



**Euroopan unionin
rahoittama**

NextGenerationEU

MESI-hankkeen tuloksia ja tiekartta jatkotoimille

Pirjo Venäläinen, Asko Poikela, Annaleena Porttikivi & Riku Tarvainen

1.4.2025

Raskaiden kuljetusten sähköistymisen seminaari

Sisältö

1. Tavoitteet
2. Toimintaympäristö
3. Vaikutuslaskelmat
4. Tiekartta
5. Alustavia jatkotutkimustarpeita

Lähteet

1. Tavoitteet

- Tuottaa metsäyhtiöille **tietopohjaa** täyssähköisiä autokuljetusratkaisuita koskevan päätöksenteon tueksi
 - => Edistetään yhtiöiden **valmiutta toimenpiteisiin** eri aikajänteillä (esim. ensimmäiset investoinnit ja kokeilut alkuvaiheessa, laajemmat investoinnit myöhemmin)
- Laatia **toteutettavuusselvitys** raskaan liikenteen sähköistämisestä metsäteollisuuden autokuljetuksissa Suomessa
 - Tuotekuljetukset, hake- ja puutavarakuljetukset, muut raaka-ainekuljetukset
 - Otetaan huomioon myös mahdollinen synergia tuotantolaitosten ja terminaalien työkoneiden sekä henkilöautoliikenteen sähköistämisen kanssa (esim. latausinfra sijoittelu ja investoinnit)

MESI-hankkeen toteutus ja rahoitus

- Metsäsektorin autokuljetusten sähköistämisen toteutettavuus selvitys
- Metsäteho Oy:n ja alihankkijoiden toteuttama
- Saa Traficomien sähköisen raskaan liikenteen ohjelman avustusta
- Toteutus 10/2023–8/2025
- Hankesivu <https://www.metsateho.fi/mesi>

Kotimaan kuorma-autoliikenteen suoritteet 2023

	Tavaramäärä, 1 000 t	Kuljetussuorite, milj. tkm	Liikennesuorite, 1 000 km	Keskimääräinen kuljetusmatka, km
Tukki- ja kuitupuu	34 899	3 104	62 999	89
Energiapuu, polttopuu, kannot, risut, metsähake yms.	5 000	336	11 853	58
Puru, hake	6 855	1 096	27 354	137
Mekaanisen metsäteollisuuden tuotteet, sahattu puutavara, paneelit, levytuotteet, taloelementit puusta yms.	5 362	1 461	57 631	216
Paperimassa, selluloosa	3 345	696	18 083	196
Paperi, kartonki, painotuotteet, muut tuotteet paperista ja kartongista	5 385	1 037	46 248	163
YHTEENSÄ / PAINOTETTU KESKIARVO	60 846	7 730	224 168	150
KAIKKI	232 409	26 457	1 728 649	89
Metsäteollisuus ja energiapuu	26 %	29 %	13 %	

Tilastokeskus 2025

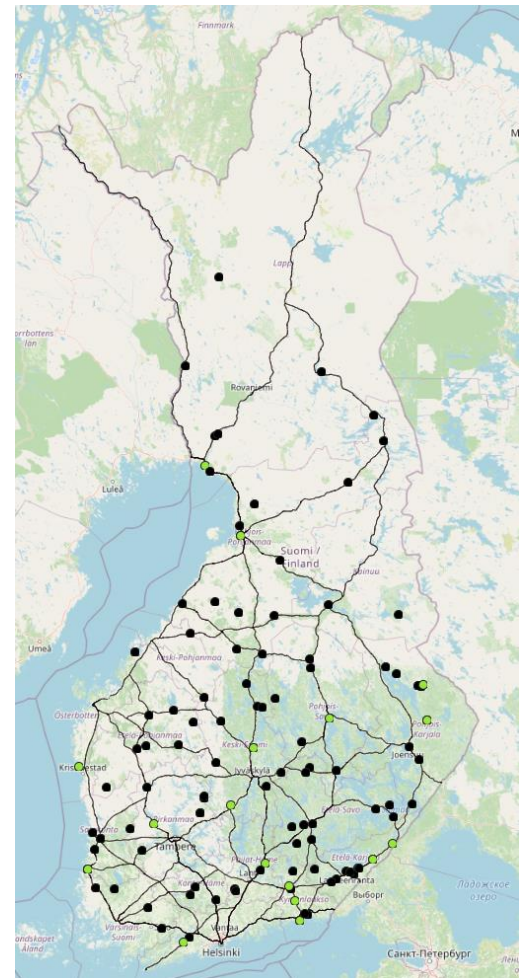
Metsäsektorin kuljetusten erityispiirteitä

- Pyöreän puutavaran kuljetuskaluston koko pääosin 76 t
 - Hakekuljetuksissa myös 68 t
- Tuotantolaitoksia ja puunhankintaa kautta maan
- Potentiaalinen synergia työkoneiden latausinfraan kanssa
 - Tuotantolaitosten työkoneet (130 kpl) ja terminaalikuorma-autot
 - Vesi- ja rautatiekuljetustermiinalien työkoneet (51+52 kpl) (Venäläinen ym. 2024)
- Puutavaran kuljetusyritysten koko pieni
 - 87 %:lla yrityksistä max 5 puutavara-autoa) (Metsätrans 2025)



Puuta käyttävät tuotantolaitokset

MESI-hankkeen tuloksia ja tiekartta



2. Toimintaympäristö

- AFIR
- Jakeluinfraohjelma
- Infratuki
- Liikennesähkö osa jakeluvelvoitetta
- MW-latausstandardit

Latausinfra



- CO₂-raja-arvoasetus
- Tekninen kehitys (akut, voimalinja)

Sähköautot



- Akkujen hinta
- Hankintatuet
- Tieliikenteen ja työkoneneiden päästökauppa
- Liikenteen verotusuudistus

Kustannukset



Sähkökuorma-autoja

Scania

EM C3-6 ja EM C1-4 72 t

45R SCA / Rolf Lövgrens Åkeri (SE) puutavara 74 t

Södra (SE) hake 64 t



Valokuva: Olle Melkerhed (Skogforskin internetsivu)

Volvo

FM, FMX, FH (Aero) Electric 68 t

Mattsson Åkeri (SE) konttikuljetus 74 t

Testaukset polttokennosähköautolla käynnissä



Valokuva: Volvo

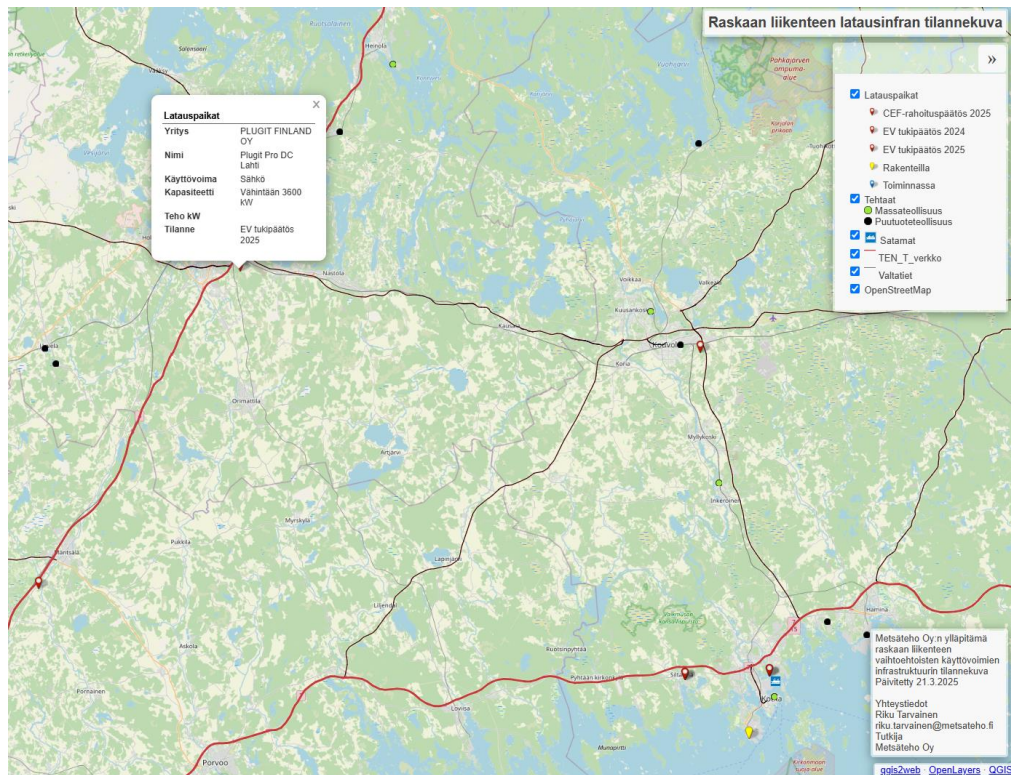
Extended Range Electric Vehicle (EREV)

- Scania ja DHL kehittivät 40-tonnisen sähköisen kuorma-auton, jossa lisäksi polttoainekäyttöinen generaattori
- Testikäyttöön 2/2025 Berliinin ja Hampurin välille
- EREV-ajoneuvolla voi ajaa 80–90 % uusiutuvalla sähköllä, mikä vähentää noin 80 % hiilidioksidipäästöjä verrattuna dieselkäyttöiseen kuorma-autoon
 - Tässä vaiheessa generaattori käyttää bensiiniä, mutta myöhemmin on tarkoitus hyödyntää dieseliä/HVO-polttoainetta
- Lisää joustavuutta lataukseen kuorma-autojen latausverkoston vasta kehittyessä
 - Mahdollistaa myös sähkön kovimpien hintapiikkien välttämisen



Kuva: DHL Group

Raskaiden kuorma-autojen latausasemat - tilannekuva (luonnos)

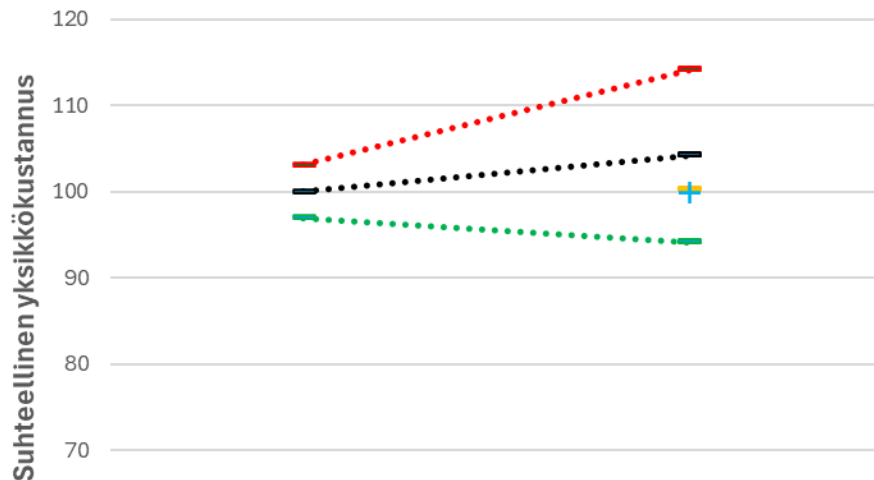


3. Vaikutuslaskelmat

- Raportti 76-tonnisten sähköisten **puutavara- ja hakeyhdistelmien** vertailuista dieselkuorma-autoihin (kustannukset ja päästöt) (Venäläinen ym. 2025)
- Kustannusten herkkyystarkastelut
 - Vetoauton hankintahinta
 - Akun vaihto pitoaikana
 - Dieselin/sähkön hinta
 - Latausinfran teho (megawatti)
- HCT-yhdistelmien (yli 76 t) osalta seurataan Ruotsin tutkimusta

Kustannusvertailu, 68-tonninen hakeyhdistelmä

- Herkkyystarkasteluita on tehty aiemmin 76-tonnisille puutavara- ja hakeautoille
- Nyt laskelmaa on täydennetty 68-tonnisella hakeautolla
- Laskentaperiaatteita ja -perusteita tarkistetaan edelleen, epävarmuustekijöitä on paljon
 - Esim. käytetyn akun vaihtoarvo!
 - Korjaus- ja huoltokustannukset



	Diesel, 3-v	Sähkö, 3-v, 2 lp
— Perustaso	100,0	104,1
— Käyttövoima +	103,1	114,1
— Käyttövoima –	96,9	94,1
— Hankintahinta –		100,2
+ Akun kesto +		99,8

Skenaario päästövaikutuksista (Venäläinen ym. 2025)

Yhdistelmätyyppi	CO ₂ -päästö- vähennys* kg/kuorma- tonni	Auto- kuljetus- volyymi milj. t/v**	Skenaario sähköistyksen osuus %	CO ₂ -päästö- vähennys 1 000 t/v
Puutavara-auto	4,8	34,9	20 %	34,1
Hakeauto	4,9	6,9	25 %	8,5
YHTEENSÄ		41,8	21 %	42,6

*CO₂-päästökerroin 2,125 kg/litra Tilastokeskus 2024b

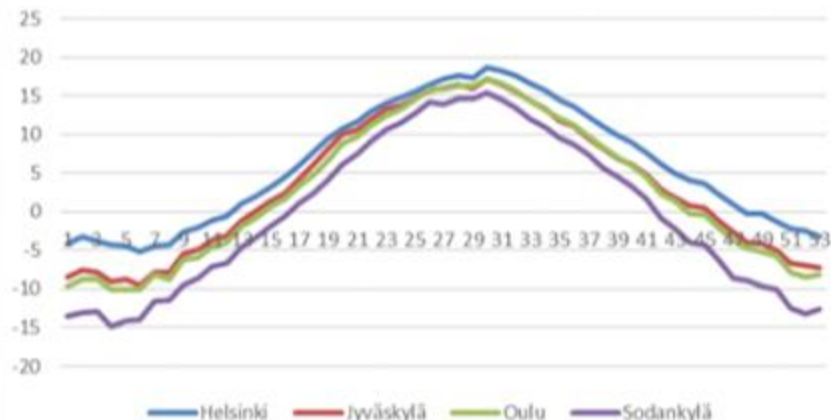
**Tilastokeskus 2024a

- Käyttövoimien **elinkaarenaikaisten** päästövaikutusten kansalliset laskentaperusteet?

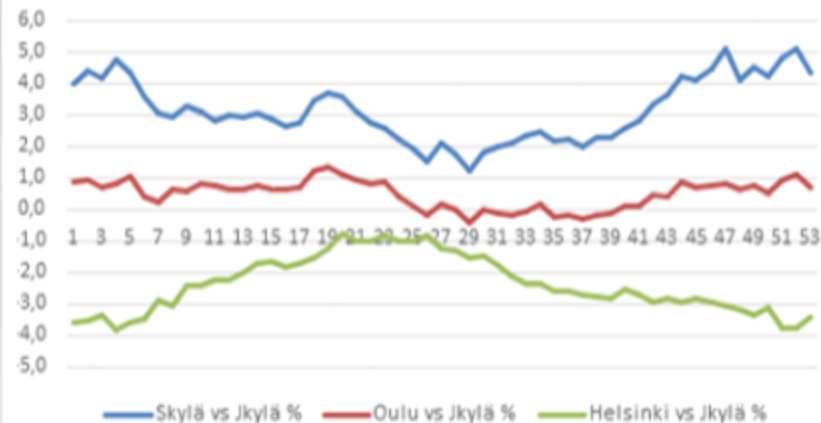
Lämpötilan vaikutus kulutukseen

76-tonninen metsäauto

Viikon keskilämpötilat °C



Kulutusero %



Lähde: Ilmatieteen laitos

Ero kulutukseen Jyväskylässä.
Laskettu Volvon mallinnuslaskelman pohjalta.



Lataus- ja taukoajat

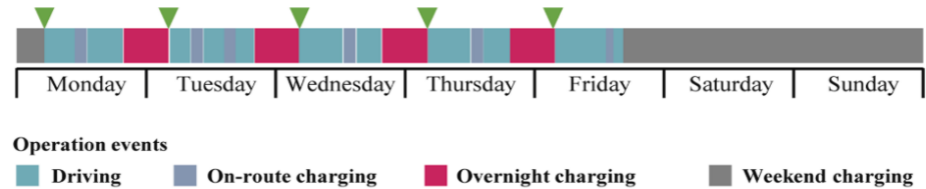
68-tonninen hakeyhdistelmä



Ajoneuvoyhdistelmä	68HS		Latauspisteiden lkm	2	
Latausteho kW	350		Ylimääräistä taukoa min/kuorma	15,0	
Akun varaus työpäivän alussa (70 % SOC)	407				
Tehtaan ja terminaalin etäisyys (km)	100				
Työvuorojen lkm	3				
Työvuoron kesto (h)	5:09				
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	30,0	788	13:07	399	30
Ajo 100	94,1	882	14:41	174	0
Purku	31,9	914	15:13	170	0
Kuljettajan vaihto					
Lataus	15,0	929	15:28	258	15
Ajo 100	86,9	1016	16:55	123	0
Kuormaus	31,1	1047	17:26	117	0
Lataus	30,0	1077	17:56	298	30
Ajo 100	94,1	1171	19:30	73	0

Latausstrategian vaikutus (Zähringer ym. 2024)

- Simuloinnissa vertailtiin kahden latausstrategian vaikutusta sähköisen kuorma-auton NMC- ja LFP-akkujen elinkaareen.
 - **Aikaoptimoitu on-route-lataus (NGS)**
Lataus suoritetaan kun (i) SOC laskee alle 20 %:iin tai (ii) lakisääteinen 4,5 h:n ajoaika on saavutettu.
 - **Aikaoptimoitu on-route-lataus mukaan lukien yönyli- ja viikonloppulataukset (BETOS)** (Kuva).
- Akun kapasiteetti 500 kWh sekä LFP-että NMC-akuilla.
 - C-rate:
 - 1C: 500 kWh:n akku ladataan 500 kW:n teholla täyteen tunnissa.
 - 2C: 500 kWh:n akku latautuu 1 MW:n latauksella täyteen puolessa tunnissa.



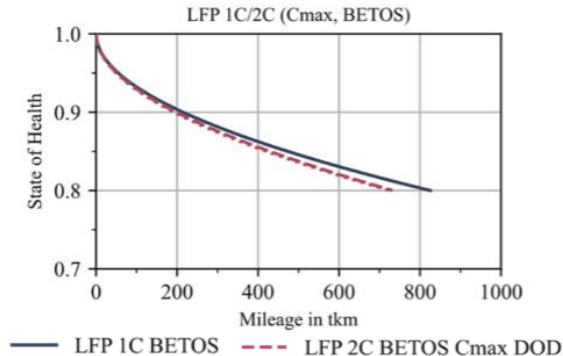
Simuloinnissa käytetty yhden työviikon ajo- ja latausprofiili (BETOS). Ajomatka 3 000 km viikossa, 150 000 km 50 viikossa. Yönyli- ja viikonloppulatauksessa hyödynnettiin

- koko käytettävissä oleva aika halutun lataustason saavuttamiseen tai*
- ladattiin 4 tuntia ennen ajoa.*

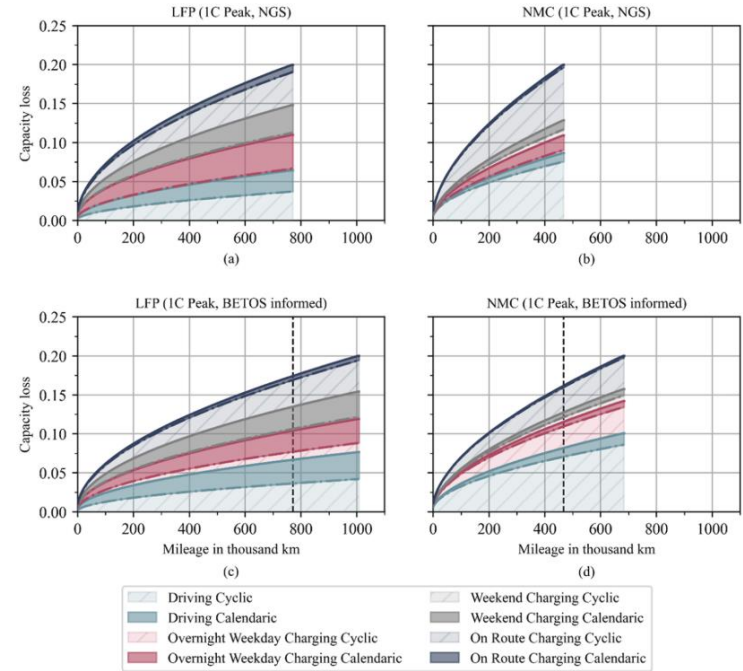


Tulokset (Zähringer ym. 2024)

- **Alhaisen lataustehon yön yli- ja viikonloppulataukset (BETOS)** pidentävät elinkaarta LFP-akuilla 30 % ja NMC-akuilla 40 %.
 - Vähiten ikääntymistä, kun yönyli- ja viikonloppulataus suoritettiin 4 tuntia ennen käyttöä (C/4, 500 kWh/125kw).
 - BETOS-strategialla saavutettiin LFP-akulla hieman yli miljoonan kilometrin ja NMC-akulla 685 000 km:n elinkaari.
- **Nopeat lataukset tien päällä (on-route charging cycle)** aiheuttavat NMC-akuissa suurempaa kapasiteetin menetystä LFP-akkuissa. (Kuva 1)
- **Megawattilatauksen** (C-rate 2) vaikutuksia tarkasteltiin LFP-akulla. Tienpäällä latauksella, mukaan lukien yönyli- ja viikonloppulataukset, saavutettiin 720 000 km:n elinkaari. (Kuva 2)



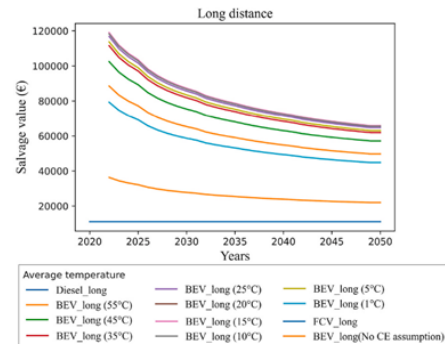
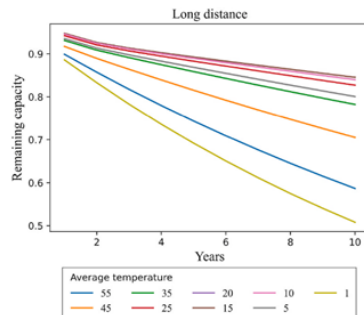
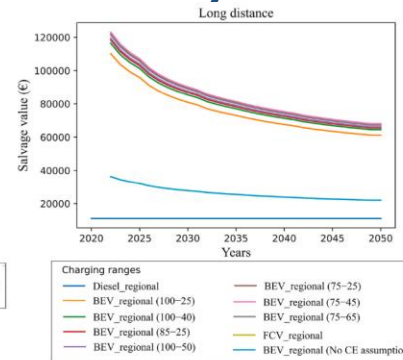
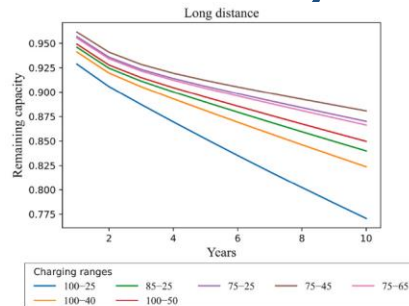
Kuva 2. 1 C:n latauksen ja megawattilatauksen (2C) vaikutus LFP-akkuihin



Kuva 1. BETOS- ja NGS-latausstrategioiden vaikutukset NMC- ja LFP-akkujen kapasiteettiin. C-rate on 1.

Akun jälleenmyyntiarvo (Parvitziomran ym. 2025)

- Ruotsalaistutkimuksen mukaan käytettyjen, suuren kapasiteetin ja korkean tehon omaavien kuorma-autoakkujen (SOH 70 %) jälleenmyyntiarvo on merkittävä:
 - 70 % akun jäljellä olevan kapasiteetin arvosta.
- Tutkimuksessa arvioitiin eri stressitekijöiden vaikutusta akun jälleenmyyntiarvoon:
 - DoD (depth of discharge, akun purkautumistaso) / SoC (state of charge, latauksen taso)
 - Lämpötila
- Tutkimuksen äärimmäiset lämpötilat (55°C ja 5°C) vaikuttavat merkittävästi akun ikääntymiseen ja alentavat jälleenmyyntiarvoa.
- Lataustason vaihteluvälillä selkeästi lämpötilaa vähäisempi vaikutus akun kapasiteettiin ja jälleenmyyntiarvoon.



Lataustason vaihteluvälin (ylemmät kuvat) ja lämpötilan (alemmat kuvat) vaikutus akun kapasiteettiin ja jälleenmyyntiarvoon pitkämatkaisessa ajossa (akun kapasiteetti 600 kWh).



Lämpötilan vaikutus

- Akun optimaalinen toimintalämpötila on 15–35 C (Moradi 2025)
 - Tätä korkeammat ja alhaiset lämpötilat aiheuttavat akun ikääntymistä (sisäisen vastuksen kasvu akussa, kapasiteetin lasku, turvallisuusriski korkeissa lämpötiloissa)
 - Myös suuret lämpötilaerot akun sisä- ja pintaosien välillä (esim. latauksen aikana) kiihdyttävät ikääntymistä.
- Lataustapahtuma (Leijon 2025)
 - Korkea C-rate asettaa akkuteknologialle haasteita.
 - Akun sisäisen lämpötilan nousu suurteho- tai megawattilatauksen aikana nopeuttaa akun ikääntymistä ja on myös turvallisuusriski.
 - Kylmä akku ei kykene vastaanottamaan korkeita lataustehoja. Lyhyen suuritehoisen lataustapahtuman aikana akku ei ehdi lämmitä tarpeeksi (tarvitaan esilämmitys).
 - Kylmän akun lataaminen suurella teholla myös nopeuttaa ikääntymistä.
- Alhaiset ulkolämpötilat (henkilöautot) (Tikka ym. 2021)
 - Selkeä muutos tapahtuu 0 °C lämpötilan kohdalla, jolloin energian kulutus lähtee nousemaan
 - Matkustamon lämmittäminen sekä akun esilämmitys ennen ajoa ja latausta lisää energiankulutusta
 - Autojen latauksen energiasisältö laskee → akkua ei pysty varaamaan täyteen kapasiteettiin asti.
- BTMS (Battery thermal management system)
 - Akuston lämmitys ja jäähdytys, lämpötilan tasaaminen akustossa.
 - BTMS:n ominaisuudet vaihtelevat suuresti automerkeittäin ja malleittain. Uusimmissa edistyneissä malleissa hyödynnetään tekoälyä ja koneoppimista (Leijon 2025).
 - Tehokkaan BTMS:n merkitys kasvaa megawattilatauksen yleistyessä.



Metsäteollisuuden latausinfra-casejen mitoitus- ja kustannuslaskelmat (Käsnänen ym. 2024)

	Case A	Case B	Case C	Case D	Case E
Autojen latausinfra kW	1*350	1*350	2*350	1*350	7*350
Työkoneiden latausinfra kW	1*350			-	3*350
Latausmäärä kWh/vrk	3 786	3 150	7 990	3 150	29 805
Teoreettinen käyttöaste %	50	38	92	38	41
Investointi 1 000 €	155–335	70–190	140–380	186–215	1 500–2 500
Raakaindeksi 1 €/kWh	40–80	22–60	18–48	59–68	50–83

- Latauspisteiden lkm riippuu ajoneuvojen ja työkoneiden latauskertojen tarpeesta ja mahdollisuudesta välttää yhtäaikaista lataamista (mm. kuljetusreittien säännöllisyys)
- Investointeja: latauspiste, lataussatelliitit, pienjänniteliittymä, muuntaja, maakaapeli + kaivutyö
- Latausinfra-synergiaa työkoneiden kanssa vähentää se, että suurimmat sähköiset työkoneet ovat kaapeliladattavia

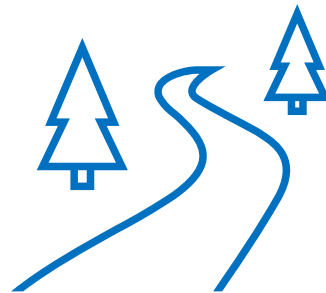


4. Tiekartta

- Koko hankkeen tulosten pohjalta yleiset **johtopäätökset** sähköisen raskaan liikenteen edistämisestä metsäyhtiöiden kuljetuksissa:
 - Täyssähköisten raskaiden kuljetusten **kustannus- ja ympäristötehokkuus** lyhyellä ja pitkällä aikajänteellä
 - Eri kuljetusketjuissa (tuote, puu, hake)
 - Eri kuljetusalueilla (keskikuljetusmatkat, metsäteollisuuden keskittymät)
 - **Edellytykset sähköistämisen etenemiseen** lyhyellä ja pitkällä aikajänteellä (hidastavat ja edistävät tekijät)
 - **Tiekartta jatkotoimista metsäyhtiöille ja näiden potentiaalisille yhteistyökumppaneille** lyhyellä ja pitkällä aikajänteellä



Tiekartan alustavia teemoja



- **Latausinfra**n yleistymisen seuranta
 - Alueelliset kehityshankkeet (ml. kaavoitus), yritysten omat investoinnit, megawattilataus
- **Latausinfra**tuet (ACE-hankkeen [työkoneraportissa](#) mainittu mm. kuorma-autojen ja työkoneiden jakeluinfraverkon kehittäminen kokonaisuutena, Ruotsin avustukset myös yksityiselle latausinfrale ja TEN-T-verkon ulkopuoliset tarpeet)
- **Sähkökuorma-autojen** kokeilut metsäteollisuudessa => kokemukset ja mittausdata aidoista olosuhteista, kokemusten jakaminen eri toimijoiden kesken ([ACE](#)-hanke)
- **Yhteistyömallit**
 - Latausinfrainvestoinnit, sähkökuorma-autojen kehittäminen/hankinnat/leasing
- **Sääntelymuutosten** seuranta ja niiden vaikutukset diesel- ja sähkökuorma-autojen kustannuseroihin
- **Kuljetusyritysten neuvonta**
 - Sähköisen kuorma-auton hankinta ja käyttäminen

5. Alustavia jatkotutkimustarpeita

- Akut
 - Hintakehitys, elinkaaren pituus, korjattavuus, vaihtoarvo
- Lämpötilan vaikutus
 - Lataus, kantama
- Megawattilatauksen vaikutus
- Kustannuslaskelmien päivitys ja vertailu muihin käyttövoimiin
- Sähköisen ajoneuvoyhdistelmän kulutus
 - Maantie/kaupunkiajo
 - Topografia
 - Haakeyhdistelmän kuormaus ja purku



Kuva: Metsäalan Kuljetusyrittäjät ry

Lähteet

DHL Group (2025) DHL and Scania to test electric truck with fuel-powered range extender. Lehdistötiedote 20.2.2025. <https://group.dhl.com/content/dam/deutschepostdhl/en/media-relations/press-releases/2025/pr-dhl-scania-20250220.pdf>

Käsnänen S, Sirén J, Virtanen E, Takala J (2024) MESI – Sähkökuorma-autojen latausinfrastruktuuri. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Ramboll-MESI-raportti-sahkokuorma-autojen-latausinfrastruktuuri.pdf>

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

Metsätrans (2025) Yritysten määrä puutavara-autokaluston mukaisessa järjestyksessä. Tilasto. N:o 1 maaliskuu 2025.

Moradi J, Mahmoudzadeh Andwari A, 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>

Tikka V, Kalenius J, Räisänen O, Lassila J (2021a) Loppuraportti: sähköautojen latauksen muodostama kuormitus- ja mitoitusaste erilaisissa toimintaympäristöissä. *LUT Scientific and Expertise Publications*. LUT School of Energy Systems. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163366/Loppuraportti.pdf>

Tikka V, Lassila J, Laine T. (2021b) Measurements of Cold Climate EV Charging. *LUT Scientific and Expertise Publications*. LUT School of Energy Systems. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163365/Technical_report_Measurements_of_cold_climate_EV_charging.pdf

Parviziomran E, Elliot V (2024) Barriers to circular economy: Insights from a small electric vehicle battery manufacturer. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 30(2), 100905. <https://doi.org/10.1016/J.PURSUP.2024.100905>



Tilastokeskus (2024a) Kotimaan kuorma-autoliikenteen suoritteet tavaralajeittain, 2011-2023. Tilasto. https://statfin.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_kttav/statfin_kttav_pxt_119b.px/.

Tilastokeskus (2024b) Polttoaineluokitus 2023. https://stat.fi/media/uploads/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus_2023.xlsx.

Tilastokeskus (2025) 119b -- Kotimaan kuorma-autoliikenteen suoritteet tavaralajeittain, 2011-2023. Tilasto. https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_kttav/statfin_kttav_pxt_119b.px/

Venäläinen P, Strandström M, Poikela A (2024) Puunkorjuun ja kuljetusten päästöjen nykytila ja vähennyskeinot – 2. päivitys - Liiteraportti 5: Puun kuormankäsittelyn työkonekysely. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Liite-5-Tyokonekyselyn-Tulokset.pdf>

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

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. Volume 9, September 2024, 100731. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100731>





KIITOS