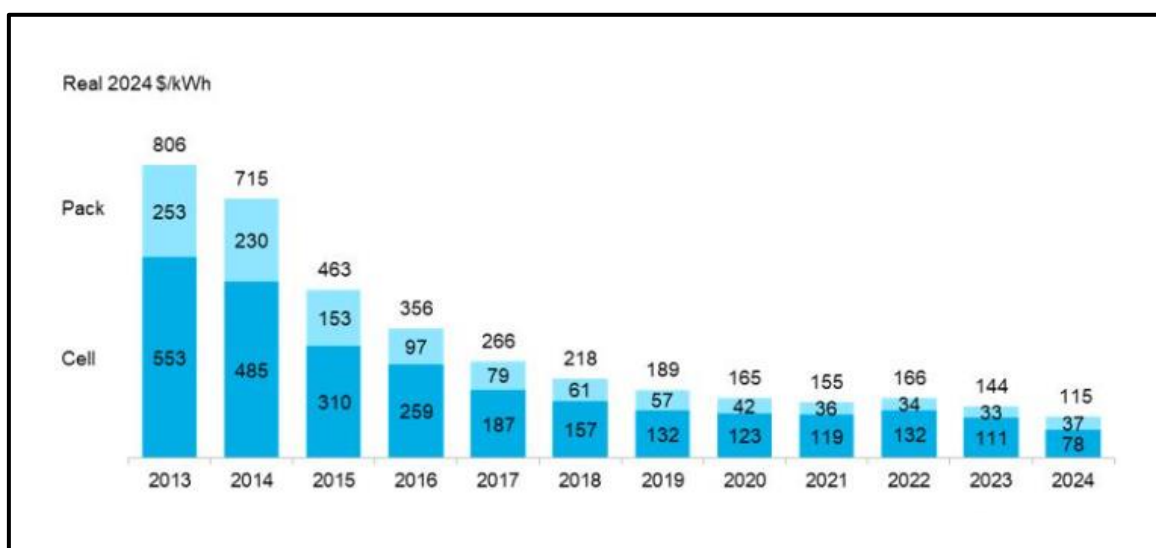
Suomessa toimivia akkujen kierrätykseen erikoistuneita yrityksiä on muun muassa Fortum Battery Recycling Oy, jonka Harjavallan tehtaalla otetaan talteen jopa 95 % mustan massan sisältämistä arvokkaista metalleista. Nämä metallit voidaan hyödyntää uudelleen esimerkiksi uusien akkujen valmistuksessa (Fortum 2023, Fortum 2024).

CeLLife Oy on kehittänyt nopean akkukennojen massatestausjärjestelmän, jonka avulla pystytään testaamaan 4 000–5 000 akkukennoa päivässä. Toimivista kennoista rakennetaan uusioakkuja (Virtanen 2025).

5.6 Akkujen hintakehitys

Akkukennojen valmistuksessa merkittävin kustannuserä muodostuu katodimateriaaleista, ja nämä vaihtelevat kennotyyppien mukaan. Kuitenkin litium ja grafiitti ovat materiaaleja, joita tarvitaan kaikissa litiumioniakuissa. Esimerkiksi NMC-akuissa katodimateriaalien, kuten koboltin ja nikkelin, osuus voi nousta yli puoleen kokonaiskustannuksista. Sen sijaan LFP-akuissa käytetyt rauta ja fosfori ovat edullisempia raaka-aineita, mikä tekee kyseisistä akuista kustannustehokkaampia (Busck ym. 2024).

Tällä hetkellä sähköautojen akkujen hinnat ovat alhaiset, mikä johtuu kysynnän ja tarjonnan epätasapainosta. Viime vuosien aikana akkuvalmistajat ovat laajentaneet voimakkaasti tuotantokapasiteettiaan ennakoiden sähköajoneuvojen ja energiavarastojen kysynnän kasvua. Kuitenkin sähköautomarkkinat ovat kasvaneet tarjontaa hitaammin. Akkujen hintoja ovat laskeneet myös alhaiset metallien ja komponenttien hinnat sekä halvempien LFP-akkujen yleistyminen (kuva 12). Vuonna 2024 litiumioniakkujen keskimääräinen hinta oli 115 dollaria/kWh (BloombergNEF 2024).



Kuva 12. Myyntimäärien mukaan painotettu akkukenno- ja pakettikohtaisten hintojen jakauma vuosina 2013–2024 (BloombergNEF 2024).

Akkujen hinnoissa on merkittäviä alueellisia eroja. Alhaisimmat hinnat ovat Kiinassa, jossa akkujen hinta oli vuonna 2024 keskimäärin 94 dollaria/kWh. Yhdysvalloissa ja Euroopassa kustannukset ovat keskimäärin 31 % ja 48 % korkeammat johtuen markkinoiden kypsyttömyydestä, pienemmistä tuotantovolyymeista sekä korkeammista työvoima- ja tuotantokustannuksista.

Investoinnit tutkimukseen ja kehitykseen, valmistusprosessien parantaminen ja kapasiteetin laajentaminen koko toimitusketjussa auttavat parantamaan akkuteknologiaa ja alentamaan hintoja entisestään seuraavan vuosikymmenen aikana. Lisäksi seuraavan sukupolven akkuteknologiat voivat merkittävästi alentaa akkujen hintoja tulevaisuudessa (BloombergNEF 2024).

5.7 Uudet akkuteknologiat

5.7.1 Akkujen kehitys

Nykyisellä akkuteknologialla pystytään jo hyvin täyttämään osan nykyisten raskaan liikenteen käyttötapausten tarpeista erityisesti lyhyen matkan kuljetuksissa. Kuitenkin laajamittainen raskaan liikenteen sähköistyminen edellyttää akkuteknologian kehittymistä. EU:n rahoittaman eri tutkimusorganisaatioiden ja muiden sidosryhmien yhteistyöhanke Batteries Europe (2020) on listannut raskaiden kuorma-autojen akkujen kehityksen tavoitetasen vuoteen 2030 saakka (taulukko 11)

Taulukko 11. Akkuteknologian kehitystavoitteet vuoteen 2030 mennessä (Batteries Europe 2020).

Road Transport: medium and heavy duty BEV*					
Typical Battery Size: 150-600 kWh (today), up to 1000 kWh (in the future)					
KPI	Operating conditions	System / Pack / Cell level	Unit	2020	2030
PERFORMANCE					
Cell/pack weight ratio		Pack	%	70	80
Cell/pack weight ratio		Pack	%	60	75
Operating life-time expectation	Minimum guaranteed lifetime (equivalent 80% DOD)	Pack	km	~750,000(~Vehicle lifetime)	
Gravimetric Power density**	180s, SoC 100%-10%, 25°C	Cell	W/kg	750	1,000
Gravimetric Power density	C/3 charge and discharge, 25°C, charging with CC and CV step	Cell	Wh/km	~250	~450
Volumetric energy density	C/3 charge and discharge, 25°C, charging with CC and CV step	Cell	Wh/L	~500	1,000
Volumetric energy density**	180s, SoC 100%-10%, 25°C	Cell	W/L	1,500	2,200
Cycle life	80% DOD, 25°C	Cell	cycles	3,000	6,000
Hazard level		Cell	-	<=4	<=4
COST					
Cost		Pack	€/kWh	~400	~150
Cost		Cell	€/kWh	~140	~75
MARKET					
Market size	Source: Avicenne Energy, 2019, IEA Global EV Outlook 2020		GWh/year	~20	~200

Batteries European raportti nosti esiin viisi keskeistä akkuteknologian kehityshaastetta kuljetusalalla:

- suorituskyky (energiatehokkuus ja tehotehiys)
- kustannukset
- turvallisuus
- nopea lataus
- ympäristöllinen kestävyys (mukaan lukien kierrätystalous).

Raportin mukaan lupaavimpia akkukennoteknologian tulevaisuudennäkymiä ovat kiinteän elektrolyytin akut ja natriumioniakut, joiden uskotaan olevan kaupallisessa käytössä vuosikymmenen vaihteeseen mennessä. Litiumioniakkujen odotetaan kuitenkin säilyttävän asemansa lähitulevaisuudessa ja keskipitkällä aikavälillä johtavana akkuteknologiana sovelluksissa, joissa tarvitaan suurta energia- ja tehotehiyttä. Litiumioniakkujen energia- ja tehotehiys on parantunut jatkuvasti ja kehityksen uskotaan jatkuvan uusien teknologioiden kuten litiumrikkiakun kehittymisen myötä (Pulliainen 2024).

5.7.2 Kiinteän elektrolyytin akut

Kiinteän elektrolyytin akut ovat yksi lupaavimmista tulevaisuuden akkuteknologioista ja niiden uskotaan tulevan markkinoille vuosikymmenen vaihteessa. Teknologisia kehityssuuntia on useita, ja akkuja kehittävät suuret akkuteknologiayhtiöt, sähköautojen valmistajat sekä tutkimuslaitokset (Heiskanen 2025). Kiinteän elektrolyytin akuissa elektrolyyteissä käytettävä kiinteä aine voidaan valmistaa erilaisista materiaaleista, kuten rikkihaposta, polymeereistä, keraamikasta (Pulkinen 2024) tai komposiitista (Tanskanen 2024).

Kiinteän elektrolyytin akun energiatehiys voi olla jopa kaksinkertainen, ja ne ovat myös paloturvallisempia nykyisiin akkuteknologioihin verrattuna (Heiskanen 2025). Myös käyttöikä ja syklinen kestävyys on merkittävästi litiumioniakkuja parempi. Akut ovat painavia, mikä kasvattaa ajoneuvon kokonaismassaa, mutta toisaalta korkean energiatehiyden ansiosta voidaan käyttää pienemmän koon akkuja (Tanskanen 2024). Ratkaisua litiumin saatavuushaasteisiin uusi akkuteknologia ei kuitenkaan tuo, sillä anodimateriaalina käytetään litiumia (Karuvuori 2024).

5.7.3 Natriumioniakut

Natriumioniakkuja pidetään parhaiten soveltuvina energiavarastoihin, mutta niitä on kokeiltu myös sähköajoneuvoissa. Energiatehiys on litiumioniakkuja heikompi, vaikka energiatehiyttä on viime vuosina saatu parannettua. Natriumioniakkujen etuja ovat natriumin hyvä saatavuus, alhaiset tuotantokustannukset ja nopea latausaika. Akut ovat osin myös ympäristöystävällisiä. Katodimateriaalina voi hyödyntää biopohjaisia materiaaleja, esimerkiksi ligniiniä (Karuvuori 2024). Kaupallinen tuotanto alkanee vuosikymmenen vaihteeseen mennessä (Tanskanen 2024).

6 AKUN LATAUS

Akun latausteknologia kehittyy tällä hetkellä voimakkaasti. Kehityssuuntia ovat aikaisempaa merkittävästi suurempi latausteho sekä erilaiset uudet tekniikat kuten akunvaihto ja kaksisuuntainen lataus. Tässä luvussa käydään läpi yleisesti käytössä olevia lataustapoja sekä uusia standardoimattomia tekniikoita. Lisäksi vertaillaan eri lataustapojen hyötyjä ja haittoja.

6.1 Latausstandardit

Sähköajoneuvojen latausstandardit voi jakaa kahteen ryhmään: vaihtovirtalataukseen (AC) ja tasavirtalataukseen (DC). Liitäntätyypit molemmissa latauksissa vaihtelevat maantieteellisesti. IEC 62196 -standardi määrittää AC-latauksen (IEC 62196-2) ja DC-latauksen (IEC 62196-3) eurooppalaiset liitännät.

6.1.1 AC-lataus

AC-lataus on jaettu kolmeen lataustapaan (mode 1, 2 ja 3) ja joissa lataus toimii joko yksi- tai kolmivaiheisella vaihtovirralla. Sähköajoneuvojen korkeajännitteiset akut eivät kykene varastoimaan vaihtovirtaa. Tämän vuoksi ajoneuvon sisäinen laturi (On-Board Charger, OBC) muuntaa vaihtovirran tasavirraksi ennen energian syöttämistä akkuun (Saukko 2022). Kaikissa kuorma-automerkeissä ja malleissa ei ole OBC-laturia, jolloin ajoneuvon akku ei pysty vastaanottamaan vaihtovirtaa.

Hidaslatauksessa (mode 2) käytetään tavallista kotitalouspistorasiaa (SFS 5610), jolloin latausteho on 1,8 kW ja virta 8A. Erityispistorasialla (IEC 60884-1:2022) päästään 16 A:n latausvirtaan ja 3,6 kW:n tehoon. Hidaslatausta ei käytetä kuorma-autojen lataukseen. **Peruslatauksessa** eli ns. kolmivaihevirtalatauksessa (mode 3) latausteho on yleensä 11 kW, mutta se voi olla jopa 43 kW, joka saavutetaan 3x63 A:n latausvirralla (kuva 13) (SESKO 2025). Kolmivaihevirtalatauksessa käytetään 2 tyypin sähköautopistorasiaa (SFS-EN IEC 62196-2).



Kuva 13. AC-liitin kolmivaiheiselle vaihtovirralla (mode 3, EN 62196-2) (MAN ei pvm.).

Latausjärjestelmään kuuluu tiedonsiirtoväylä, jonka avulla varmistetaan, että ajoneuvo on oikein ja turvallisesti kytketty latauspisteeseen. Lisäksi väylällä voidaan ohjata kuormitusta ja virran syöttöä (SESKO 2025). Peruslatausta käytetään tyypillisesti hitaassa yönylilatauksessa. Jotkut kuorma-automerkit eivät pysty vastaanottamaan kolmivaiheista vaihtovirtaa.

6.1.2 DC-lataus

DC-lataukselle (mode 4, IEC 61851-23), ei ole täysin vakiintunutta nimeä (pika-, teho-, tai suurteholataus) (liitin kuvassa 14). Sähköverkon vaihtovirran muuntaminen akkuun syötettäväksi

tasavirraksi tapahtuu auton sisäisen laturin sijaan ulkoisessa latausyksikössä, jolloin auton sisäinen laturi (OBC) ohitetaan ja akkuun syötetään suoraan tasavirtaa (Saukko 2022).

Latausteho vaihtelee n. 50–350 kW:n välillä ja erikoisjärjestelyillä 500 kW:iin asti. DC-latauksessa käytetään CCS-liitäntää (Combined Charging System), joka on yhteensopiva myös AC-liitännän (IEC 62196-2) kanssa. Euroopassa on käytössä CCS2-liitin (SFS-EN 62196-3).

DC-lataus on tällä hetkellä tehokkain sähköajoneuvojen lataustapa Suomessa. Esimerkiksi Scanian suurin tarjolla oleva akusto, jonka kapasiteetti on 728 kWh, latautuu noin 375 kW:n teholla täyteen n. 110 minuutissa (Scania 2024).



Kuva 14. CCS2-liitin IEC 62196-3 (MAN ei pvm.).

6.1.3 MCS-lataus

MCS-lataus (Megawatt charging system) on uusi vielä standardoimaton raskaalle sähköiselle liikenteelle tarkoitettu lataus (liitin kuvassa 15). Standardi on vielä valmisteluvaiheessa, mutta se on tulossa vuoden 2025 lopulla tai viimeistään 2026 aikana. Tulevan standardin mukainen latausteho voi olla enintään 3,75 megawattia, mikä saavutetaan 1 250 voltin tasajännitteellä (DC) ja 3 000 ampeerin virralla. MCS-latausta varten ajoneuvoon tarvitaan oma latausportti, joka ei ole yhteensovitettavissa muihin lataustapoihin.



Kuva 15. Standardoimaton, tällä hetkellä käytössä oleva MCS-liitin (MAN ei pvm.).

Raskaiden sähkökuorma- autojen yleistyessä ja akkuteknologian kehittyessä nopea lataus on tarpeellista ruuhkatilanteissa, ja tulevaisuuden tarve näin ollen tulee vaatimaan latausasemilta yhä suurempia tehoja (Schneider ym. 2023). DC-lataus (teho 350–400 kW) ei riitä raskaimpien sähköisten yhdistelmien akun lataamiseen tyhjästä täyteen kuorman lastauksen tai purkamisen yhteydessä tai kuljettajan lakisääteisen 45 minuutin tauon aikana. Nopea megawattiluokan lataus lyhentää latausaikoja ja lisää kantamaa jokaista latausminuuttia kohti lataus. MCS-lataus onkin keskeinen edellytys pitkään matkaan tarkoitetun raskaan liikenteen sähköistymiselle (Charin 2022). Ensimmäiset megawattitason pilotoinnit ovat käynnissä eri puolilla Eurooppaa. Suomessa ensimmäinen megawattitason latausasema avataan syyskuussa 2025 Lietoon. Latausasemalle tulee neljä 1 MW:n latauspistettä ja asema tarjoaa myös 600 kW:n suurteholatausta (Plugit Finland Oy 2025).

Sähköisten kuorma-autojen akuston pieni kapasiteetti on vielä rajoite MCS-lataukselle, jolloin C-arvo voi nousta akulle haitallisen korkeaksi (Silvonen 2025). Akkuteknologian kehittyminen ja akkujen kapasiteetin kasvu mahdollistaa MCS-latauksen yleistymisen tulevaisuudessa.

6.2 Latausstrategia

Latausstrategialla on merkittävä vaikutus litiumioniakun elinkaareen (taulukko 12). Yksi eniten ikääntymiseen vaikuttava tekijä on C-arvo. Akun latauksen korkea C-arvo kiihdyttää akun vanhenemisprosessia aiheuttaen nopeampaa kapasiteetin heikkenemistä, sisäisen resistanssin kasvua sekä akkukennojen epälineaarista vikaantumista, vaikka lämpötilan nousua pyrittiin hallitsemaan latauksen aikana (Wassiliadis ym. 2023). Tämän takia on suositeltavaa käyttää hidaslatausta aina kun mahdollista.

Taulukko 12. Lataustapojen vertailu: hyödyt, haitat ja keinot akun ikääntymisen hidastamiseksi.

Lataustapa	Hyödyt	Haitat	Mitä voi tehdä?
AC-lataus (peruslataus yleensä 11 kW, mutta voi olla jopa 43 kW (maks. 3x63 A))	- Hidastaa akun ikääntymistä - Alhaiset latauskustannukset - Yön yli -lataus variokolla	- Pitkä latausaika - Latauksen taso (SOC) akussa voi pysyä pitkään korkeana, mikä nopeuttaa akun ikääntymistä. - Kaikki kuorma-autot eivät tue AC-latausta.	Latauksen ajoitus ennen ajoa
DC-lataus (enintään 350 kW, erityisjärjestelyllä 500 kW asti)	- Latausaika täyteen 1–2 h, riippuen akun kapasiteetista - Matkan aikainen lataus - Lataus kuorman latauksen tai purun yhteydessä	- Voi lyhentää akun elinkaarta - Teho ei riitä akun täyteen lataukseen 45 minuutin tauon aikana - Oma latausinfraan perustaminen vaatii pääomaa. - Korkeat latauskustannukset, jos hyödyntää julkista jakeluinfraa	- Akun esilämmitys ennen latausta kylmissä olosuhteissa - Akun jäähdytys latauksen aikana - Käyttö harkiten
MCS-lataus (ensimmäiset pilotoinnit noin 1,2 MW). Tulevassa standardissa ensimmäisteho 3,75 MW)	Mahdollistaa akun latauksen täyteen 45 minuutin tauon aikana	- Nykyiselle akkuteknologialle latausteho voi olla haitallisen suuri. - Vaatii akkuteknologian kehittymistä - Korkeat latauskustannukset - Jakeluinfra vasta tuolloin	- Akun esilämmitys ennen latausta kylmissä olosuhteissa - Akun jäähdytys latauksen aikana - Käyttö harkiten

Zähringerin ym. (2024) tutkimuksessa tarkasteltiin erilaisten latausstrategioiden vaikutusta akun elinkaareen. Tutkimuksessa todettiin, että hyvin suunnitellulla latausstrategialla pystyttiin pidentää LFP-akun elinkaarta 30 % ja NMC-akulla 40 %. Tutkimuksessa listattiin pitkään elinkaaren vaikuttavia tekijöitä:

- Hyödynnetään viikonloppu- ja yön yli -latauksia.
- Vältetään korkeita pitkäaikaisia varaustiloja. Hitaat yön yli - ja viikonloppulataukset ajoitetaan niin, että täysi varaustila saavutetaan juuri ennen ajoa.
- Pidetään DOD maltillisena ja ladataan usein ja lyhyitä 15–30 minuutin latauksia. Tämä tuo myös etuja latausnopeuteen, kun lataus tapahtuu optimaalisella latauksen tasolla (varaustila n. 50 %), jossa lataus on nopeinta.

Tutkimuksessa vielä todettiin, että NMC-akkukennojen etu on suuri ominaisenergiatiheys, joka mahdollistaa suuren hyötykuorman. LFP-kennotekniikka tarjoaa kuitenkin selkeän edun käyttöiän suhteen samalla latausprofiililla kuin NMC, saavuttaen yli 300 000 km pidemmän käyttöiän verrattuna NMC-akkuun.

6.3 Latauksen kehitys

6.3.1 Uudet standardit

MCS-standardointia kehitetään jatkuvasti, ja uusia standardeja valmistellaan jo ennen kuin ensimmäinen virallinen MCS-standardi on julkaistu. **Ruggedized MCS (R-MCS)** on tarkoitettu vaativiin olosuhteisiin, joita aiheuttavat mm. pöly, muta, lumi ja tärinä. Sähköiset ominaisuudet ovat samat kuin MSC:ssä, mutta liitin on lujatekoisempi. **eXtreme MCS (X-MCS)** on tarkoitettu suurten koneiden lataukseen, kuten laivat, lentokoneet, kaivoskoneet. Latausteho voi olla jopa 50 MW. Näin suuri latausteho on kuitenkin haaste litiumioniakuille. Tarvitaan akkuteknologian merkittävää kehitystä, jotta X-MCS-lataus on mahdollista.

6.3.2 Kaksisuuntainen lataus

Kaksisuuntainen lataus tarkoittaa sitä, että ajoneuvon akkua voi latauksen lisäksi myös purkaa ja näin ollen käyttää akkua sähkövarastona ja voimanlähteenä myös varsinaisen ajoneuvon käytön lisäksi (Ikonen 2025). Kaksisuuntaista latausta ei olla vielä standardoitu ja osittain tämän vuoksi käsitteistö ei ole täysin vakiintunut (SESKO 2023). Yläkäsitteenä käytetään usein **V2X** (vehicle to everything) -termiä. Käyttösovelluksia kaksisuuntaiselle lataukselle on useita (SESKO 2023):

- **V2G** (vehicle to grid). Ajoneuvon akusta voidaan purkaa energiaa takaisin sähköverkkoon.
- **V2H** (vehicle to home) ja **V2B** (vehicle to buildings). Ajoneuvojen akkuja voidaan käyttää energiavarastoina, jolloin energiaa pystytään hyödyntämään rakennusten energiasäätelöissä.
- **V2V** (vehicle to vehicle) -teknologian avulla energiaa pystytään jakamaan eri ajoneuvojen kesken.
- **V2L** (vehicle to load) on pienemmän mittakaavan latausta, jossa ajoneuvon akkua hyödynnetään erilaisten laitteiden lataukseen.

Henkilöautoissa kaksisuuntainen lataus on hitaasti yleistymässä. Kuorma-autoissa teknologiaa ei vielä ole tarjolla.

6.3.3 Akunvaihto

Akunvaihdossa tyhjentynyt akku korvataan täyteen ladatulla akulla akunvaihtopisteellä esim. robotiikkaa hyödyntäen (Kaitero ja Rönkä 2024). Kiinassa akunvaihto on yleistynyt ja kaupallistunut voimakkaasti. Euroopassa raskaan liikenteen puolella akunvaihtoa ei ole tarjolla, mutta esimerkiksi DB Schenker tutkii ja suunnittelee akunvaihtokonseptia, jota voisi hyödyntää sekä kuorma-autot että sähköiset perävaunut (EV Magazine 2024). Laajempaa käyttöä rajoittavat vielä standardoinnin puute, täysin uuden liiketoimintamallin luomisen haasteet ja akunvaihto-aseman kallis alkuinvestointi (Näbo ym. 2024).

Akunvaihtoratkaisujen etu verrattuna ajoneuvon lataukseen on nopea energian saanti - akun vaihtoon menee muutamia minuutteja. Samalla akunvaihto vähentää sähköverkon ajoittaista kuormitusta, kun tyhjien akkujen lataus ei ole ajoneuvon aikataulusta riippuvaista. Akunvaihto voi myös vähentää yrityksen oman latausinfrastruktuurin tarvetta. Akunvaihto olennaisesti muuttaisi ajoneuvon elinkaarilaskennan (TCO) perusteita, kun akun ja ajoneuvon elinkaaret eivät ole riippuvaisia toisistaan (Näbo ym. 2024). LUT-yliopistossa on meneillään simulointitutkimus, jossa vertaillaan akunvaihtoa hyödyntävää sähkökuorma-auton ja dieselkuorma-auton kustannuksia Suomen sisäisessä kuljetuksessa (Tuviala ym. 2024)

7 TÄYDENTÄVÄT YHDISTELMIEN KUSTANNUS- VERTAILUT

Tammikuun 2025 MESI-raportissa (Venäläinen ym. 2025a) on kuvattu sähköisten ja dieselyhdistelmien kustannusvertailuiden oletukset ja ensimmäiset tulokset (perustason laskelmat ja herkkyystarkastelut). Tähän raporttiin on lisätty 68-tonnisen hakeauton kustannusvertailun tulokset ja kylmän lämpötilan herkkyystarkastelu 76-tonnisen metsäauton osalta. Näitä lisälaskelmia varten laskettiin myös vaikutus latausaikoihin ja kuljettajien ylimääräisiin taukoihin (luku 4).

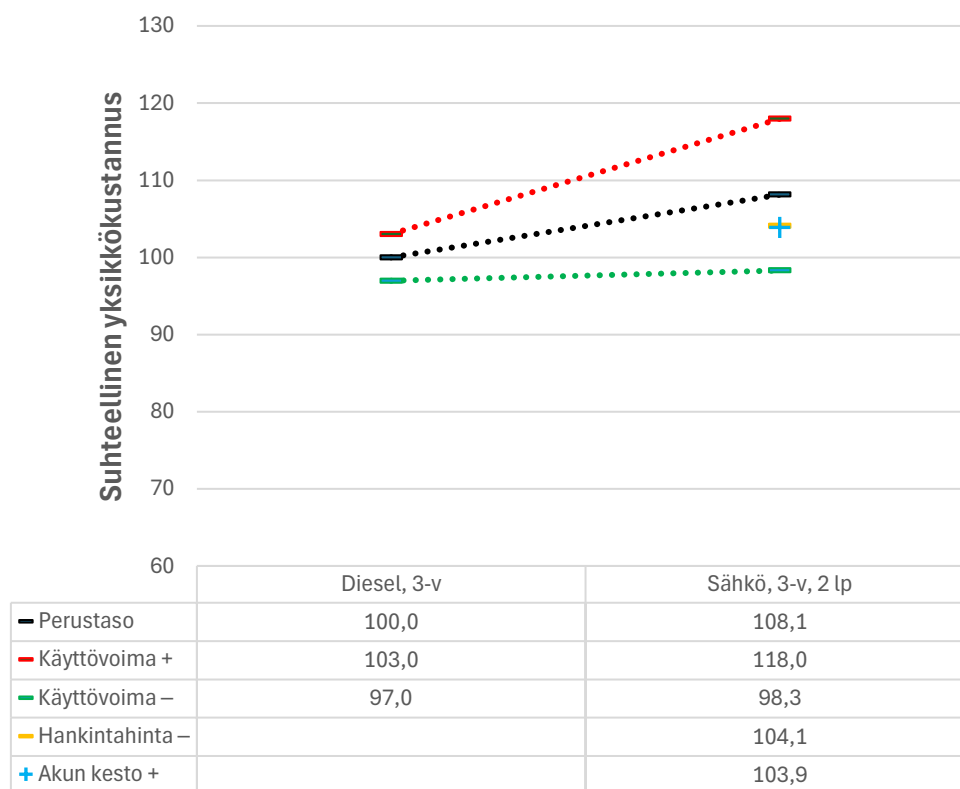
7.1 68-tonnisen hakeauton kustannusvertailu

Hakekuljetuksissa käytetään 76-tonnisten lisäksi myös 68-tonnisiä yhdistelmiä, joten tähän raporttiin tehtiin vertailulaskelmat myös 68-tonnisen diesel- ja sähkökäyttöisen hakeautokuljetuksen yksikkökustannuksista (€/m³). Yhdistelmien kulutusoletukset on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. 68-tonnisen hakeyhdistelmän peruslaskelmissa käytetyt keskeiset oletukset.

Laskelman osatekijä	Diesel 68 t	Sähkö 68 t
Omapaino t	23,8	25,8
Hyötykuorma t	44,2	42,2
Kulutus (litraa/kWh)		
<i>Kulutus kuormattuna / 100 km</i>	59,3	225,0
<i>Kulutus tyhjänä / 100 km</i>	37,7	135,0
<i>Kulutus kuormaus / kuorma</i>	1,61	5,96
<i>Kulutus purku / kuorma</i>	3,40	12,32

Perustason laskelmassa sähköisen 68-tonnisen hakeauton kuljetukset kuljetettua kuutiota kohden ovat 8 % kalliimmat kuin dieselautolla (kuva 16). Kuljetukset sähköisellä hakeautolla tulisivat dieselautoa halvemmaksi herkkyystarkastelussa Käyttövoima-, jossa lataussähkön hinnaksi on oletettu 0,15 €/kWh. Eri herkkyystarkasteluiden vaikutus vuosikustannusrakenteisiin on esitetty liitteessä 1.



Kuva 16. 68-tonnisen hakeauton yksikkökustannus (€/m³) eri herkkyyystarkasteluissa (indeksi Perustaso: Diesel 3v = 100).

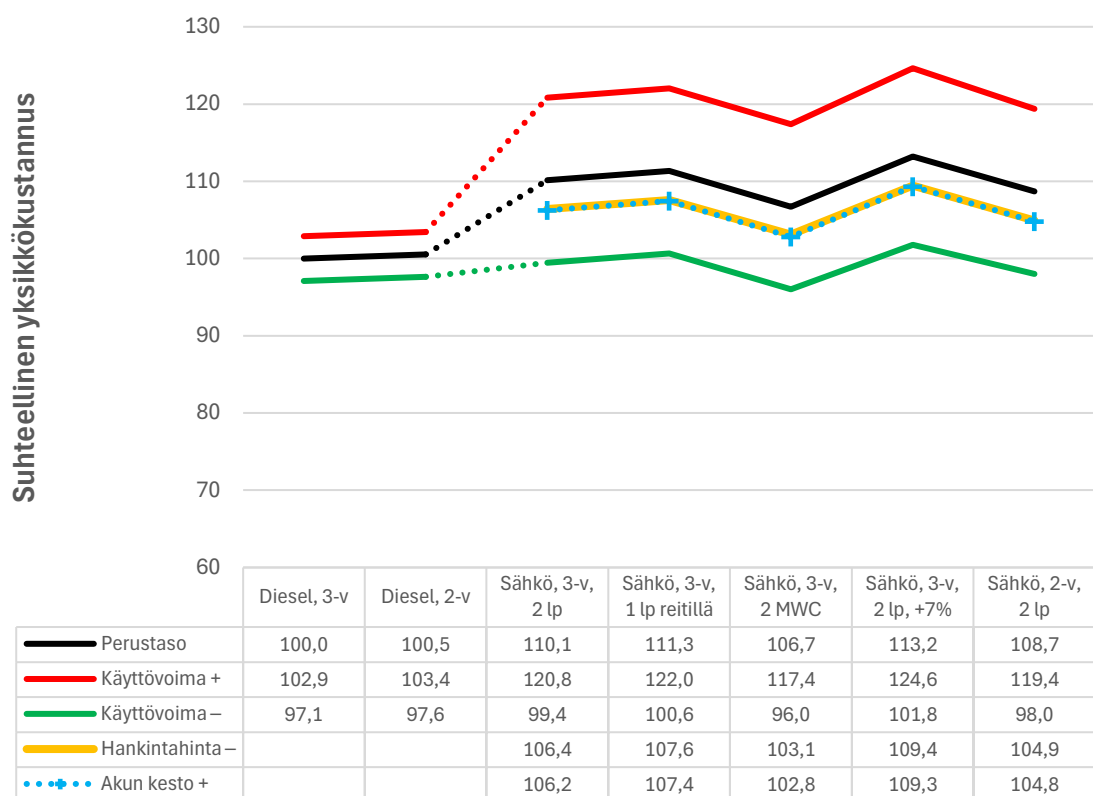
7.2 76-tonnisen metsäauton herkkyyystarkastelu: lämpötilan vaikutus

Aiempiin 76-tonnisen metsäauton herkkyyystarkasteluihin lisättiin laskelma kylmän lämpötilan vaikutuksesta (–4 °C, kun aiemmissa peruslaskelmissa oletuksena oli Jyväskylän vuosikeskilämpötila +4,2 °C). Ajoneuvovalmistajien laatimien mallinnusten ja Oulun yliopiston laskurin (Korhonen 2024a) pohjalta ajonaikainen kulutus oletettiin 7 % perustason oletusta korkeammaksi. Vaikutusta puutavarakuormaimen kulutukseen ei arvioitu. Dieselyhdistelmällä ei tarkasteltu lämpötilan vaikutusta kulutukseen.

Kylmän lämpötilan laskelmassa (+7 % -laskelma kuvassa 17) perustasolla kuljetus sähkökuorma-autolla tulee 13 % kalliimmaksi kuin dieselautolla (Jyväskylän keskilämpötilalla kustannusero on 10 %). Pienimmillään kustannusero sähköautojen välillä kahdessa eri lämpötilassa on herkkyyystarkastelussa Käyttövoima–, jossa ero on 2,4 %-yksikköä. Vuositason kustannusrakenteet eri herkkyyystarkasteluissa on esitetty liitteessä 2.

Taulukoihin 14–15 on lisätty kylmän lämpötilan laskelmat (+7 %) dieselin ja liikennesähkön hintatasoista, joissa kuljetuskustannukset diesel- ja sähköautolla olisivat samat.

Lämpötilat vaihtelevat paljonkin viikko- ja päivätasolla (lämpötilatilastoja ja lämpötilan vaikutusta sähkökuorma-autojen kulutukseen on tarkasteltu tämän raportin luvussa 3). Käynnissä olevista sähkökuorma-autojen tutkimuksista saadaan myöhemmin lisätietoa lämpötilan ja muiden tekijöiden vaikutuksesta kulutukseen ja kustannuksiin. Tässä esitetyt laskelmat ovatkin tarpeen päivittää ja täydentää uusien tutkimustulosten myötä. Mikäli autoa käytetään vain kahdessa työvuorossa, kylmimmän yöajan osuus ajoista jää pienemmäksi.



Kuva 17. Metsäauton yksikkökustannus (€/m³) eri herkkyystarkasteluissa (indeksi Perustaso: Diesel 3v = 100).

Taulukko 14. Polttoaineen litrahinta (alv 0 %), jolla dieselauton yksikkökustannustaso (eur/m³) nousee sähköauton kustannustasolle 100 km:n kuljetusmatkalla, kun lataussähkön hinnaksi oletetaan 0,25 €/kWh.

76 M, 3-v	=	76 MS, 3-v, 2 lp	1,986 €/l	(+27 %)
	=	76 MS, 3-v, 1 lp reitillä	2,032 €/l	(+30 %)
	=	76 MS, 3-v, 2 MWC	1,842 €/l	(+18 %)
	=	76 MS, 3-v, 2 lp, +7 %	2,112 €/l	(+35 %)
76 M, 2-v	=	76 MS, 2-v, 2 lp	1,903 €/l	(+22 %)

Taulukko 15. Lataussähkön kWh-hinta (alv 0 %), jolla sähköauton yksikkökustannustaso (eur/m³) laskee dieselauton kustannustasolle 100 km:n kuljetusmatkalla, kun dieselin hinnaksi oletetaan 1,565 €/litra (= arvonlisäveroton keskihinta 2023).

76 MS, 3-v, 2 lp	=		0,155 €/kWh	(-38 %)
76 MS, 3-v, 1 lp reitillä	=	76 M, 3-v	0,144 €/kWh	(-42 %)
76 MS, 3-v, 2 MWC	=		0,187 €/kWh	(-25 %)
76 MS, 3-v, 2 lp, +7 %	=		0,135 €/kWh	(-46 %)
76 MS, 2-v, 2 lp	=	76 M, 2-v	0,173 €/kWh	(-31 %)

8 VEROTUKSEN NYKYTILA JA MUUTOSNÄKYMÄT

Sähkökuorma-autojen verotus koostuu sähkön verotuksesta, joka on hyvin maltillinen verrattuna dieselkäyttöisten kuorma-autojen käyttövoimaveroon ja polttoaineen verotukseen. Liikenteen verotuksen muutokselle on painetta useasta syystä. Hiilineutraalisuustavoitteet edellyttävät vähäpäästöisten kuljetusmuotojen tukemista, mutta toisaalta sähkökäyttöisten ajoneuvojen yleistyessä päästöihin perustuva liikenteen verotuspohja heikkenee merkittävästi tulevinä vuosina. Orpon hallitus on käynnistänyt liikenteen verotuksen ja rahoituksen kokonaisuudistuksen (VERA), ja virkamiesselvityksen on määrä valmistua vuonna 2026.

Vuonna 2023 ajoneuvoon ja käyttövoimaan liittyvien verojen osuus dieselkäyttöisen puutavara- ja hakeyhdistelmän vuosikustannuksista oli noin 70 000 € ja sähkökäyttöisen noin 15 000 € (taulukko 16).

Taulukko 16. Ajoneuvoon ja käyttövoimaan liittyvien verojen osuus kuljetusyrityksen vuosikustannuksista 2023 (diesel- ja sähkökäyttöinen 76-tonninen puutavara- ja sivutuotehakeyhdistelmä).

	76-tonninen metsäauto	
	Diesel	Sähkö
Käyttövoimavero €/v	1661	1661
Energiavero €/v	62519	9925
Vakuutusmaksuvero €/v	3279	3279
Yhteensä €/v	67460	14865
	76-tonninen hakeauto	
	Diesel	Sähkö
Käyttövoimavero €/v	1613	1613
Energiavero €/v	70061	11408
Vakuutusmaksuvero €/v	1930	1930
Yhteensä €/v	73605	14952

Laskelmassa on käytetty Metsätehon kustannuslaskentamallin oletuksia mm. vuosisuoritteista. Sähköautolla ajokilometrejä kertyy vähemmän kuin dieselautolla latauksen vaatimasta lisäajasta johtuen.

8.1 Ajoneuvovero

Kuorma-autojen, jotka käyttävät käyttövoimana jotain muuta kuin bensiiniä, ajoneuvovero muodostuu käyttövoimaverosta. Ajoneuvoveron perusvero-osuutta maksavat vain henkilö- ja pakettiautot (Ajoneuvoverolaki 1282/2003).

Käyttövoimaveron määrään vaikuttavat kolme tekijää (taulukko 17):

1. kuorma-auton akselimäärä
2. kokonaismassa
3. käytetäänkö kuorma-autoa perävaunun vetämiseen.

Jos kuorma-autoa käytetään perävaunun vetämiseen, käyttövoimaveron osana pitää maksaa lisäksi erillinen vetolaitteisuus. Kuorma-autossa, joka on rekisteritietojen mukaan varustettu perävaunun vetoautoksi, vetolaitteisuus lasketaan mukaan veroon automaattisesti.

Taulukko 17. Kuorma-autojen käyttövoimaveron laskentaperusteet vuonna 2025 (Traficom 2025).

Kuorma-auton akselien määrä	Ei käytetä perävaunun vetoon (snt/päivä/100 kg)	Käytetään puoliperävaunun vetoon (snt/päivä/100 kg)	Käytetään varsinaisen tai keskiakseliperävaunun vetoon (snt/päivä/100 kg)
2	0,6 (12 t asti) 1,3 (yli 12 t)	2,2	2,1
3	0,8	1,3	1,4
4	0,7	1,2	1,3
5 tai useampi	0,6	1,0	1,2

Laskentaperusteet löytyvät myös Ajoneuvolaskurista: <https://eservices.traficom.fi/Autoilijan-Palvelut/Ajoneuvoverolaskuri?langId=fi>

8.2 Energiaverotus (valmistevero)

Polttoaineiden ja sähkön energiaverotus perustuu lakiin nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta ("polttoaineverolaki" 1472/1994) sekä lakiin sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta (1260/1996). Energiaverot ovat EU:ssa harmonisoituja veroja, joita säädellään energiaverodirektiivissä 2003/96/EY.

8.2.1 Nestemäisten polttoaineiden valmistevero

Liikennepolttoaineiden (fossiiliset ja bioperäiset) valmistevero koostuu energiasisältöverosta ja hiilidioksidiverosta. Energiasisältövero perustuu polttoaineen lämpöarvoon ja hiilidioksidivero elinkaarenaikaiseen keskimääräiseen kasvihuonepäästöön. Valmisteverotuksen yhteydessä maksetaan huoltovarmuusmaksua. Verovelvollisia ovat mm. valtuutetut varastonpitäjät ja rekisteröidyt vastaanottajat. (Valtiovarainministeriö 2025)

Vuonna 2025 fossiilisen dieselin ja sitä korvaavien polttoaineiden valmistevero on korkeimmillaan reilut 50 senttiä litralta (taulukko 18). Valmisteveroa alennettiin vuoden 2024 alussa. Verolennus kohdistui hiilidioksidiveroon, koska tarkoituksena on kompensoida uusiutuvien polttoaineiden jakeluvälvoitteen tason asteisesta noususta johtuvaa pumppuhintojen nousua. Näin myös tuetaan uusiutuvia polttoaineita, joiden lämpöarvo ja hiilidioksidipäästöt ovat fossiilisia polttoaineita alhaisemmat. Dieselöljyn energiasisältövero on 25,95 senttiä per litra lievemmin verotettua kuin sen veromallin mukaan tulisi olla, koska hyötyliikenteen ja vientiteollisuuden polttoainekustannuksia halutaan tukea (Valtiovarainministeriö 2025). Kuitenkin verotus on muihin Euroopan maihin nähden korkea.

Taulukko 18. Dieselin polttoaineeverotus snt/l 2025 (Verohallinto 2025a).

Polttoaine	Energiasisältövero	Hiilidioksidivero	Huoltovarmuusmaksu	Yhteensä
50 Dieselöljy	34,57	19,78	0,35	54,70
Parafiininen 51 Dieselöljy tai 55 Biodieselöljy	32,65	18,68	0,35	51,68
52–54, 56–57 Muut biodieselöljyt	31,69–32,65	0–18,13	0,35	32,04–50,17

8.2.2 Sähkön verotus

8.2.2.1 Sähkön kulutus

Energiaveroa (käytetään myös nimitystä sähkövero) maksetaan sähkön kulutuksesta. Vero muodostuu sähkön valmisteverosta ja huoltovarmuusmaksusta. Sähköveromalli on kaksiporainen (taulukko 19). Veroluokan II sähkö on käyttäjälleen valtiontukea. Valtiontuen saajien on rekisteröidyttävä valmisteverotuksen tuensaajarekisteriin. (Verohallinto 2025c)

Taulukko 19. Sähkön verotaulukko. Hinnat (ei sis. ALV) ovat voimassa 1.1.2023 alkaen (Verohallinto 2025b).

Sähköveroluokka	Käyttökohteet	Energiavero snt/kWh	Huoltovarmuus- maksu snt/kWh	Yhteensä snt/kWh
I	Kotitaloudet, julkinen sektori, maataloussektori, palvelutoiminnot.	2,24	0,013	2,253
II	Teollisuus, kaivosteollisuus ym.	0,05	0,013	0,063

Kuljetusala kuuluu sähköveroluokkaan I. Suomen Kuljetus ja Logistiikka SKAL ry on asettanut tavoitteekseen sähköisen ammattiliikenteen soveltamisen sähköveroluokkaan II (SKAL 2025). Samoin Keskuskauppakamari ja Suomen satamat esittävät satamien maasähkön soveltamista alempaan veroluokkaan. Tämä edistäisi sataman apukoneiden sähköistämistä ja latausinfraan kehittämistä. EU:n energiaverodirektiivi mahdollistaa alemman veroluokan soveltamisen maasähköön ja useat EU-maat ovat näin tehneet (Keskuskauppakamari 2025).

8.2.2.2 Sähköntuotanto

Varikko- ja tehdasalueiden sekä vastaavien alueiden yhteyteen rakennetut voimalaitokset kuuluvat soveltuvien osin sähköverotuksen piiriin (taulukko 20).

Taulukko 20. Sähköntuottajan verovelvollisuus (Verohallinto 2022).

Tuotantoteho (kVA)	Vuosituotanto (kWh)	Vero- ja ilmoitusvelvollisuus	Vero
≤100 kVA	-	Ei vero- eikä ilmoitusvelvollinen	Verovelvollinen sähkön myynnistä saadusta tuloista, jos myynti on voitollista.
>100 kVA	≤800 000 kWh	Rekisteröityminen verovelvolliseksi. Veroilmoitus vuosittain, jolla ilmoitetaan tuotetun sähkön määrä.	Verovelvollinen sähkön myynnistä saadusta tuloista, jos myynti on voitollista.
>100 kVA	>800 000 kWh	Vero- ja ilmoitusvelvollinen. Tuottaja rekisteröidään sähköntuottajaksi ja veroilmoitukset annetaan kuukausittain.	Valmistevero ja huoltovarmuusmaksu tuotetusta sähköstä. Lisäksi verovelvollisuus verkkoon syötettävästä osasta saadusta tuloista.

8.2.2.3 Energiavarastot

Energiavarastoilla tarkoitetaan sähkön varastointiin tarkoitettuja laitteita, jotka voivat olla lyhyt- tai pitkäkestoiseen varastointiin soveltuvia. Sähkövaraston pitäjä voi hakea Verohallinnolta verottoman sähkövarastonpitäjän lupaa, jos sillä on sähkön siirtoa suoraan kulutukseen. Sähkövaraston pitäjältä tulee verovelvollinen sähkövarastoon ladatun sähkön osalta ja hänen täytyy antaa kuukausittain veroilmoitus verollisista ja verottomista sähkön siirroistaan sekä maksaa verollisten siirtojen mukaiset sähköverot. Lisäksi kyseisen sähkövaraston pitää olla kiinteästi sijoitettuna paikalleen. Liikuteltaville varastoille lupaa ei myönnetä. (Verohallinto 2024).

8.3 Vakuutusmaksuvero

Vakuutusmaksuvero kohdistuu ajoneuvoista perittäviin vakuutusmaksuihin eikä se ole suoraan vähennyskelpoinen. Vakuutusmaksuveron taso mukailee yleistä verokantaa ja on siten tänä vuonna 25,5 %.

8.4 Arvonlisävero

Yleinen arvonlisäverokanta nousi 24 prosentista 25,5 prosenttiin 1.9.2024 alkaen. Korotus ei vaikuta ajoneuvon hankinta-, huolto- ja polttoainekuluihin, jos yritys ja sen asiakas on arvonlisävelvollisten rekisterissä. Arvonlisävero vaikuttaa kuitenkin valtion verokertymään.

8.5 Verotuksen muutosnäkömiä

8.5.1 Yritysjoneuvojen vähähiilistäminen

Euroopan komissio (2025b) antoi maaliskuussa 2025 tiedonannon koskien yritysjoneuvojen vähähiilistämistä. Tiedonannossa nostetaan verotuspolitiikka yhtenä tapana edistää vähähiilisten ajoneuvojen hankintaa ja käyttöä. Kuorma-autojen osalta verotustoimia voivat olla esim. alennetut ajoneuvoverot tai vähähiilisten ajoneuvojen nopeutetut poistot verotuksessa. Komissio valmistelee vuoden 2025 loppuun mennessä lainsäädäntöaloitteen yritysjoneuvojen vähähiilistämisen edistämiseksi.

8.5.2 Energiaverodirektiivi

Vuonna 2021 alkanut energiaverodirektiivin uudistus on osa Euroopan vihreän kehityksen ohjelmaa ja siihen liittyvää 55-valmiuspakettia, jonka tavoitteena on vähentää EU:n kasvihuonepäästöjä 55 % vuoteen 2030 mennessä (Valtiovarainministeriö 2024; Euroopan komissio 2025a). Uudistuksen tarkoituksena on tehostaa ympäristöohjausta, parantaa sisämarkkinoiden toimivuutta ja turvata verotuottoja (Valtiovarainministeriö 2024).

Alkuperäinen muutosehdotus olisi tuonut merkittäviä tiukennuksia nestemäisten polttoaineiden sekä sähkön verotukseen. Uusi kompromissiehdotus on kuitenkin kehittynyt Suomelle tärkeissä kysymyksissä myönteiseen suuntaan. Ammattiliikenteessä käytettävän dieselin verohelpotus ei ehdotuksen mukaan ole poistumassa. Myöskään energaintensiivisille yrityksille suunnattuihin sähköverotuksiin ei ole tulossa muutoksia. (Valtiovarainministeriö 2024)

8.5.3 Hallitusohjelma

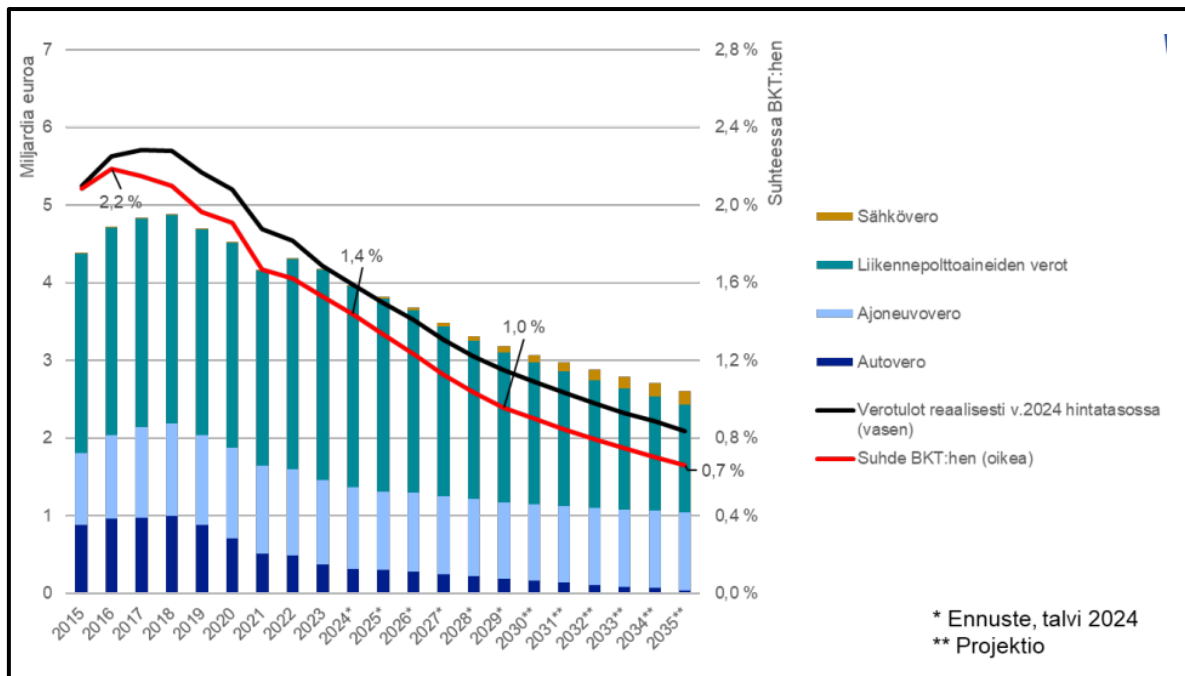
Orpon hallitusohjelmassa (Valtioneuvosto 2023) biopolttoaineet nähdään tärkeänä keinona luopua fossiilisista polttoaineista ja vahvistaa huoltovarmuutta. Ohjelmassa luvataan kehittää verotusta ja sääntelyä siten, että ne tukevat biopolttoaineiden käyttöä. Tavoitteena on tehdä Suomesta johtava biopohjaisten ratkaisujen kehittäjä ja tuottaja. Hallitusohjelmassa on myös linjaus kaksinkertaisen verotuksen poistamisesta kaikista sähkön varastointimuodoista. Tämä

on jatkoa vuoden 2019 lakimuutokselle, jolloin sähkön kaksinkertaisesta verotuksesta luovuttiin suurten sähkövarastojen osalta.

8.5.4 Liikenteen verotuksen ja rahoituksen kokonaisuudistus

Liikenne- ja viestintäministeriö sekä valtiovarainministeriö käynnistivät liikenteen verotuksen ja rahoituksen kokonaisuudistuksen (VERA)¹ marraskuussa 2024. Ensimmäinen vaihe, johon kuuluu mm. sidosryhmäkuulemisia päättyy elokuussa 2025. Toisessa vaiheessa asetettavan virkamiestyöryhmän toimikausi päättyy lokakuussa 2026.

Käyttövoimamurroksen seurauksena liikenteen veropohja on kaventumassa (kuva 18). Aiempaa vähäpäästöisemmät tai nollapäästöiset autot kerryttävät aikaisempaa vähemmän neste-
mäisiin polttoaineisiin ja hiilidioksidipäästöihin perustuvaa valmisteverotuloa. Samalla tiever-
koston korjausvelka on kasvanut, mikä on lisännyt painetta liikennejärjestelmän rahoituksen
ennakoivuudelle ja kehittämiselle (Valtioneuvosto 2024). Uudistuksen tavoitteena on julkisen
talouden kestävyys, mutta samalla päästövähennystavoitteiden saavuttaminen kustannuste-
hokkaasti (Liikenne- ja viestintäministeriö 2024).



Kuva 18. Tieliikenteen verotulojen fiskaalinen kehitys (Valtioneuvosto 2024).

Sidosryhmien kuulemisessa keväällä 2025 nostettiin esiin huoli logistiikkakustannusten noususta ja kilpailukyvyn heikkenemisestä, erityisesti tulevan ETS2-päästökauppajärjestelmän vuoksi. Päästövähennyksiin tähtääviä toimia, kuten käyttövoimaveroa ja polttoaineverotukia, ei koeta teknologianeutraaleiksi (Liikenne- ja viestintäministeriö 2025). Elinkeinoelämän keskusliitto ja SKAL ry ovat todenneet, että verotuksen tulee suosia vähäpäästöisiä ratkaisuja teknologianeutraalisti siten, että verotus tunnistaa myös hiilineutraalien synteettisten ja uusiutuvien polttoaineiden edut (Elinkeinoelämän keskusliitto 2024; SKAL 2025).

Kuulemisessa esitettiin myös erilaisia vaihtoehtoja, kuten kilometripohjaista veroa tai tiemaksua, hiilidioksidiveron poistamista tai sen alentamista päästökaupan kustannuksia vastaavaksi sekä ammattidieseljärjestelmää (Liikenne- ja viestintäministeriö 2025).

¹ Hankeikkuna <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=LVM013:00/2024>

LÄHTEET

Ajoneuvoverolaki 1282/2003. <https://finlex.fi/fi/lainsaadanto/2003/1281>

Anttila P, Ojala J, Palander T, Väättäin K (2023) The effect of road characteristics on timber truck driving speed and fuel consumption based on visual interpretation of road database and data from fleet management system. Silva Fennica vol. 56 no 4. <https://www.silvafennica.fi/article/10798>

Babu AR, Minovski B, Sebben S (2022) Thermal encapsulation of large battery packs for electric vehicles operating in cold climate. Applied Thermal Engineering, 212, 118548. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2022.118548>

Babu AR, Sebben S, Chronéer Z, Etemad S (2025) Heating load reduction strategies for cabin and battery climatization in electric trucks operating in cold climates. Thermal Science and Engineering Progress, 60, 103417. <https://doi.org/10.1016/J.TSEP.2025.103417>

Batteries Europe (2020) Strategic Research Agenda for batteries 2020. European technology and innovation platform. https://batterieseurope.eu/wp-content/uploads/2022/09/batteries-europe-strategic-research-agenda-december-2020_1-0-3.pdf

BloombergNEF. (2024). Lithium-Ion Battery Pack Prices See Largest Drop Since 2017, Falling to \$115 per Kilowatt-Hour: BloombergNEF. Internetsivu 10.12.2024. <https://about.bnef.com/insights/commodities/lithium-ion-battery-pack-prices-see-largest-drop-since-2017-falling-to-115-per-kilowatt-hour-bloombergnef/>. Viitattu 6.6.2025

Busck J, Kryger M, Näs D, Rosén F, Steen K, Wallin E (2024) Possibilities of minimising cobalt usage in the electric passenger car industry. Chalmers University of Technology. <http://hdl.handle.net/20.500.12380/308904>

Charin (2022) CharIN Whitepaper Megawatt Charging System (MCS). Recommendations and requirements for MCS related standards bodies and solution suppliers. Version 1.0. 24.11.2022. <https://www.charin.global/media/pages/technology/knowledge-base/c708ba3361-1670238823/whitepaper-megawatt-charging-system-1.0.pdf>

Elinkeinoelämän keskusliitto (2024) Liikenteen vero- ja maksujärjestelmä uudistuu – järjestöt julkaisivat esityksensä. Internetsivu. <https://ek.fi/ajankohtaista/uutiset/liikenteen-vero-ja-maksujarjestelma-uudistuu-jarjestot-julkaisivat-esityksensa/> Viitattu 19.5.2025.

Euroopan komissio (2025a) 55-valmiuspaketti: Ilmastotavoitteista totta. Internetsivu. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal/fit-55-delivering-proposals_fi Viitattu 19.5.2025.

Euroopan komissio (2025b) Yritysten ajoneuvokaluston vähähiilistäminen. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. COM(2025) 96 final. 5.3.2025. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52025DC0096>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/96/EY energiatuotteiden ja sähkön verotusta koskevan yhteisön kehyksen uudistamisesta. Annettu 27.10.2003. Euroopan unionin virallinen lehti, Sarjan L 283/51. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0096&from=FI>

EV Magazine (2024) DB Schenker: EV Innovation with Battery-Swapping Project. Internetuutinen 24.9.2024. <https://evmagazine.com/articles/db-schenker-ev-innovation-with-battery-swapping-project>. Viitattu 12.8.2025

Fortum (2023) Fortum Battery Recycling opens Europe's largest closed-loop hydrometallurgical battery recycling facility in Finland. Internetsivu 27.4.2023. <https://www.fortum.com/media/2023/04/fortum-battery-recycling-opens-europes-largest-closed-loop-hydrometallurgical-battery-recycling-facility-finland>. Viitattu 10.6.2025

Fortum (2024) Fortum Battery Recycling and Hydrovolt join forces to drive the Nordic battery industry forward. Internetsivu 29.2.2024. <https://www.fortum.com/media/2024/02/fortum-battery-recycling-and-hydrovolt-join-forces-drive-nordic-battery-industry-forward>. Viitattu 10.6.2025

Heiskanen M (2025) Suomalaista teknologiaa kiinteän elektrolyytin akkujen valmistukseen – ”Akkujen teknologioissa on nyt käynnissä murros”. Tekniikan maailma 12.1.2025. <https://tekniikanmaailma.fi/lehti/1a-2025/suomalaista-teknologiaa-kiintean-elektrolyytin-akkuihin-akkujen-teknologioissa-on-nyt-kaynnissa-murros/?shared=1418234-26f622e5-500>

Huhtala T, Banangar I, Könnö J, Andwari MA (2024) A Comparative Study on Different Modelling Approaches in Li-ion Battery Cooling System. <https://doi.org/10.3217/nww5e-ejk38>

Huuskonen S (2025) 76-tonnisten dieselyhdistelmien kulutus. Sähköpostiviesti 31.7.2025.

Huuskonen S, Karjalainen J, Poikela A, Venäläinen P, Riekkä K, Helo P, Kauranen P, Tilli A, Kärhä K (2025) Greenhouse gas emissions, energy and cost-efficiencies associated with liquefied biogas-powered heavy-duty timber trucks in industrial roundwood transportation. Journal of Cleaner Production: Volume 521. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146215>

Ikonen T (2025) Kaksisuuntainen lataus – mistä on kyse? Internetartikkeli. <https://nordicplug.fi/blogs/sahkoautot-ja-lataaminen-blogi/kaksisuuntainen-lataus-v2g>. Viitattu 15.5.2025

Ilmatieteen laitos (2025) Havaintojen lataus. Verkkopalvelu. Viitattu 10.6.2025

Kaitero J, Rönkä J (2024) Raskaan liikenteen sähköistämispotentiaali suomen pääteillä. Lappeenrantaan–Lahden teknillinen yliopisto LUT Sähkötekniikan koulutusohjelma, Kandidaatin työ <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2024040915637>

Karuvuori M (2024) Kilpailu kiristyy akkutekniikoissa. Tekniikka & Talous 19.4.2024.

Keskuskauppakamari (2025) Keskuskauppakamari ja Suomen satamat: Alusten maasähkölle tarvitaan alempi verokanta. Internetsivu 17.4.2025. <https://kauppakamari.fi/tiedote/keskuskauppakamari-ja-suomen-satamat-alusten-maasahkolle-tarvitaan-alempi-verokanta/>. Viitattu 10.6.2025

Korhonen E (2024a) Akkukoon laskentatyökalu. Excel-tiedosto. Oulun yliopisto.

Korhonen E (2024b) Sähköisen raskaan liikenteen akustotarpeen arviointi. Diplomityö, kone-tekniikka, Oulun yliopisto. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-202411206832>

Laki nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta (1472/1994). <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/1994/1472>

Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta (1260/1996). <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/1996/1260>

Lehtola TA, Zahedi A (2021) Electric Vehicle Battery Cell Cycle Aging in Vehicle to Grid Operations: A Review. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics 9 no. 1: 423–427. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8936355>

Leijon J (2025) Charging strategies and battery ageing for electric vehicles. Energy Strategy Reviews 57. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101641>

Liikenne ja viestintäministeriö (2024) Liikenteen verotuksen ja rahoituksen kokonaisuudistus käyntiin. <https://lvm.fi/-/194055633/liikenteen-verotuksen-ja-rahoituksen-kokonaisuudistus-kayntiin>. Internetsivu. Viitattu 19.5.2025.

Liikenne- ja viestintäministeriö (2025) Liikenteen verotuksen ja rahoituksen kokonaisuudistus (VERA), 1. vaihe. Kalvoesitys 27.3.2025. https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/b6137e95-97e7-490b-8524-e12a776e8120/24fdf80d-6873-494d-8cb9-3617e64e3ffa/LIITE_20250401112920.PDF

Maciocha M, Short T, Thorat U, Salek F, Thompson H, Babaie M (2025) One-Dimensional Electro-Thermal Modelling of Battery Pack Cooling System for Heavy-Duty Truck Application. Batteries 11. <https://doi.org/10.3390/BATTERIES11020055>

MAN (ei pvm.) The ultimate man guide to heavy duty truck charging. https://www.man.eu/ntg_media/media/en/content_medien/doc/bw_master/truck_2/man-wis-sensbroschuere.pdf

Moradi J, Andwari AM, Gharehghani A, Könnö J (2025) Advanced thermal management strategies for electric vehicles: enhancing efficiency, reliability, and performance. Future Energy, 4(1), 43–49. <https://doi.org/10.55670/fpl.fuen.4.1.5>

Nåbo A, Abrahamsson M, Bhatti JH, Björklund M, Daniels D, Danilovic M, Haugland P, Huddén P, Portinson Hylander J, Käck S, Lindahl P, Lihua Liu J (2024) Battery-Swapping for Heavy Duty Vehicles. A Feasibility Study on Up-Scaling in Sweden. VTI rapport 1199. ISSN 0349-6030. DOI: [10.13140/RG.2.2.17552.17927](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17552.17927)

Parvizomran E, Elliot V (2024) Barriers to circular economy: Insights from a small electric vehicle battery manufacturer. Journal of Purchasing and Supply Management 30, id 100905. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2024.100905>

Parvizomran E, Bergqvist R (2025) Decarbonization costs for the Swedish heavy-duty road fleet: Circular economy insights on electric truck batteries. Transport Policy 160: 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.10.033>

Plugit Finland Oy (2025) Plugit tuo Suomeen ensimmäisen megawattiluokan latausaseman. Plugit Pro DC avataan syyskuussa 2025. Internetsivu. <https://plugit.fi/uutiset/plugit-tuo-suomeen-ensimmaisen-megawattiluokan-latausaseman-plugit-pro-dc-lieto-avataan-syyskuussa-2025/>. Viitattu 9.6.2025

Preger (2020) Degradation of Commercial Lithium-Ion Cells as a Function of Chemistry and Cycling Conditions. <https://doi.org/10.1149/1945-7111/abae37>

Pulkkinen O (2024) Tutustu kiinteäntilaisten akkujen tulevaisuuteen sähköautoissa. Moottori 12.10.2024. <https://moottori.net/tutustu-kiinteantilaisten-akkujen-tulevaisuuteen-sahkoautoissa>

Pulliainen M (2024) Professori ruoskii Teslan akkutekniikkaa. Tekniikka&Talous 4.10.2024.

Raju S (2024) Degree Project in Mechanical Engineering A simulation of circular battery systems for electric trucks. A battery lifecycle simulation model. KTH Royal Institute of Technology. URN: [urn:nbn:se:kth:diva-357053](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:se:kth:diva-357053)

Rehan M (2024) Modelling the degradation of Li-ion batteries in mobility and stationary applications based on operational stress factors. Sähkötekniikan korkeakoulu, diplomityö. Aalto University. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202405263784>

Rostami H, Valio J, Tynjälä P, Lassi U, Suominen P (2024) Life Cycle of LiFePO₄ Batteries: Production, Recycling, and Market Trends. ChemPhysChem, 25(24). <https://doi.org/10.1002/CPHC.202400459>

Saukko J (2022) Sähköautojen latauspisteiden suunnittelu. Opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/798598/Saukko_Jani.pdf?sequence=2

Scania (2024) Electric trucks. Internetsivu. <https://www.scania.com/group/en/home/products-and-services/trucks/battery-electric-truck.html>. Viitattu 6.6.2025

Scania (2025a) A closer look at Scania's next-generation battery. Internetsivu. <https://www.scania.com/group/en/home/electrification/e-mobility-hub/a-closer-look-at-scanias-next-generation-battery.html>. Viitattu 6.6.2025

Scania (2025b) Reuse, repurpose, recycle: Scania's circular battery strategy explained. Internetsivu. <https://www.scania.com/group/en/home/electrification/e-mobility-hub/reuse-repurpose-recycle-scanias-circular-battery-strategy-explained.html>. Viitattu 6.6.2025

Schneider J, Teichert O, Zähringer M, Balke G, Lienkamp M (2023) The novel Megawatt Charging System standard: Impact on battery size and cell requirements for battery-electric long-haul trucks. eTransportation 17, article id 100253. <https://doi.org/10.1016/j.etr.2023.100253>

SESKO (2023) Kaksisuuntainen lataus, sähköauto sähkövarastona? Internetartikkeli 4.9.2024. <https://sesko.fi/kaksisuuntainen-lataus-sahkoauto-sahkovarastona/>. Viitattu 6.6.2025

SESKO (2025) Sähköajoneuvojen lataussuositus. 7. painos. 23.5.2025. file:///C:/Users/alp/Downloads/SESKO-lataussuositus-7-painos_2025-05-23-FINAL.pdf

Silvonen J (2025) Haastattelu 2.5.2025 Volvo Trucks Suomi.

SKAL (2025) Liikenteen verotus ja Suomen kilpailukyky. Kuljetus- ja logistiikka-alan näkemyksiä liikenteen verotuksen uudistamiseen. https://skal.fi/wp-content/uploads/2025/06/skal_liikenneveropoliittinen_ohjelma_2025_web_lr.pdf

Skuza A, Jurecki RS (2022) Analysis of factors affecting the energy consumption of an EV vehicle-a literature study. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1247/1/012001>

Spitthoff L, Shearing PR, Burheim OS (2021) Temperature, ageing and thermal management of lithium-ion batteries. Energies (Vol. 14, Issue 5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en14051248>

Tanskanen J (2024) Akkutekniikan läpimurto lähellä – sähköautoihin tarjolla pian mullistava tuhannen kilometrin akku. Yle 2.11.2024. <https://yle.fi/a/74-20121510>

Tikka V, Kalenius J, Räisänen O, Lassila J (2021) Loppuraportti: sähköautojen latauksen muodostama kuormitus- ja mitoitusteho erilaisissa toimintaympäristöissä. Tutkimusraportti, Lappeenranta-Lahti University of Technology. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-335-716-7>

Tikka V (2024) On Load Modeling of Electric Vehicles—Energy System Viewpoints. Väitöskirja, Lappeenranta-Lahti University of Technology. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-412-047-0>

Traficom (2025) Ajoneuvoveron määrä. Internetsivu, päivitetty 14.5.2025. <https://traficom.fi/fi/liikenne/autoilijat/ajoneuvon-verotus/ajoneuvoveron-maara> Viitattu 30.6.2025

Tuviala E, Meriläinen A, Hiltunen T, Lindh T, Kauranen P, Ahola J (2024) Simulation tool to model the levelized cost of driving of battery swapping heavy duty vehicles. Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4947306>

Valtioneuvosto (2023) Vahva ja välittävä Suomi. Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023. Valtioneuvoston julkaisuja 2023:58. https://www.finlex.fi/fi/hallituksen-esitykset/2018/191?utm_source=chatgpt.com#OT1_OT1_OT3

Valtioneuvosto (2024) Liikenteen verotuksen ja rahoituksen kokonaisuudistus. Internetsivu. <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=LVM013:00/2024>. Viitattu 19.5.2025.

Valtiovarainministeriö (2024) Euroopan komission ehdotus neuvoston direktiiviksi energia- tuotteiden ja sähkön verotusta koskevan unionin kehyksen uudistamisesta (uudelleenlaadittu), KOM (2021) 563 lopullinen. Valtiovarainministeriö. Eduskuntatunnus U 56/2021 vp. <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/Liiteasiakirja/Documents/EDK-2024-AK-52728.pdf>

Valtiovarainministeriö (2025) Energiaverotus. Internetsivu. <https://vm.fi/energiaverotus>. Viitattu 16.5.2025

Venäläinen P, Poikela A, Tarvainen R (2025a) Metsäyhtiöiden autokuljetusten sähköistäminen (MESI) - Kustannus- ja päästövaikutusten laskelmat. Metsätehon raportti 271. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/MESI-kustannus-ja-paastolaskelmat.pdf>

Venäläinen P, Poikela A, Porttikivi A, Tarvainen R (2025b) Metsäyhtiöiden autokuljetusten sähköistäminen (MESI) - Loppuraportti. Metsätehon raportti 275. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Raportti-275.pdf>

Verohallinto (2022) Sähkön veroluokat ja verotuksen korjaaminen. Internetsivu. <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/107822/s%C3%A4hk%C3%B6n-veroluokat-ja-verotuksen-korjaaminen/>

Verohallinto (2024) Energiaverotus. Internetsivu. <https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotus5/>. Viitattu 6.8.2025

Verohallinto (2025a) Nestemäisten polttoaineiden verotaulukot - Verotaulukko 1: 1.1.2024–. Internetsivu. <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/nestemaiset-polttoaineet/verotaulukot/> Viitattu 23.6.2025

Verohallinto (2025b) Sähkön, maakaasun, biokaasun, polttoturpeen, kivihiilen ja mäntyöljyn verotaulukot. Internetsivu. <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/sahkovero/verotaulukot/> Viitattu 1.6.2025

Verohallinto (2025c) Sähkövero – yritykset. Internetsivu. <https://www.vero.fi/yritykset-ja-vh-teisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/sahkovero/>. Viitattu 1.6.2025

Virtanen S (2025) Yksi sähköauton akku on ongelma jopa Fortumille. Tekniikka&Talous 2.5.2025.

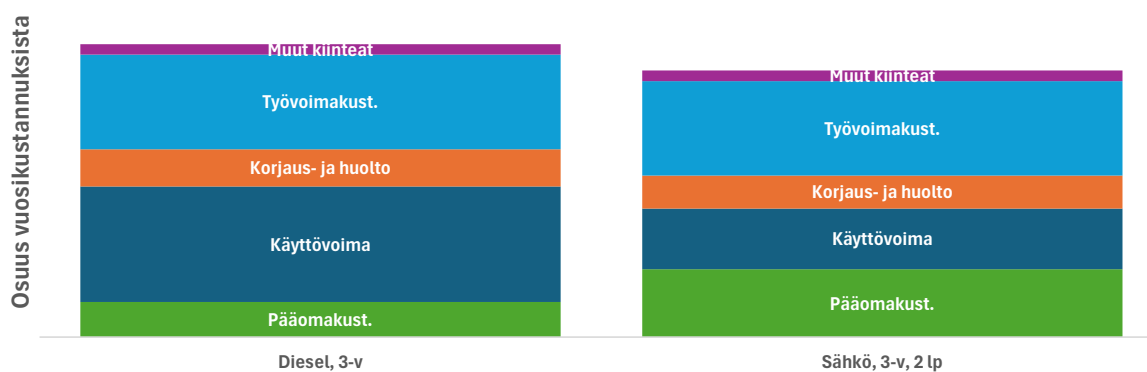
Volvo (2025) Battery Electric Vehicles. Internetsivu. <https://www.volvogroup.com/en/sustainable-transportation/sustainable-solutions/battery-electric.html>. Viitattu 6.6.2025

Wassiliadis N, Kriegler J, Gamra KA, Lienkamp M (2023) Model-based health-aware fast charging to mitigate the risk of lithium plating and prolong the cycle life of lithium-ion batteries in electric vehicles. Journal of Power Sources volume 561. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2022.232586>

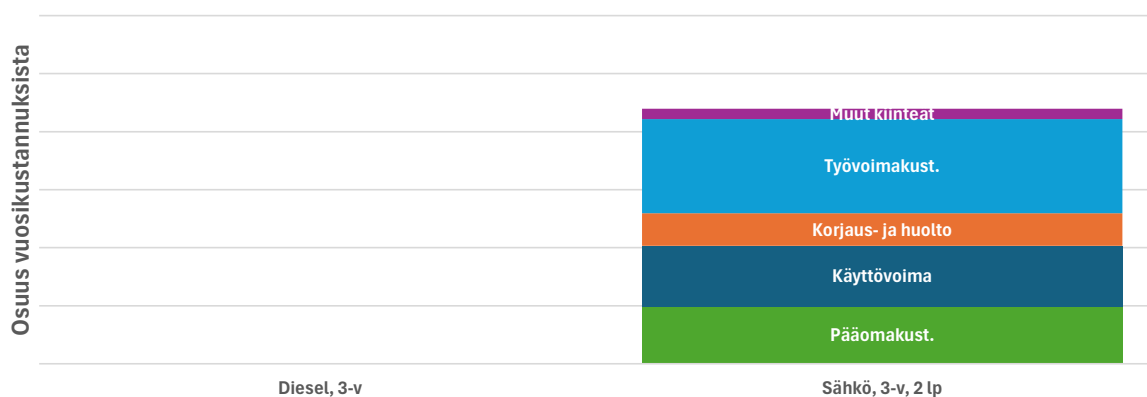
Ympäristöministeriö (2023) EU:n akkuasetus astuu tänään voimaan – pitkällä aikavälillä isoja muutoksia akkualalle. Internetsivu 17.8.2023. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/eu-n-akku-asetus-astuu-tanaan-voimaan-pitkalla-aikavalilla-isoja-muutoksia-akkualallevosto.fi/-/1410903/eu-n-akkuasetus-astuu-tanaan-voimaan-pitkalla-aikavalilla-isoja-muutoksia-akkualalle>. Viitattu 6.6.2025.

Zähringer M, Schneider J, Balke G, Gamra KA, Klein N, Lienkamp, M (2024) Fast track to a million: A simulative case study on the influence of charging management on the lifetime of battery electric trucks. E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, 9, 100731. <https://doi.org/10.1016/J.PRIME.2024.100731>

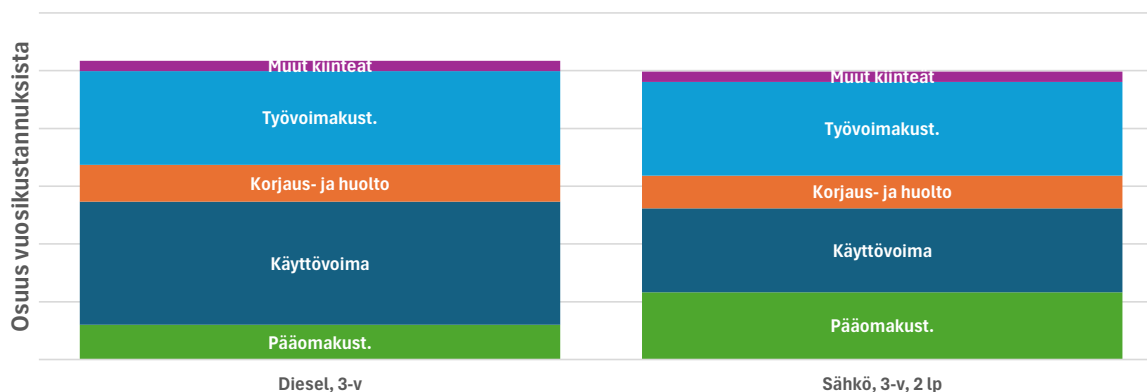
Liite 1. Hakeauton vuosikustannukset eri herkkyyssanalyyseissa.



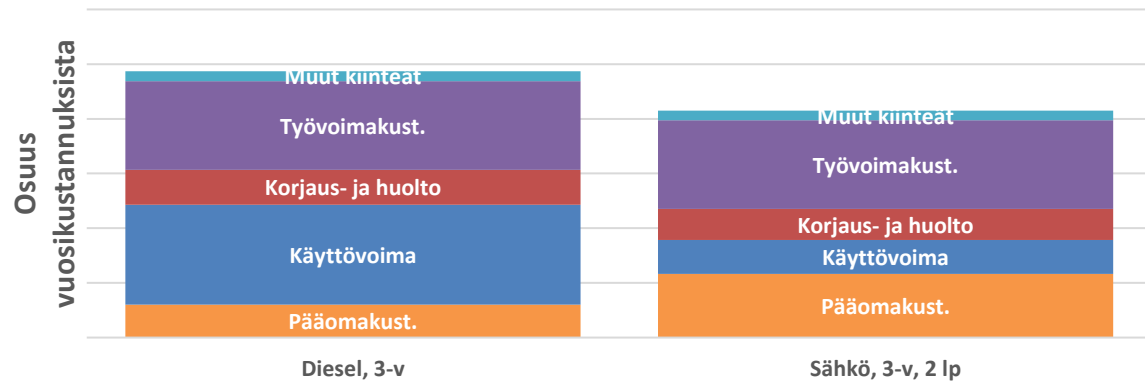
Perustaselaskelma 68-tonnisen hakeauton vuosikustannuksesta (yksi akunvaihto; 1,565 €/l; 0,25 €/kWh, 350 kW)



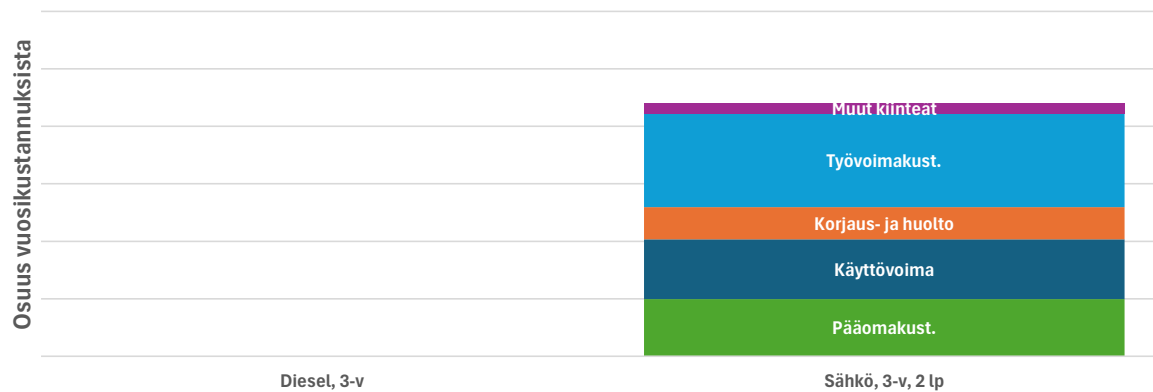
Hankintahinta- laskelma 68-tonnisen hakeauton vuosikustannuksesta (–100 000 eur vetoauton hankintahinta; yksi akunvaihto; 1,565 €/l; 0,25 €/kWh, 350 kW)



Käyttövoima+ -laskelma 68-tonnisen hakeauton vuosikustannuksesta (yksi akunvaihto; 1,685 €/l; 0,35 €/kWh, 350 kW)



Käyttövoima- -laskelma 68-tonnisen hakeauton vuosikustannuksesta (*yksi* akunvaihto; **1,445 €/l**; **0,15 €/kWh**, **350 kW**)



Akun kesto+ -laskelma 68-tonnisen hakeauton vuosikustannuksesta (*nolla* akunvaihtoa; **1,685 €/l**; **0,25 €/kWh**, **350 kW**)

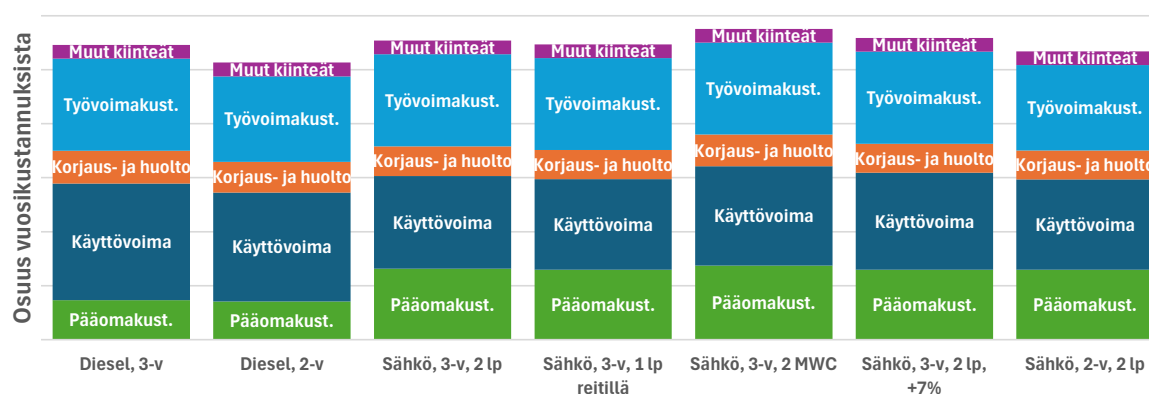
Liite 2. Metsäauton vuosikustannukset eri herkkyysanalyysissä.



Perustaselaskelma metsäauton vuosikustannuksesta (*yksi* akunvaihto; 1,565 €/l; 0,25 €/kWh, 350 kW)



Hankintahinta- laskelma metsäauton vuosikustannuksesta (–100 000 eur vetoauton hankintahinta; *yksi* akunvaihto; 1,565 €/l; 0,25 €/kWh, 350 kW)



Käyttövoima+ -laskelma metsäauton vuosikustannuksesta (*yksi* akunvaihto; 1,685 €/l; 0,35 €/kWh, 350 kW)



Käyttövoima- -laskelma metsäauton vuosikustannuksesta (yksi akunvaihto; 1,445 €/l; 0,15 €/kWh, 350 kW)



Akun kesto+ -laskelma metsäauton vuosikustannuksesta (nolla akunvaihtoa; 1,685 €/l; 0,25 €/kWh, 350 kW)