



**Euroopan unionin
rahoittama**
NextGenerationEU



Metsäteho
LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

Metsätehon raportti 267
26.1.2024

METSÄYHTIÖIDEN AUTOKULJETUSTEN SÄHKÖISTÄMINEN (MESI)

Kirjallisuusselvitys

Pirjo Venäläinen
Asko Poikela

ISSN 1796-2374 (Verkkojulkaisu)

METSÄTEHO OY
Vernissakatu 1
01300 Vantaa

www.metsateho.fi

METSÄYHTIÖIDEN AUTOKULJETUSTEN SÄHKÖISTYMINEN (MESI)

Kirjallisuusselvitys

Pirjo Venäläinen
Asko Poikela

Metsätehon raportti 267
26.1.2024

ISSN 1796-2374 (Verkkojulkaisu)

© Metsäteho Oy

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
1 SELVITYKSEN TAVOITTEET	4
1.1 MESI-hankkeen tavoitteet ja toteutus	4
1.2 Väliraportin toteutus	5
1.3 Liikenteen päästöjen vähentämistä ja sähköistymistä koskevat tavoitteet	5
2 RASKAAN SÄHKÖISEN LIIKENTEEN VAATIMUKSET JA EDELLYTYKSET METSÄSEKTORIN KULJETUKSISSA SUOMESSA	8
2.1 Metsäsektorin autokuljetukset Suomessa	8
2.2 Liikennesähkön jakeluinfran nykytila, kehitysnäkymät ja investointitarpeet	12
2.2.1 Julkisen jakeluinfran nykytila ja kehitysnäkymät Suomessa	12
2.2.2 Raskaan liikenteen latausinfraa tarjoavat yritykset Suomessa	12
2.2.3 Latausinfraa koskevia vaatimuksia ja toteutusmalleja	14
2.3 Täyssähkökuorma-autojen nykytila ja kehitysnäkymät	17
3 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSTARPEET	21
LÄHTEET	23

TIIVISTELMÄ

Metsäyhtiöiden autokuljetusten sähköistäminen (MESI) -hankkeen tavoitteena on tuottaa metsäyhtiöille ja metsäsektorin kuljetusyrityksille tietopohjaa täyssähköisiä autokuljetusratkaisuja koskevan päätöksenteon tueksi. Hanke saa Traficomien sähköisen raskaan liikenteen avustusta.

Hankkeen ensimmäinen väliraportti kuvaa alkuvaiheen kirjallisuusselvityksen tuloksia. Selvitys painottuu täyssähkökuorma-autojen ja niiden latausinfrastruktuurin nykytilan ja kehitysnäkymien kuvaamiseen. Lisäksi tarkastellaan metsäsektorin kuljetusten erityispiirteitä sähköistämisen näkökulmasta. Hankkeen seuraavassa vaiheessa toteutetaan myös sidosryhmähaastatteluita sekä laaditaan laskelmia sähkökuorma-autojen kustannus- ja päästövaikutuksista. Hankkeen lopuksi tullaan laatimaan tiekartta jatkotoimenpiteille.

Täyssähköiset kuorma-autot ovat yksi päästövähennyskeino, jolla tuetaan Euroopan unionin ja Suomen päästövähennystavoitteita. Esimerkiksi Suomen ilmastolain mukaan liikenteen ilmastopäästöjen tulisi vähentyä 60 % vuoteen 2030 mennessä, kun vertailuvuotena on 1990. EU:ssa on hiljattain hyväksytty ja on parhaillaan neuvotteluissa sääntelyä kuljetusten päästöjen vähentämiseksi (mm. hyötyajoneuvojen CO₂-raja-arvoasetus, tieliikenteen päästökauppa, raskaiden ajoneuvojen EURO-päästöluokat ja vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluinfrastruktuurin AFIR-asetus). Sääntelystä seuraa velvoitteita mm. autonvalmistajille, eri käyttövoimien jakelijoille ja kansallisen jakeluinfrastruktuurin toteuttamiselle. Näin ne vaikuttavat eri käyttövoimien tarjontaan ja keskinäisiin kustannuseroihin.

Metsäsektorin autokuljetukset Suomessa koostuvat raakapuun ja muiden raaka-aineiden kuljetuksista, sivutuotehakkeen ja -purun kuljetuksista sekä tuotekuljetuksista. Metsäteollisuuden ja energiapuun kotimaan autokuljetukset olivat vuonna 2022 yli 60 milj. tonnia (25 % kaikista kotimaan autokuljetuksista). Metsäsektorin kuljetuksissa on alueittain ja tavaralajeittain eroja keskilähtömatkojen, kuljetusreittien säännöllisyyden ja taajamiin/haja-asutusalueelle painottumisen suhteen. 76-tonnisten yhdistelmien osuus kuljetuksista on suuri. Varsinkin metsästä lähtevien puukuljetusten sähköistämisessä nähdään haasteita. Silti ensimmäisiä kokeiluita ja tutkimuksia sähköisillä puutavarayhdistelmillä on käynnistynyt Ruotsissa, Australiassa ja Skotlannissa. Kokeiluita tulee käynnistymään myös Suomessa.

Täyssähkökuorma-autojen ensimmäinen julkinen latausasema Suomessa avattiin marraskuussa 2023. Uusia asemia on tulossa kymmeniä eri puolille Suomea. Lisäksi on toteutettu latausasemia yritysten terminaali-alueille. Parhaillaan on käynnissä liikenne- ja viestintäministeriön jakeluinfraohjelman valmistelu.

Yli 60-tonnisia akkukäyttöisiä täyssähkökuorma-autoja on jo tarjolla Volvolla ja Scanialla. Testeissä on ollut mukana jopa 80-tonninen yhdistelmä. Pienemmissä kokoluokissa autonvalmistajilla on tarjolla (IVECO), testauksessa (Volvo) tai suunnitelmissa (Mercedes-Benz) polttokennosähköautoja.

Täyssähkökuorma-autojen etuja ovat niiden nollapäästöisyys sekä edulliset käyttökustannukset. Keskeisiä haasteita ovat auton korkea hankintahinta ja uuteen käyttövoimaan siirtymiseen liittyvät riskit. Julkinen latausinfra tulee kehittymään lähivuosina. Voimaan astuva uusi sääntely ja akkuteknologian kehitys pienentävät jatkossa sähkö- ja dieselajoneuvojen kustannuseroa. Sähkökuorma-autojen lisäksi on osin jo tarjolla ja osin tuloillaan muitakin vaihtoehtoisia käyttövoimia (biokaasu, vety, sähköpolttoaineet).

Sähkökuorma-autojen yleistyminen edellyttää eri toimijoilta (kuljetusyritykset, kuljetusten antajat, latauspalveluiden ja -infrastruktuurin tarjoajat, ajoneuvovalmistajat, julkinen sektori) alueellisia kehittämiskokonaisuuksia.

1 SELVITYKSEN TAVOITTEET

1.1 MESI-hankkeen tavoitteet ja toteutus

Metsäyhtiöiden autokuljetusten sähköistyminen (MESI) -hankkeen tavoitteena on tuottaa metsäyhtiöille ja metsäsektorin kuljetusyrityksille tietopohjaa täyssähköisiä autokuljetusratkaisuita koskevan päätöksenteon tueksi. Näin pyritään edistämään yhtiöiden valmiutta toimenpiteisiin eri aikajänteillä (esim. ensimmäiset investoinnit ja kokeilut alkuvaiheessa, laajemmat investoinnit myöhemmin). Hankkeessa laaditaan toteutettavuusselvitys raskaan liikenteen sähköistämisestä metsäteollisuuden autokuljetuksissa Suomessa.

Hanke koskee metsäteollisuuden tuotekuljetuksia, hake- ja puutavarakuljetuksia sekä muita raaka-ainekuljetuksia. Lisäksi otetaan huomioon myös mahdollinen synergia tuotantolaitosten ja terminaalien työkonien sekä henkilöautoliikenteen sähköistämisen kanssa (esim. latausinfra sijoittelussa ja investoinneissa sekä vaihtoakkukonseptin (BaaS) toteuttaminen).

Hankkeen rajaukset ja painotukset ovat:

- Hanke koskee tieliikennekelpoisia kuorma-autoja (ei esim. tuotantolaitosten sisäisen liikenteen ajoneuvoja).
 - Latausinfra ja vaihtoakkujen investointeja koskevissa tarkasteluissa voidaan kuitenkin ottaa huomioon synergia myös sisäisen liikenteen ajoneuvojen ja työkonien kanssa
- Hanke koskee vain täyssähköisiä ratkaisuita (ei esim. hybridiratkaisuita)
- Hanke ei ota huomioon energiankulutusta vähentäviä ratkaisuita, joita voidaan hyödyntää sekä diesel- että täyssähkökuorma-autoissa (esim. aerodynamiikan kehittäminen, kuljettajia avustavat järjestelmät).
- Hanke painottaa raskaimpia ajoneuvoyhdistelmien kokoluokkia
 - Suomessa yleiset 64-, 68- ja 76-tonniset
 - Testaustilannetta yli 76-tonnisten osalta seurataan.

Hankkeen tavoitellut vaikutukset ovat:

- Hanke edistää ja nopeuttaa metsäsektorilla lähiajan päätöksiä ainakin täyssähköisten kuorma-autojen kokeiluista sekä jakeluinfra ensimmäisistä kehittämistoimista (sekä kuljetusyrittäjä- että kuljetuksenantajalähtöisesti)
- Metsäsektorin kuljetuksissa voitaisiin osin lisätä kysyntää jo muutenkin syntyvälle jakeluinfrale, osin metsäsektorin tuotantolaitokset ja terminaalit voisivat toimia jakeluinfra tarjonnan lähtölaukaisijana ko. alueella.
- Hankkeessa kehitetään yhteistyömalleja, jotka ovat tarpeen jakeluinfra ja akkujen vaihtamisen tarjonnan varmistamisessa varsinkin alueilla, joilla sitä ei synny ilman metsäsektorin aloitteellisuutta.
- Hankkeen aikana kehitetyillä toimintamalleilla ja luoduilla yhteistyöverkostoilla nopeutetaan ja skaalataan täyssähköisiin ratkaisuihin siirtymistä, kun kilpailukyky muihin ratkaisuihin nähden kehitty riittävälle tasolle.
- Metsäsektorin kuljetusten osittainenkin sähköistäminen tuo merkittäviä päästövähennysvaikutuksia. Tämä korostuu autokuljetuksissa, joita ei voi esim. infrastruktuuriverkon rajoitusten tai keskikuljetusmatkan takia korvata juna- tai vesikuljetuksilla.
- Sähköistettyjen kuljetusten vähämeluisuudella on suuri merkitys varsinkin niillä tuotantolaitoksille ja terminaaleihin vievillä tieyhteyksillä, jotka sijaitsevat lähellä vakituista tai vapaa-ajan asutusta.
- Hankkeessa korostuu raskaan liikenteen sähköistämisen mahdollisuudet suuremmissa yhdistelmien kokoluokissa, jolloin varmistetaan kuljetusten hyvä energiatehokkuus kuljetettua tonnia tai kuutiota kohden.

MESI-hankkeen lopputuloksena syntyy:

- kuvaukset metsäteollisuuden autokuljetusten sähköistymisen käytännön mahdollisuuksista, edellytyksistä ja haasteista lyhyellä ja pitkällä aikajänteellä
- tietopohja metsäyhtiöiden päätöksenteon tueksi

- esim. kustannustiedot ja -vertailut, investoinnit, kumppanuudet, rahoitusmallit, toimintalueet, joista lähteä ensin liikkeelle
- vertailulaskelmat valtakunnallinen tasolla sekä yrityskohtaisissa case-tarkasteluissa
- tiekartta, johon tunnistettu metsäyhtiöille keskeisiä toimenpiteitä ja toimintamalleja, joilla voidaan edistää sähköistymisen seuraavia askeleita (ml. kokeilut)
- metsäyhtiöiden ja sähköistämiseen liittyvien potentiaalisten yhteistyökumppaneiden verkostoituminen hankkeen aikana.

MESI-hanke on Metsäteho Oy:n toteuttama ja osarahoittama. Lisäksi hanke saa liikenne- ja viestintäviraston Traficom:n myöntämää sähköisen raskaan liikenteen avustusta¹. Hanke toteutetaan aikajaksolla 1.10.2023–31.8.2025. Hankkeen ohjausryhmään kuuluvat Koskisen Oy:n, Metsä Groupin, Metsähallitus Metsätalous Oy:n, Stora Enso Oyj:n ja UPM-Kymmene Oyj:n edustajat.

1.2 Väliraportin toteutus

Käsillä oleva väliraportti kuvaa hankkeen alkuvaiheen kirjallisuusselvityksen tuloksia. Sen laatimisessa on hyödynnetty julkisesti saatavilla olevia sähköisiin kuorma-autoihin ja raskaan liikenteen latausinfraan liittyviä tutkimustuloksia ja poliittisia tavoitteita sekä kuorma-autovalmistajien ja latausinfraan tarjoajien aineistoja ko. ratkaisuiden nykytilasta ja kehitysnäkymistä. Hankkeen seuraava väliraportti julkaistaan vuodenvaihteessa 2024–2025. Hanke rajoittuu sähkökuorma-autojen hyödyntämiseen Suomessa, joten kirjallisuusselvityskin on painottunut Suomea koskevaan aineistoon.

Suomessa raskaan liikenteen sähköistymisen tutkimusta tekeviä yliopistoja on tunnistettu tätä selvitystä varten, ja ko. yliopistojen tutkimuksiin on viitattu tässä raportista. Osa yliopistotutkimuksesta koskee yksityiskohtaista ajoneuvo- ja akkutekniikkaa, joka on rajattu tämän selvityksen ulkopuolelle. Uutta tutkimusta tullaan kartoittamaan MESI-hankkeen jatkovaiheissakin. Myös Ruotsissa on hiljattain valmistunut ja käynnissä erityisesti puu- ja hakekuljetusten sähköistymiseen liittyviä tutkimushankkeita (esimerkiksi Uhdrin ym. 2023, Pernestål ym. 2023, EIRutt-hanke² ja TREE-hanke³). Ko. hankkeiden keskeisiä tuloksia tullaan vertaamaan MESI-hankkeen omiin tuloksiin.

Väliraportissa ei käsitellä sähköisten kuljetusten tarkempia vaikutuksia päästöihin, energiankulutukseen tai kustannuksiin, vaan niihin paneudutaan vuoden 2024 tarkasteluiden aikana.

1.3 Liikenteen päästöjen vähentämistä ja sähköistymistä koskevat tavoitteet

Liikenteen päästöjen vähentämiselle ja uusien käyttövoimien käyttöönotolle on asetettu useita tavoitteita EU:ssa ja Suomessa. Euroopan vihreän kehityksen ohjelman (Green deal) (Euroopan komissio 2019) tavoitteena on vähentää liikenteen päästöjä 90 prosenttia vuoteen 2050 mennessä. Kestävän ja älykkään liikkumisen strategiassa ja sen toimenpidesuunnitelmassa (European Commission 2020) tavoitteena on:

- Vuoteen 2030 mennessä vähintään 80 000 nollapäästöistä kuorma-autoa Euroopan tieliikenteessä (nollapäästöisiksi lasketaan sähkö- ja vetäjäajoneuvot)
- Vuoteen 2050 mennessä lähes kaikki henkilö-, paketti- ja linja-autot sekä raskaan kaluston ajoneuvot ovat nollapäästöisiä.

EU:n Suomelle asettamassa uudessa tavoitteessa liikenteen päästöjä tulisi vähentää vuoteen 2030 mennessä 50 % (vuoteen 2005 verrattuna). Suomen ilmastolaissa on määriteltä, että liikenteen ilmastopäästöjen tulee vähentyä vuoteen 2030 mennessä vähintään 60 %, vuoteen 2040 mennessä vähintään 80 % ja vuoteen 2050 mennessä vähintään 90 % (vertailuvuoteen 1990 nähden).

¹ Lisätietoja <https://traficom.fi/fi/sahkoinenliikenne>

² EIRutt <https://triplef.lindholmen.se/projekt/elrutt-analysverktyg-elektrifiering-av-skogstransporter>

³ TREE (Transition to efficient, electrified forestry transport) <https://www.skogforsk.se/kunskap/projekt/accelerera-elektrifieringen-av-skogs-brukets-transporter/tree-transition-to-efficient-electrified-forestry-transport/>

Pääministeri Petteri Orpon hallitusohjelmassa (Valtioneuvosto 2023) keskeisiä toimenpiteitä uusien käyttövoimien ja sähköistymisen edistämiseksi ovat:

- Toimenpideohjelma vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkon laajentamiselle pääväylille
- Puhtaan energian Suomi -toimenpiteet
 - Hallituksen sitoutuminen vastaamaan päästövähennystavoitteisiin ja etenemään hiilineutraaliustavoitteeseen ja sen jälkeen hiilinegatiivisuuteen (mm. uuden energia- ja ilmastostrategian valmistelu)
 - Puhtaan sähkön tuotannon kaksinkertaistaminen kotimaassa.
 - Julkisten latauspisteiden liikennesähkön liittäminen jakeluvelvoitteeseen (jakeluvelvoitelain muutosesitys on hyväksytty, eduskunnan vastauksen toimittaminen on kesken)
 - Kaasutankkaus- ja sähköautolatausverkoston kehittämisen jatkaminen, käyttövoimamuutoksen sekä fossiilisia polttoaineita käyttävien autojen konvertoinnin helpottaminen raskaassa liikenteessä.

Viimeaikaista ja valmistelussa olevaa EU-tason sääntelyä edellä mainittujen päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi on koottu taulukkoon 1. Sääntelystä seuraa velvoitteita mm. autonvalmistajille, eri käyttövoimien jakelijoille ja kansallisen jakeluinfrastruktuurin toteuttamiselle. Näin ne vaikuttavat eri käyttövoimien tarjontaan ja keskinäisiin kustannuseroihin. Liikenteen sääntelyä on parhaillaan paljon työn alla, joten MESI-hankkeessa seurataan sääntelyn etenemistä ja sen arvioituja vaikutuksia.

Taulukko 1. Kuljetusten päästöjä ja käyttövoimia koskeva viimeaikainen ja valmisteilla oleva EU-sääntely.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus hiilidioksidipäästönormien asettamisesta uusille raskaille hyötyajoneuvoille (CO₂-raja-arvoasetus) (muutosneuvottelut käynnissä EU:ssa, mahdollisesti voimaan keväällä 2024) - Komission ehdotus (European Commission 2023b) asetuksen päivittämisestä annettiin 14.2.2023. - Vuonna 2030 uusien raskaiden ajoneuvojen päästöjen tulisi olla keskimäärin 45 % pienemmät kuin vuonna 2019. Vuoteen 2035 mennessä päästöjä tulisi vähentää 65 % ja vuoteen 2040 mennessä 90 %. Uusien perävaunujen ja puoliperävaunujen energiatehokkuuden tulisi parantua 7,5 % vuoteen 2030 mennessä. - Asetuksen soveltaminen Suomessa on vielä auki, koska se koskisi vain EU-mittojen mukaisia kuorma-autoja ja perävaunuja. Suomi on esittänyt myös suurimpien massojen ajoneuvojen jättämistä asetuksen ulkopuolelle, koska VECTO-laskentamalli ei ota huomioon niiden pienempiä hyötykuormakohtaisia päästöjä.
Raskaiden ajoneuvojen EURO-päästöluokat (tyyppihyväksyntädirektiivi) (muutoksen valmistelu käynnissä EU:ssa) - Euro 7 -päästöstandardista annettiin Euroopan komission ehdotus 10.11.2022. Standardin on tarkoitus astua raskaan liikenteen osalta voimaan heinäkuussa 2027. - Hyväksyttiin parlamentissa 11/2023, neuvottelut jäsenmaiden kanssa alkavat. Euro 7 -ehdotus sisältää pakokaasupäästöjen lisäksi mm. toimenpiteitä akkujen kestävyysparantamiseksi.
Päästökauppadirektiivi: Uusi polttoaineen jakelua koskeva päästökauppajärjestelmä (toimeenpanon määräaika 30.6.2024) - Tieliikenteen fossiilisten polttoaineiden päästökauppa (ml. eräät työkoneet) tavoitteena käynnistyä vuonna 2027. - Jakelijoiden päästöoikeuksien EU-tasoinen huutokauppa. Päästöoikeuksille on yhteinen katto, jota pienennetään vuosittain päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi. - Suomen päästökauppalainsäädäntö valmisteilla, hallituksen esitys tavoitteena antaa eduskunnalle keväällä 2024. - TEM:n arviomuistio mm. kansallisista toteuttamisvaihtoehdoista lausunnoilla 7.1.2024 asti.
Uusiutuvan energian direktiivi (RED III) (voimaan 20.11.2023, säädökset voimaan jäsenvaltioissa 21.5.2025 mennessä) - Direktiivin tavoitteena on joko 29 %:n uusiutuvan energian osuus liikennesektorilla tai liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentyminen 14,5 %:lla vuonna 2030. - Liikennesähkö tulee liittää osaksi velvoitetta julkisen latauksen osalta. Suomessa liikennesähkö sisältyy valmisteilla olevaan jakeluvelvoitelain muutokseen. - Suomessa hallituksen esitykset RED III -direktiivistä seuraavista kestävyyslain ja jakeluvelvoitelain muutoksista on tarkoitus antaa eduskunnalle syksyllä 2024.
Vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluinfrastruktuurin käyttöönotosta annettu asetus (AFIR-asetus) (Hyväksytty EU:ssa 8/2023, sovellettavaksi todennäköisesti kevästä 2024 lähtien) - Jäsenvaltiokohtaisesti vähimmäisvaatimukset jakeluinfraalle vuosina 2025 ja 2030 - Suomen osalta tarkemmin raportin osiossa 2.2.1 - Suomessa LVM on käynnistänyt lainsäädäntömuutosten valmistelun. - Hankeikkuna https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=LVM034:00/2023
Mitta- ja massadirektiivin uudistus (neuvottelut jatkuvat vuoden 2024 syksyyn asti) Nollapäästöisille ajoneuvoille sallittaisiin korkeampi kokonaispaino suuremmasta omapainosta johtuen

2 RASKAAN SÄHKÖISEN LIIKENTEEVAATIMUKSET JA EDELLYTYKSET METSÄSEKTORIN KULJETUKSISSA SUOMESSA

Metsäsektorin autokuljetusten sähköistämisen mahdollisuuksiin Suomessa vaikuttavat mm. eri tavaralajien kuljetusten ominaisuudet ja olosuhteet, sähkökuorma-autojen ja latausinfraan tarjonnan nykytila ja kehitysnäkymät sekä MESI-hankkeen myöhemmissä vaiheissa tarkasteltavat kustannusvaikutukset. Sähkökuorma-autojen, niiden akkujen ja latausinfraan osalta on jo kirjallisuudessa ja muissa maissa tunnistettu tarpeita kehittää uudenlaisia liiketoiminta- ja yhteistyömalleja. Uusien mallien avulla voidaan mahdollistaa alkuvaiheen investointeja, kun sähkökuorma-autoihin siirtyminen ei ole vielä kokonaiskustannusten kannalta edullista. Toisaalta uudenlaisia malleja tarvitaan, jotta latausinfraan kattavuus saadaan ensimmäisilläkin toiminta-alueilla riittäväksi ja toimintavarmaksi.

2.1 Metsäsektorin autokuljetukset Suomessa

Metsäsektorin autokuljetukset Suomessa koostuvat raakapuun ja muiden raaka-aineiden kuljetuksista, sivutuotehakkeen ja purun kuljetuksista sahojen sekä paperi- ja sellutehtaiden välillä sekä lopputuotteiden kuljetuksista kotimaan markkinoille tai vientiin (taulukko 2, metsäteollisuuden muiden raaka-aineiden kuljetuksia ei erotella ko. tilastossa). Energiapuun hyödynnetään pääosin energiasektorin lämpö- ja voimalaitoksissa.

Metsäteho Oy:n tilaston (Strandström 2023) mukaan vuonna 2022 autolla kuljetetusta kotimaisesta puusta 36,5 milj. m³ kuljetettiin suoraan tuotantolaitoksille, 12,2 milj. m³ kuljetettiin rautatieasemalle ja 1,9 milj. m³ alukseen tai uittoon. Suorien autokuljetusten keskipitkät matkat olivat keskimäärin 104 km, junalle kuljetetun puun alkukuljetusmatka 49 km ja vesiteitse kuljetetun puun alkukuljetusmatka 58 km.

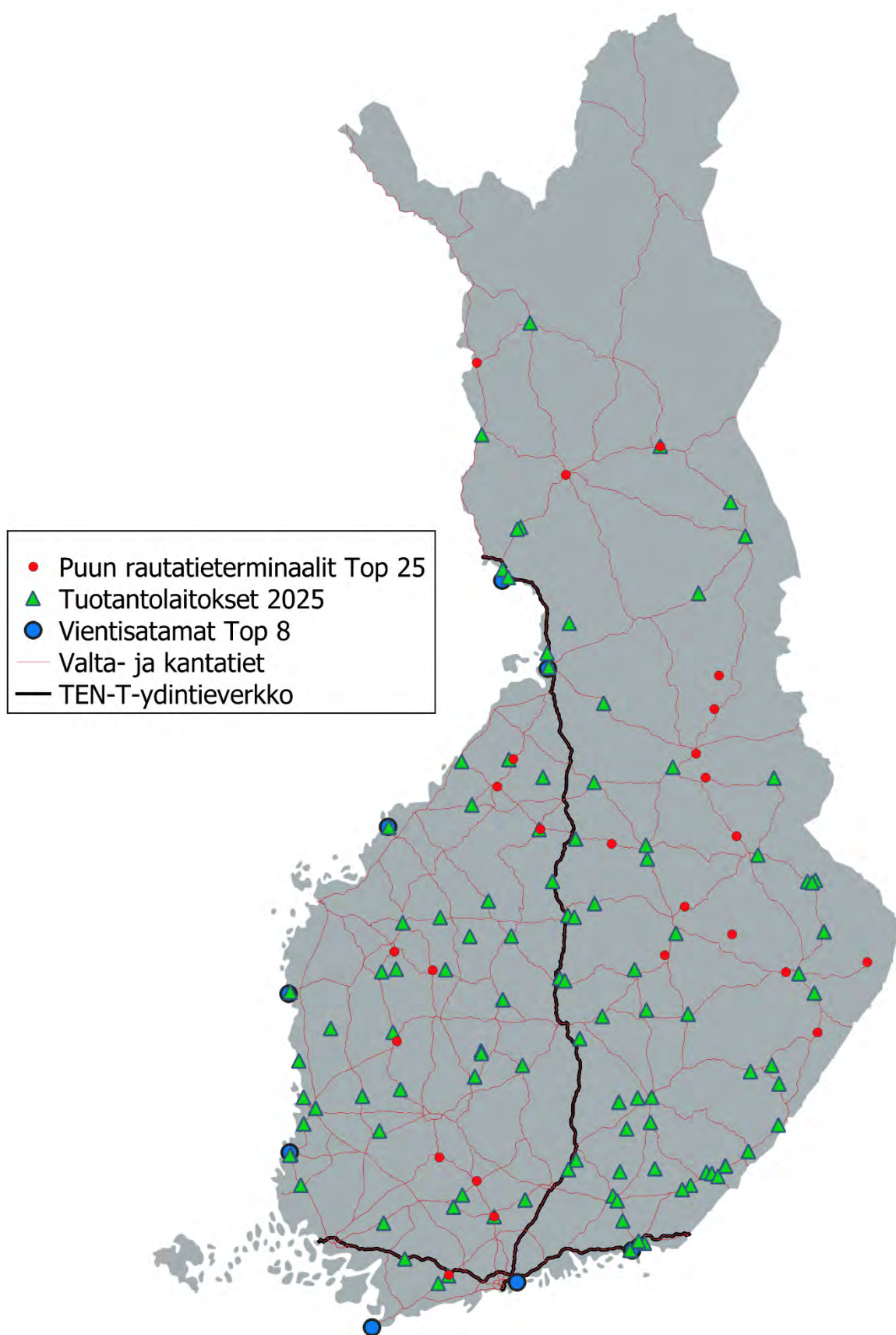
Taulukon 2 tilasto näyttää, että metsäteollisuuden autokuljetusten kuormausasteet (kuorman paino suhteessa kuorma-auton kantavuuteen) ovat korkeita. Puutavarakuljetuksissa käytetään lähes täysin 76-tonnisiä ajoneuvoyhdistelmiä (Venäläinen ja Poikela 2022). Hakekuljetuksissa käytetään enemmän myös 68-tonnisiä yhdistelmiä.

Taulukko 2. Metsäteollisuuden ja energiapuun kotimaan autokuljetukset 2022 (Tilastokeskus 2023).

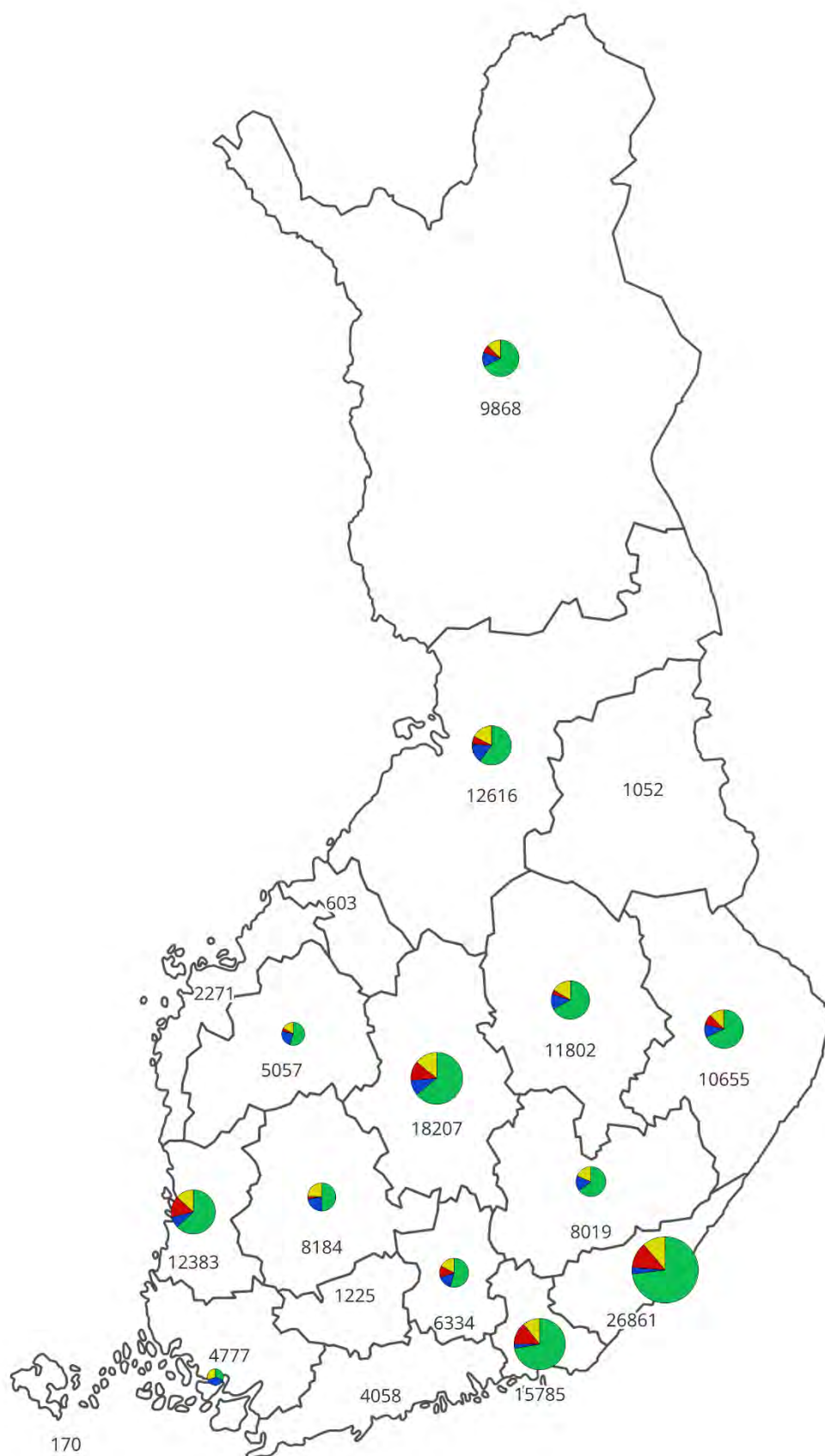
	Tavaramäärä, 1000 t	Kuljetussuorite, milj. tkm	Liikennesuorite, 1000 km	Keskimääräinen kuljetusmatka, km	Kuormausaste (%)
Tukki- ja kuitupuu	32 388	3 512	87 417	126	91
Energiapuun, polttopuun, kannot, risut, metsähake yms.	4 319	323	14 350	79	69
Puru, hake	9 158	1 259	28 800	104	77
Mekaanisen metsäteollisuuden tuotteet, sahattu puutavara, paneelit, levytuotteet, taloelementit puusta yms.	6 941	1 926	77 813	258	71
Paperimassa, selluloosa	1 892	380	11 373	170	77
Paperi, kartonki, painotuotteet, muut tuotteet paperista ja kartongista	6 599	818	40 598	103	73
Yhteensä / Painotettu keskiarvo	61 297	8 218	260 351	159	79
Osuus kaikista autokuljetuksista %	25 %	28 %	14 %		

Keskipitkät matkat ja kuljetusten keskipitkät vaikuttavat sähkökuorma-autoille ja latausinfraan asetettaviin vaatimuksiin. Metsäsektorin kuljetukset toimivat suurelta osin 24/7-periaatteella, jolloin halvempia, mutta hitaampia yön yli -latauksia ei voida hyödyntää (jollei tarjolla ole valmiiksi ladatun akun vaihtomahdollisuutta). Metsäsektorin kuljetuksissa on eroja kuljetusreittien säännöllisyydessä. Tasaisimpia kuljetusvirtoja ovat tuotantolaitosten ja keskeisten vientisatamien väliset kuljetukset. Eniten vaihtelua on suoraan metsistä lähtevissä puukuljetuksissa, joiden toimituskohteetkin voivat vaihdella (tuotantolaitosten lisäksi kuljetuksia voi olla keli- ja vesikuljetustermiinaaleihin). Metsästä lähteviin kuljetuksiin voi tulla todennäköisemmin viime hetken muutoksia mm. keliolosuhteista johtuen.

Kuvien 1 ja 2 karttoihin on koottu tietoja puunkäytöstä alueittain sekä metsäteollisuuden puuta käyttävien tuotantolaitosten sekä keskeisten vientisatamien ja rautateiden raakapuuterminalien sijainneista. Muun muassa metsähaketta ja metsäteollisuuden sivutuotteita hyödyntävien bioenergian tuottajien sijainnit ja käyttövolyymit löytyvät Bioenergia-lehden (2023) internetsivulta. Näiden tietojen pohjalta on mahdollisuus tunnistaa alueita, jotka voisivat olla potentiaalisia metsäteollisuuden kuljetuksia palvelevan latausinfraan sijoittamiskoiksi. Karttaan tullaan jatkossa lisäämään myös julkisen latausinfraan kehitysnäkymät AFIR-direktiivin ja päivitetyn TEN-T-asetuksen kansallisen toimeenpanon sekä kaupallisten investointihankkeiden mukaan. Liikenne- ja viestintäministeriön raportissa (Ilomäki ym. 2023) tunnistettiin kaikkien toimialojen kannalta potentiaalisia kuorma-autoliikenteen latausinfraan sijainteja TEN-T-tieverkolla (ydinverkko ja kattava verkko).



Kuva 1. Metsäsektorin puuta käyttävät tuotantolaitokset (2025) sekä keskeiset metsäsektorin vientisatamat ja puun rautatieterminaalit (terminaalien tavoiteverkko 2030 lähteestä Lapp ja Mäkinen 2023) (Kartta Riku Tarvainen).



Kuva 2. Puunkäyttö maakunnittain metsäteollisuudessa ja energiantuotannossa 2022 (sisältää kotimaisen ja tuontipuun sekä kaikilla kuljetusmuodoilla kuljetetun puun, Luonnonvarakeskus 2023). Puunkäyttö julkaistaan maakunnittain vain, jos käyttökohteita on määritetty minimimäärä. Kartan lukujen lisäksi Suomessa käytettiin raakapuuta 10 milj. m³ ja sivutuotepuuta 4 milj. m³. (Kartta Riku Tarvainen)

2.2 Liikennesähkön jakeluinfran nykytila, kehitysnäkymät ja investointitarpeet

2.2.1 Julkisen jakeluinfran nykytila ja kehitysnäkymät Suomessa

Suomen ensimmäinen raskaan liikenteen julkinen latausasema avattiin Tampereella marraskuussa 2023. Joissakin muissakin latauspaikoissa latausteho olisi riittävä raskaalle liikenteelle, mutta latauspisteiden sijoittelu ja mitoitus eivät ole sille sopivat. (Plugit Finland Oy 2023d)

Vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluinfrastruktuurin käyttöönotosta annettu AFIR-asetus (jakeluinfra-asetus) hyväksyttiin EU:ssa heinäkuussa 2023. Asetus asettaa vaatimuksia jakeluinfran kattavuudelle. Tiukimmat vaatimukset koskevat TEN-T-ydinverkkoa. Vähäliikenteisillä alueilla vaatimukset ovat lievemmät. Asetus ottaa myös kantaa jakeluinfran toteutustapaan, standardeihin sekä jakeluinfratietojen tuottamiseen. Jakeluinfratiedot toimitetaan kansalliseen yhteyspisteeseen, joka on Suomessa Fintraffic. Hallituksen esitys kansallisesta lainsäädännöstä tehdään arviolta keväällä 2024.

Suomen viimeisimmässä ohjelmassa tieliikenteen uusien polttoaineiden jakeluinfran kehittämiseksi (Jääskeläinen ym. (toim.) 2023) otettiin huomioon AFIR-asetusehdotus Suomen osalta. Ohjelman tavoitteena on vähintään 8 julkista raskaan liikenteen latauspoolia TEN-T-ydinverkolla vuoteen 2025 ja noin 60 vuoteen 2030 mennessä. Liikenne- ja viestintäministeriössä on käynnissä vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluinfraohjelman valmistelu⁴. Valmistelussa otetaan huomioon myös pääministeri Orpon hallitusohjelmaan kirjattu tavoite vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkon laajentamisesta. Ohjelma viimeistellään kesällä 2024 järjestettävän lausuntokierroksen jälkeen.

Euroopan tasolla esimerkiksi Euroopan autovalmistajien liiton tavoitteena on 10 000–15 000 julkista ja kuljetuskohteiden sähkökuorma-autojen latauspistettä vuoteen 2025 mennessä ja 40 000–50 000 latauspistettä vuoteen 2030 mennessä (European Automobile Manufacturers Association 2021). Lisäksi tavoitteena on 40 000 kappaletta 100 kilowatin julkista yölliseen lataukseen tarkoitettua latauspistettä moottoreiden varrella oleville kuorma-autojen parkkipaikoille vuoteen 2030 mennessä. Ruotsiin puolestaan on tulossa 139 sähkökuorma-autojen latauskeskittymää. Kuorma-autoliikenteen latausinfra kehittyminen Euroopassa lisää latausinfraan liittyvää tarjontaa sekä autovalmistajien kiinnostusta tarjota markkinoille sähkökuorma-autoja. Toisaalta latausinfra kehittämisellä samaan aikaan useassa paikassa voi olla negatiivisia vaikutuksia infran hinnoitteluun ja toimitusaikoihin.

2.2.2 Raskaan liikenteen latausinfra ratkaisuita tarjoavat yritykset Suomessa

Raskaan liikenteen latausinfra ratkaisuiden toimittajia ja näiden nykyistä sekä suunniteltua tarjontaa on kuvattu taulukossa 3. Taulukkoon on koottu sekä latauslaitteita, latausinfraa että laajempia palvelukokonaisuuksia tarjoavia yrityksiä. Yritykset ovat monin osin verkottuneet keskenään, jolloin ne voivat tarjota asiakkaan kannalta laajempia kokonaisuuksia. Taulukon alussa on kuvattu toimijoita, joilla on julkistettua toimintaa Suomessa. Lisäksi on esitetty joitakin esimerkkejä ulkomaisilta toimijoilta, jotka voivat olla kiinnostavia myös Suomen markkinoiden kannalta. Mainittujen yritysten lisäksi Suomessa toimii yrityksiä, jotka tarjoavat tällä hetkellä latauspalveluita vain henkilöautoille.

⁴ Jakeluinfraohjelman hankeikkuna <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=LVM061:00/2023->

Taulukko 3. Raskaan liikenteen latausinfraan ja -palveluihin liittyviä toimijoita sekä niiden infrastruktuurin ja palveluiden nykytila ja kehityssuunnitelmat.

Yritys	Nykytila ja julkaistuja suunnitelmia/tavoitteita
SUOMI	
Destia	Destia on Suomen johtavia ammattiliikenteen latausinfrastruktuurin tarjoajia. Palvelutarjontaan kuuluvat latausinfrastruktuurin konsultointi- ja suunnittelupalvelut, infrastruktuurin toimitus kokonais- tai osaratkaisuna sekä infran huolto- ja ylläpitopalvelut. Latausinfrastruktuurin voi hankkia kertainvestointina tai leasing- tai palvelumallilla. (Destia Oy 2023b) Destia testaa sähköautojen langatonta latausratkaisua yhdessä Electreonin kanssa. (Destia Oy 2023a)
Kempower	Mm. raskaiden ajoneuvojen, työkoneiden ja merenkulun latausinfra-laitteiden valmistaja Suomessa. Tarjontaan kuuluvat mm.: - Latausasema, joka voi koostua esimerkiksi 600 kW:n Kempower Power Unit -tehoyksiköistä ja Kempower Satellite -lataussatelliitteista. Yksittäisen satelliitin latausteho on 25–400 kW. - Yli 1 MW:n tehollatausaseman toimitukset kuorma-autoliikenteeseen käynnistyvät vuoden 2024 alkuneljänneksellä (Kempower Oyj 2023). - Kempower ChargeEye Depot Master -lataushallintajärjestelmä - Toimittaja mm. Milencen raskaan liikenteen latausverkolle Euroopassa (ks. Milence) ja Destialle (ks. Destia)
Neste	Neste Lataus -palvelu toteutetaan yrityskohtaisesti räätälöitynä julkisen tai rajoitetun käytön latausasemana. Palvelu sisältää latausaseman suunnittelun, toteutuksen, huollon, laskutuksen, latausten reaaliaikaisen seurantapalvelun ja päästöraportoinnin. Infrassa hyödynnetään yleensä asiakkaan kiinteistön sähköliittymää. Latauksessa käytetään Nesteen mobiilisovellusta tai RFID-tageja. (Neste Oyj 2023) Nesteen yhteistyökumppanina toimii mm. latausjärjestelmien toimittaja Plugit Finland (ks. Plugit Finland). Esim. DB Schenkerin Lempäälän terminaalin tehollatausinfra on Nesteen toimittama.
Plugit Finland	Mm. raskaan liikenteen sähkölatausinfra toimittaja ja laitevalmistaja. Latausinfra voidaan toteuttaa kokonaisratkaisuna sisältäen mm. suunnittelun, toteutuksen, ylläpidon ja huollon. Yrityskohtaisia latausasemia toteutettu mm. Storemenille ja Ahola Transportille. (Plugit Finland 2023a) Yrityskohtainen latausinfra voidaan tilata myös Lataus palveluna (Charging as a Service, CaaS) -mallilla, joka on kuukausimaksullinen tai latauslaitteiden käyttöasteeseen perustuva laskutusmalli. CaaS-mallia käyttää Suomessa esimerkiksi Ahola Transport. (Plugit Finland Oy 2023b) Plugit avasi Suomen ensimmäisen raskaan liikenteen julkisen latausaseman Tampereelle marraskuussa 2023. Seuraavat asemat avataan pääkaupunkiseudulla ja Turun seudulla. Yrityksen tavoitteena on avata lähes 30 julkista latauspistettä eri puolille Suomea. Tampereen latausasema (Plugit Finland 2023c): - Plugit PRO DC -teholatausasema - HUBE-suurteholatauslaite, latausteho maksimissaan 360 kW - Samaan aikaan maksimissaan kahden auton lataus (latausteho puolittuu) 470 kWh:n akusto ja aurinkopaneelit. Akusto tasaa sähköverkon kulutuspiikkejä. - Aluksi vapaasti käytettävissä Plugitin sovelluksella, jatkossa vain sopimusasiakkaille - Tulevaisuudessa ajanvarausjärjestelmän testaus
Scania	Scania on osa Tratonia, joka on mukana Milence-yhteisyrityksessä. Milence suunnittelee Eurooppaan laajaa raskaan liikenteen latausverkostoa (ks. Milence). Scania on tarjonnut lokakuusta 2023 lähtien Suomessa ja useissa Euroopan maissa Scania Charging Access -lataussovellusta. Palvelun avulla voi mm. selvittää lähimpien latauspaikkojen sijainnin sekä maksaa latauksesta suoraan

	sovelluksessa. Kuljetusyritykset voivat käyttää Scania Charging Accessia myös muun merkkisissä kuorma-autoissa kuin Scanioissa. (Scania 2023d)
Virta Ltd (Liikennevirta Oy)	Virta tarjoaa kokonaisratkaisun raskaan kaluston sähköajoneuvojen lataukseen (eri laitevalmistajien laitteet, Virta Platform -järjestelmä ajoneuvojen lataamisen hallinnointiin, energiankäytön optimointi latausasemalla sähköntuotannon tilanteen mukaan). (Liikennevirta Oy 2023)
Volvo	<i>Katso Milence</i>
ESIMERKKEJÄ MUISTA MAISTA	
ABB E-mobility	Toteuttaa julkisia latausasemia sekä logistiikkayritysten varikoiden ja tuotantolaitosten latausasemia (ABB 2023a ja 2023b). Yhteistyötä mm. Scanian kanssa kuorma-autojen megawattilatauksen ja uuden latausstandardin pilotoinnissa. Uusi MCS-teknologia on tarkoitettu esitellä vuosien 2024–2025 vaihteessa. (Metsätrans 2023a)
Milence	Vuonna 2022 perustettu Traton Groupin, Volvo Groupin ja Daimler Truckin yhteisyritys. Scania ja MAN ovat osa Traton Groupia ja Mercedes-Benz osa Daimler Truckia. Yrityksen tavoitteena on rakentaa Euroopan suurin raskaiden hyötyajoneuvojen julkinen latausverkosto (vähintään 1 700 suuriteholatauspistettä, joiden teho 300–1 000 kW, vuoteen 2027 mennessä). (Milence 2023). Yhtenä laitetoimittajana on Kempower, joka toimittaa 400 kW:n Satellite CCS -latausjärjestelmiä (ks. Kempower).

2.2.3 Latausinfraa koskevia vaatimuksia ja toteutusmalleja

Latausinfraan ja lataamiseen liittyvät seuraavat kokonaisuudet:

- latausinfraan sijoittaminen ja suunnittelu (ottaen huomioon myös kuljettajien taukopaikat ja mahdolliset tarpeet oheispalveluille)
- latausasema (tekninen toteutus ja mitoitus, huolto ja ylläpito, toiminnan hallinnointi)
- sähköntuotanto ja -varastointi (sähköverkko ja/tai oma tuotanto esim. aurinkopaneeleilla tai tuulimyllyillä, akkuvarastot)
 - sähkön saatavuutta ja varastointia poikkeustilanteiden varalta on tarkasteltu Huoltovarmuuskeskukselle laaditussa raportissa (Sipilä ym. 2021)
- sovellukset
 - latauksen suunnittelu (kuljetus- ja lataussuunnittelun integrointi)
 - latausten optimointi (esim. sähkönhinnan mukaan)
 - latauksen varaaminen ja maksaminen
 - käyttäjähallinta (varsinkin yhteiskäyttöisillä latausasemilla)
- mahdolliset akunvaihtopalvelut.

Latausinfraan liittyviä toimijatyypppejä ja niiden keskinäisiä yhteyksiä on listattu seuraavaan taulukkoon.

Taulukko 4. Ekosysteemit toimijoita latausinfraan tarjoajan mukaan (toimijatyyppit lähteestä Uhrdin ym. 2023). Eri toimijoiden rooleista voidaan sopia myös muutoin kuin taulukossa esitetysti.

Toimija	Julkinen latausinfra	Yrityskohtainen latausinfra
Kiinteistön omistaja	Latauspaikkaoperaattori tai muu toimija (esim. kunta)	Ko. yritys itse (jollei vuokralla)
Latauspaikkaoperaattori (latauksen laskuttaja)	Kiinteistön omistaja tai kiinteistöllä toimiva yritys valitsee latauspaikkaoperaattorin	Ko. yritys valitsee latauspaikkaoperaattorin (tarvittaessa kiinteistön omistajan luvalla) tai toimii itse operaattorina
- Latausinfra-toimittaja	Latauspaikkaoperaattori valitsee latausinfra-toimittajan (tai toimittaja toimii myös operaattorina)	Latauspaikkaoperaattori valitsee latausinfra-toimittajan (tai toimittaja toimii myös operaattorina)
- Sähköverkko-operaattori	Latauspaikkaoperaattori valitsee sähköverkko-operaattorin	Kiinteistön omistaja valitsee sähköverkko-operaattorin
- Sähköntoimittaja	Latauspaikkaoperaattori valitsee sähköntoimittajan	Ko. yritys valitsee sähköntoimittajan Mahdollisuus myös yrityksen omaan sähköntuotantoon (esim. aurinkopaneelit, tuulivoima ja sähkövarastointi)
Autonvalmistaja	Mahdollisesti oma laskutussovellus kuljetusyritykselle	

2.2.3.1 Latausinfraan liittyvät tekniset ja hallinnolliset vaatimukset

Sähkökuorma-autojen latausasemaan liittyvät vaatimukset riippuvat mm.:

- latausvolyymista vuorokaudessa (ajoneuvojen lukumäärä, samanaikaisesti ladattavien ajoneuvojen lukumäärä)
- volyymin kehitysarvioista (latausinfraan skaalattavuus)
- latausinfraan sijoittamispaikasta (esim. tuotantolaitos, terminaali tai jo toimiva liikenneasema)
- vaaditusta lataustehosta ja siten latausnopeudesta (varikko- ja tehdasasemilla tähän vaikuttavat puolestaan ajoneuvojen käyttöaika vuorokaudessa, kuljetusten keskimatka ja ladattavien kuorma-autojen paino ja siten akkutyypin)
- sijoittumisesta kuljetusvirtojen (alueellisten kuljetusten solmupiste, kuljettajien lepoajat) ja muun maankäytön kannalta
- sijoittumisesta sähköverkkojen kannalta
- AFIR-asetuksen vaatimuksista latausinfraan sijoittamiselle, toteutustavalle ja jakeluinfra-tietojen ylläpidolle.

Kuorma-autojen latausinfraan toteutustapoja on koottu taulukkoon 5. Taulukossa 6 on esitetty luokitus latausinfraalle. Latausinfraan vaatimuksia ja suunnittelussa huomioon otettavia seikkoja on kuvattu yksityiskohtaisemmin liikenne- ja viestintäministeriön raportissa (Ilomäki ym. 2023). MESI-hankkeen tulevissa vaiheissa tullaan tarkastelemaan varsinkin tuotantolaitosten yhteyteen sijoitettavan latausinfraan vaatimuksia.

Taulukko 5. Raskaan kuorma-autoliikenteen latausinfraan toteutustapoja.

Latausaseman käyttö	• Julkinen • Puolijulkinen (esim. tietyn toimijan asiakkaiden tai alihankkijoiden käytössä) • Rajoitettu
Latausinfraan sijoittuminen kuljetusketjussa	• Kuljetuksen lähtöpaikka (esim. kuljetusyrityksen tai -asiakkaan rajoitetun käytön latausasema) • Kuljetusreitille sijoittuva (yleensä julkinen latausasema) • Kuljetuksen kohdepaikka (esim. kuljetusyrityksen tai -asiakkaan rajoitetun käytön latausasema) • Junakuljetustermiinaali tai satama (julkinen tai rajoitetun käytön latausasema)
Latausteho	<i>Ks. tarkemmin seuraava taulukko</i>
Lataustapa	• Kaapelilataus (plug-based), suosituin yksinkertaisuuden ja edullisuuden takia • Dynaaminen (esim. sähkötieli eli electric road system, ERS) (Suvanto ym. 2022) • Langasta lataaminen (virroitin- eli pantografilataus; varsinkin sähkölinja-autoilla yleinen) • Kiskosta lataaminen • Langaton lataaminen maahan sijoitettujen käämien ja ajoneuvojen vastaanottimien välillä • Staattinen (esim. parkkipaikalla, Destian (2023a) pilotti Suomessa käynnissä)

Taulukko 6. Raskaan liikenteen latausinfraan luokittelu (Farzam Far ym. 2022)

	Latausjännite	Latausvirta	Latausteho	Akku-kapasiteetti	C-rate
Hidas	400 VDC, 800 VDC	60–400 A	50–150 kW	50–250 kWh	0,2–1 C
Normaali	400 VDC, 800 VDC	200–800 A	150–400 kW	50–250 kWh	0,5–2 C
Nopea	Jopa 1,5 kVDC*	300–1 000 A	200–1 MW**	100–500 kWh	2–5 C
Ultranopea	Jopa 1,5 kVDC*	800–3 000 A	1–4,5 MW**	250 kWh–1 MWh	4–10 C

*Yli 800 VDC:n latausta ei ole vielä standardoitu

**Megawattilataus (Megawatt Charging System, MCS)

Yksittäisen latausaseman lisäksi on tarpeen tarkastella latausinfraa alueellisella tasolla. Vähintään muutama latausasema samalla alueella antaa joustavuutta kuljetusreittien suunnitteluun sekä varmistaa toimintavarmuuden yksittäisen jakeluaseman mahdollisissa toimintahäiriöissä. Latausinfraan kehittämisen alkuvaiheessa voi olla tarpeen myös latauksen varausmahdollisuus. Petteri Orpon hallitusohjelmassa on mainittu vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkon huomioon ottaminen maankäytön suunnittelussa. Myös SKALin tavoitteena on laatia toimenpideohjelma vaihtoehtoisten käyttövoimien jakeluverkon laajentamiseksi.

Tämänhetkisten näkymien mukaan dieselin käyttöä tullaan korvaamaan usealla eri käyttövoimalla (biokaasu eli LBG, HVO-polttoaineet, sähkö, tulevaisuudessa myös vety ja sähköpolttoaineet). Tällöin yksittäisen käyttövoiman jakeluinfra ei välttämättä kehity maanlaajuisesti kovin kattavaksi. Latausinfraan kehittämisessä lähtökohtana voisikin olla metsäsektorin keskeisten toiminta-alueiden kattavuuden tavoittelemine.

2.2.3.2 Akunvaihto ja akku palveluna -malli

Suomessa ei ole vielä tarjolla raskaan liikenteen akunvaihtopalvelua (Battery Swapping, BS) tai akku palveluna (Battery as a Service, BaaS) -toimintamallia. BaaS-mallissa akun omistus erotetaan kuorma-

auton muusta omistuksesta ja akkua tarjotaan erillisenä vuokraus- ja vaihtopalveluna. Akku muodostaa sähkökuorma-auton hinnasta suuren osan, joten BaaS-mallissa sähkökuorma-auton alkuinvestointi kuljetusyritykselle jää pienemmäksi. Mallin avulla voidaan vähentää akun elinikään tai vaurioitumiseen liittyviä riskejä, vaihtaa akun tehoa kuljetusyrityksen tarpeen mukaan sekä helpottaa akkujen kierrätystä. (Vuorinen 2023)

Akunvaihtopalvelussa tyhjentynyt akku vaihdetaan akunvaihtoasemalla muutamassa minuutissa täyteen akkuun, jolloin säästetään akun lataamiseen tarvittava autonkuljettajan työaika. Akunvaihtoasemalla akkujen latauksessa voidaan helpommin hyödyntää edullisempia ja hiljaisempia latausajankohtia (kontrolloitu lataus) ja Battery-to-Battery-teknologiaa eli akkujen välistä latausta kalliina latausajankohtina. Vaihtoaseman akkuja voidaan hyödyntää myös energiavarastona esim. paikallisesti tuotetulle aurinko- tai tuulisähkölle tai sähkökatkojen vararatkaisuna. (Vuorinen 2023).

Vuorisen (2023) opinnäytetyössä selvitettiin akunvaihtopalveluiden tilannetta ja toimintamalleja muissa maissa. Euroopassa toimi aiemmin akunvaihtopalvelua tarjonnut Better Place -yhtiö, mutta sen toiminta päättyi konkurssiin. Raskaan liikenteen akunvaihtopalvelut ovat alkaneet yleistyä varsinkin Kiinassa. Australian ensimmäinen sähköinen puutavarayhdistelmä hyödyntää akunvaihtoa (Bradbook ja Adamo 2023).

Akunvaihtopalveluiden kehittymisen haasteena ovat tarvittavien uudenlaisten liiketoimintamallien ja kansainvälisen yhteentoimivuuden puutteet (mm. erot erimerkkisten autojen akuissa ja standardoinnin puutteet). (Vuorinen 2023, Farzam Far ym. 2022).

2.3 Täyssähkökuorma-autojen nykytila ja kehitysnäkymät

Täyssähköisistä raskaan liikenteen ajoneuvoista yleistyvät Suomessa ensin kaupunkiliikenteen linja-autot. Suomessa on liikennekäytössä vasta 48 sähkökäyttöistä kuorma-autoa (Traficom 2023). Sähkökuorma-autojen tulevia määriä on arvioitu seuraavasti:

- Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen päivitetyn politiikkaskenaarion (WAM1) mukaan Suomessa olisi 573 täyssähkökuorma-autoa vuonna 2025, 2 291 vuonna 2030 ja 5 975 vuonna 2035 (Lauhkonen ja Markkanen 2023).
- Autoala (Lausala ym. 2023) puolestaan ennustaa, että vuonna 2025 olisi 120, vuonna 2030 850, vuonna 2035 4 000 ja vuonna 2040 9 300 sähköistä yli 16-tonnista kuorma-autoa.
- SKALin (2023) käyttövoimaennusteen mukaan 60-tonnisissa yhdistelmissä sähköisten osuus olisi vuonna 2025 vielä 0 % ja osuus nousisi vuonna 2030 vain 0,5 %:iin ja vuonna 2040 10 %:iin. Ennusteessa on arvioitu, että sähköistymisen kehitys Suomessa on muuta Eurooppaa hitaampaa suurempikokoisesta ajoneuvokalustosta johtuen.

Täyssähköautojen arvioidaan yleistyvän puukuljetuksissa ja muissa raskaissa kuljetuksissa 2030-luvulla (Markkanen ja Lauhkonen 2021, Ylä-Pontinen ja Kärhä 2022, Jääskeläinen ym. (toim). 2023).

Sähkökuorma-autoja on kahtaa tyyppiä: akkusähkökuorma-autoja (Battery Electric Truck, BET) ja polttokennosähkökuorma-autoja (Fuel Cell Electric Truck, FCET). MESI-hanke painottuu akkusähköautoihin, mutta tulevaisuudessa polttokennosähköautoilla voi olla potentiaalia nimenomaan raskaimmissa ajoneuvoyhdistelmissä ja pidemmillä kuljetusmatkoilla. Polttokennokuorma-autot ovat kevyempiä ja sallivat siten suuremman hyötykuorman ja pidemmän toimintamatkan. Tällä hetkellä polttokennosähköautot ovat kalliimpia kuin akkusähköautot, mutta teknisen kehityksen myötä hinnat voivat muuttua polttokennojen eduksi. (Pernestål ym. 2023).

MESI-hankkeessa tarkastellaan ensisijaisesti vähintään 64-tonnisten sähkökuorma-autojen tilannetta ja kehitysnäkymiä. Tämän kokoluokan sähkökuorma-autoja on toistaiseksi vain Volvolla ja Scanialla (taulukko 7). Muilla valmistajilla on sähkökuorma-autoja pienemmissä kokoluokissa. Metsäsektorilla ensimmäisiä sähkökuorma-autoja on otettu käyttöön Ruotsissa (ml. kokeilut yli 76-tonnisilla HCT-puutavara- ja hakeyhdistelmillä) ja Australiassa (Pernestål ym. 2023). Kokeilu on käynnistymässä myös Skotlannissa (Stuart 2023).

Metsä Groupin Äänekosken tehtaan sisäisissä kuljetuksissa ja Kokkolan sataman ulkoisessa liikenteessä testataan dieselkäyttöisestä sähköiseksi konvertoitua Sisu-kuorma-autoa. Testaus on osa

EU:n Horisontti-ohjelman Escalate-hanketta (YLE 2023). Hankkeessa on myös simuloitu ja seurattu 40- ja 76-tonnisten täyssähköyhdistelmien sähkönkulutusta pitkillä kuljetusmatkoilla (Pihlatie ym. 2023). Suomen metsäteollisuuden sähkökuorma-autojen kokeiluja tullaan käynnistämään osana ACE-hanketta (Suomen ympäristökeskus 2023).

Taulukko 7. Sähkökuorma-autojen nykytila ja kehitysnäkymät.

Auto- merkki	Nykytilanne ja julkistetut kehitysnäkymät
Scania	• Max 64 t (tekninen kokonaismassa 68 t): EM C3-6 (maksimi 450 kW/610 hv) • Max 64 t: EM C1-4 (maksimi 400 kW/540 hv) • Akkukapasiteetti: 624 kWh (asennettu) / 468 kWh (käytettävissä), 260 km:n toimintamatka 64-tonnisena • Latausteho: CCS2-laturilla 375 kW / 500 A DC • Lataus täyteen alle 85 min 375 kW:n teholla, 64-tonnisella 200 km lisäajomatkaa tunnin latauksen jälkeen (Scania 2023a ja 2023b) 64-tonninen täyssähkökuorma-auto (Scania 45R) toimitetaan Suomessa Wibaxille keväällä 2024 (Konepörssi 2023a). Ruotsissa SCA:n jopa 80-tonnisena ajava puutavarayhdistelmä (ajaa pääosin terminaalien välillä, mutta on testattu myös metsäteillä, sisältyy Skogforskin tutkimukseen) (SCA 2023). Käynnistymässä Ruotsissa Skogforskin tutkimus 98-tonnisella energiahakeyhdistelmällä (Uhrdin ym. 2023) Saksassa perustanut yhteistyöyrityksen JUNA, joka vuokraa sähkökuorma-autoja. Tämä vähentää sähkökuorma-auton korkeaan hankintahintaan sisältyviä investointi-, jäännösarvo- ja teknologiariskejä. Malli on suunnattu varsinkin pk-yrityksille. (Metsätrans 2023b). Scanian tavoitteena on saavuttaa sähköautoissa 50 %:n osuus kuorma-autojen kokonaismyynnistä vuonna 2030. Scanialla on käynnissä Ruotsissa tutkimus ja testit sähkökuorma-autolla, johon on asennettu aurinkokennot (Scania 2023c).
Volvo	Täyssähköautomallit FM, FMX ja FH Electric raskaimpiin kuljetuksiin. FM- ja FH-sähkökuorma-autojen sarjatuotanto käynnistyi syksyllä 2022. Suomessa DB Schenkerille toimitettu 68-tonninen yhdistelmä syksyllä 2023 • FH 6x2T Electric • Akusto 6 kpl, nimelliskapasiteetti 540 kWh, voimansiirto 490 kW, I-shift • Teholataus (250 kW DC CCS2): 2 h, peruslataus (43 kW AC Type2): 10 h (Konepörssi 2023b). Ruotsissa toimittanut 74-tonnisen yhdistelmän Mattsson Åkerille Göteborgissa • Volvo FH Electric 6x4 • Lataus 180 kW:n suurteholaturilla (Volvo Trucks 2023b) Skotlannissa käynnistynyt kolmen vuoden kokeilu sähköisellä puutavarayhdistelmällä (Stuart 2023). Testaukset polttokennosähköautolla käynnistyivät 2022. Kokonaispainon arvioidaan voida nousevan 65 tonniin ja isommaksikin (SKAL 2023, Volvo Trucks 2023a). Volvo Trucksin maailmanlaajuisena tavoitteena on, että puolet myydyistä kuorma-autoista on sähköisiä vuoteen 2030 mennessä (Volvo Trucks 2023b)
Iveco	IVECO S-eWay sähkökuorma-auto

	• Suurin kokonaispaino 44 t • Toimintasäde 500 km • Teho 480 kW / 645 hv • Akkukapasiteetti 738 kWh • Latausaika (80 %:iin) 90 min 350 kW:n latausteholla Myynnissä myös IVECO S-eWay polttokennosähköauto (max 44 t) Laajamittainen täyssähkökuorma-autojen tuotanto käynnistymässä 2024. Tavoitteena nostaa toimintamatkaa 1 000 kilometriin vuonna 2026. (SKAL 2023). Vuoden 2024 aikana tarjolle GATE-malli sähkökuorma-auton pitkäaikaiseen vuokraukseen.
MAN	MAN eTGX (MAN Truck & Bus Deutschland GmbH 2023, Konepörssi 2023d) Suurin kokonaispaino 44 t, jolloin: • Moottorin teho 400 kW (544 hv) • Akkukapasiteetti 480 kWh • Korkein latausteho 750 kW • Toimintasäde 400 km, päiväkohtainen toimintasäde 600–800 km MAN eManager Ensimmäisten sähkökuorma-autojen toimitukset 2024
Mercedes-Benz	eActros (Daimler Truck AG 2023, Konepörssi 2023c) • 44-tonninen • Sarjatuotanto käynnistyy vuoden 2024 lopulla • 600 kW:n akkukapasiteetti (litiumrautafosfaattiakut, LFP) • Akkujen kokonaiskapasiteetti 621 kWh • Akkujen kesto 1,2 milj. km ja 10 vuotta (toimituskyvystä tällöin jäljellä 80 %) • Sähköinen vetoakseli • Toimintamatka yli 500 km (päivässä jopa 1 000 km) • MCS-teholatausvalmius, maxteho 600 kW, jolloin akkujen varauksen nosto 20 %:sta 80 %:iin 30 minuutissa • CCS-pikalataus 400 kW:n teholla Tavoitteena käynnistää polttokennosähköautojen sarjatuotanto 2020-luvun lopulla (SKAL 2023).
Lielahden Autokeskus Oy (konvertointi)	Muuntaa dieselmootoriautoja sähkökäyttöiseksi (esimerkiksi 55-tonninen puoliperävaunun vetoauto, joka operoi Äänekosken tehdasalueella). Tavoitteena on muuttaa 250–300 kuorma-autoa vuodessa sähköiseksi vuoteen 2027 mennessä. (Lukkari 2023).

Täyssähkökuorma-autoon voidaan yhdistää sähköisellä akselilla varustettu perävaunu, jolloin ajoneuvoyhdistelmän kokonaispaino voidaan saada halutulle tasolle pienempitehoisella vetoauton moottorilla. Sähköperävaunu määritellään nollapäästöiseksi tulevassa CO₂-raja-arvoasetuksessa. Esimerkki sähköakselilla varustetusta perävaunusta on VAK:n eTrailer, joka on parhaillaan testausvaiheessa. Sarjatuotannon on määrä käynnistyä vuonna 2025. Perävaunu, jossa on sähköinen vetävä akseli, on tarjolla BPW Kraatzilla. Kuorma-autojen sähköakseleita tutkitaan Suomessa käynnissä olevassa, Oulun yliopiston vetämässä NO DAMAGE -hankkeessa.

Akkuteknologiat

Sähköajoneuvoissa käytettävät akkuteknologiat voidaan jakaa karkeasti kolmeen päätyyppiin: litium-ioni-akut (LIB), lyijyakut ja muut, lähinnä tulevaisuuden akkuteknologiat (esim. suola-akut). Ajoakut perustuvat vielä nykyään poikkeuksetta LIB-teknologiaan. Ja ”käynnistysakut”, joilla ylläpidetään sähköauton pienjännitelaitteiden toiminnot (valot, pyyhkijät, puhaltimet jne.), ovat puolestaan lyijyakkuja. Akku-teknologioita voidaan jakaa vielä useaan ryhmään mm. niiden akkukemian eli eri rakenneosien valmistuksessa käytettyjen alkuaineiden ja niiden pitoisuuksien perusteella.

Akkutyypit nimetään yleensä niiden katodissa käytettyjen alkuaineiden perusteella (ks. liite 1). Kunkin tyypin ominaisuudet ja hinta voivat vielä vaihdella merkittävästi sen mukaan, missä suhteessa eri alkuaineita, yleensä metalleja, katodissa on käytetty. Esim. NMC (nikkeli-magnesium-koboltti) -akusta löytyy versiot 111, 622, 811 ja 9.5.5. Näistä ensin mainittu edustaa väistyvää akkukemiala, jossa kriittisimmän metallin eli kobolttin osuus katodissa on yli 30 % (1/3). Uusimmissa 9.5.5-versioissa osuus on saatu painettua viiden prosentin tasolle (0,5/10). Tämän akkukemian onkin arvioitu nousevan ajoajoneuvoakkujen markkinajohtajaksi Euroopassa vuoteen 2030 mennessä (Zhou ym. 2023).

Raskaan kaluston, kuten henkilöautojenkin, ajoakuissa NMC-akku on yleisin (mm. Volvo Trucks, Scania ja MAN). Myös LFP-akkuja käytetään jonkin verran (mm. Mercedes-Benz, DAF). Akkumateriaalien epävakasta hintakehityksestä johtuen vallitseville teknologioille on haettu kuitenkin vaihtoehtoja, joissa esim. litium, nikkeli ja/tai koboltti korvattaisiin kokonaan edullisemmilla vaihtoehtoilla. Tällaisina vaihtoehtoina mainitaan mm. metalli-ilma-akut, suola-akut ja erilaiset kiinteäelektrolyyttiset eli solid-state akut (SSB). Valmistustekniikan kehittyessä mm. 3D-tulostuksen myötä akkuihin voidaan tuottaa rakenteita, jotka eivät perinteisellä valmistustavalla ole olleet mahdollisia. Uusilla rakennevaihtoehtoilla voidaan vaikuttaa merkittävästi akkujen käyttöominaisuuksiin.

Johtavat akkuteknologiat poikkeavat sekä energiatiheuden, latausominaisuuksien että paloturvallisuuden osalta merkittävästi toisistaan. NMC-akun vahvuutena on korkea energiatiheys (Wh/kg, Wh/dm³) ja soveltuvuus ns. ”päätepysäkkilataukseen”. LFP-akun energiatiheys on lähes puolta heikompi, mutta sitä pidetään mm. paloturvallisuuden kannalta huomattavasti luotettavampana akkutyyppinä, myös syklinen kestävyys on huippuluokkaa. NCA-akun vahvuuksia ovat korkea energiatiheys ja hyvät pikalatausominaisuudet.

3 JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUSTARPEET

Seuraavaan taulukkoon on koottu MESI-hankkeen tämänhetkinen yhteenveto täyssähköisten yhdistelmien nykyisistä vahvuuksista ja heikkouksista sekä tulevaisuuden mahdollisuuksista ja uhista (SWOT) metsäsektorin kuljetuksissa Suomessa. Analyysia päivitetään ja täydennetään hankkeen myöhemmissä vaiheissa (varsinkin kustannusvertailuiden valmistuttua). Täyssähköisiä kuorma-autoja on verrattu tässä lähinnä dieselautoihin. SKALin (2023) käyttövoimakatsauksen vertailussa on mukana muitakin käyttövoimia. Skogforskin raportissa (Pernestål 2023) on mukana myös eri sidosryhmien arvioita metsäsektorin kuljetusten sähköistymisestä.

Taulukko 8. Alustava täyssähköisten kuorma-autojen SWOT-analyysi metsäsektorin kuljetuksissa.

VAHVUUDET • EU:n tavoitteiden mukainen nollapäästöinen käyttövoima • Sarjatuotantoa jo melko suurissa kuorma-autojen painoluokissa (68 t) • Edulliset ja ennakoitavissa olevat käyttökustannukset (varsinkin jos kiinteä sopimus tai voi tuottaa sähköä itse esim. aurinkopaneeleilla) • Ajoneuvojen hiljaisuus kuljettajille ja asukkaille taajamien kuljetusreiteillä • Vihreän sähkön korkea osuus ja investointisuunnitelmat Suomessa • Kotimaisen sähkön suuri osuus vahvuus huoltovarmuuden kannalta	HEIKKOUEDET • Vetoauton korkea hankintahinta (diesel- ja kaasukuorma-autoon verrattuna) • Suomessa vasta 1 julkinen sähkökuorma-autojen julkinen latauspaikka • Latauksen kesto suurilla yhdistelmillä • Puutavara-autoissa vasta vähäisiä testiajokokemuksia • Akkujen paino vähentää hyötykuorman osuutta • Kuljetusten monimutkaisempi suunnittelu (latausten huomioon ottaminen) • Latauksen ja akkutyypin standardoinnin kehitystarpeet • Sähkövarastointi vielä vähäistä
MAHDOLLISUUDET • Dieselyhdistelmien hankinta- ja käyttökustannusten nousu lisääntyvän sääntelyn (esim. päästökaupan) myötä • Sähköistämisen aloitus metsäsektorin lyhyistä ja säännöllisistä kuljetuksista • T&K-tyo raskaissa metsäsektorin kuljetuksissa (ml. Ruotsin tutkimukset) • Uudet akkuteknologiat ja -materiaalit sekä kierrätyksen* kehittyminen pienentävät akkumateriaalien tarvetta, nopeuttavat lataamista ja pienentävät akkujen hintoja • Latausinfrastruktuurin kehittyminen AFIR-direktiivin toimeenpanon ja useiden kaupallisten hankkeiden myötä • Suurteholatauksen (jopa yli yhden megawatin) kehittyminen • Akunvaihtopalveluiden ja akku palveluna -toimintamallien ja sähköajoneuvojen vuokrauspalveluiden kehittyminen • Metsäteollisuuden omavarainen sähköntuotanto tuotantolaitoksilla • Sähköisten kuljetusten kehittäminen alueellisina yhteistyökokonaisuuksina	UHAT • Akkumateriaalien saatavuuden ja hintojen haasteet • Muiden vaihtoehtoisten käyttövoimien kilpailukyvyyn ja tarjonnan kehittyminen (biokaasu, vety, sähköpolttoaineet) • Jakeluinfran rajattu kattavuus jatkossakin (investoinnit jakautuvat usealle käyttövoimalle) • Alueelliset sähköverkon kapasiteettiongelmat lataustarpeen nopeasti kasvaessa

*Esimerkiksi EU:n akku- ja paristoasetus (Edilex 2024) asettaa kierrätystavoitteita akkumateriaaleille sekä vaatimuksia uusien akkujen kierrätysperäisille raaka-aineille.

Tämän raportin kirjallisuusselvityksen avulla on pystytty saamaan jo melko hyvä kuva raskaimpien täyssähkökuorma-autojen ja raskaan liikenteen latausinfrastruktuurin nykytilasta ja kehitysnäkymistä. MESI-hankkeen jatkovaiheissa kartoitetaan tarkemmin täyssähkökuorma-autojen ja latausinfrastruktuurin investointivaatimuksia ja -kustannuksia. Tietoa tullaan keräämään myös haastatteluiden avulla. Ruotsissa käynnissä olevat metsäsektorin sähkökuorma-autotutkimukset tulevat tuottamaan myös Suomen markkinoiden kannalta kiinnostavaa tietoa kuljetusympäristön ja ajoneuvojen kokoluokkien yhtäläisyyksien takia. Akunvaihtopalvelut ovat Euroopassa vielä kehittymättömät. Muutoin raskaan liikenteen sähköistyminen on tuonut aivan viime vuosina markkinoille uudenlaisia palvelumalleja, toimijoita ja yritysysteistyötä.

LÄHTEET

ABB (2023a) EV charging for Industrial Fleets. Internetsivu. <https://e-mobility.abb.com/segments/industrial-fleet/> [Viitattu 28.12.2023].

ABB (2023b) EV charging for Logistics Fleets. Internetsivu. <https://e-mobility.abb.com/segments/heavy-duty-truck-charging/> [Viitattu 28.12.2023].

Bioenergia (2023) Bioenergian tuottajat 2023. Tilastokartta. <https://bioenergia.fi/statistic/bioenergian-tuottajat-2023/> [Viitattu 28.12.2023].

Bradbook S, Adamo, E (2023) Electric vehicle logging truck launches for Green Triangle trial in South Australia. <https://www.abc.net.au/news/2023-02-28/electriclogging-vehicle-green-triangle-trial-south-australia-ev/102032258>. [Viitattu 18.11.2023].

Daimler Truck AG (2023) eMobility – The eActros and its services. Internetsivu. https://www.mercedes-benz-trucks.com/en_GB/emobility/world/our-offer/eactros-and-services.html [Viitattu 28.12.2023].

Destia Oy (2023a) Destia ja Electreon kehittämään sähköautojen langatonta latausta Suomessa. Tiedote 9.3.2022. <https://www.destia.fi/tiedote/destia-ja-electreon-kehittamaan-sahkoautojen-langatonta-latausta-suomessa/> [Viitattu 28.12.2023].

Destia Oy (2023b) Sähköajoneuvojen lataus. Internetsivu. <https://www.destia.fi/palvelut/sahkoajoneuvojen-lataus/> [Viitattu 28.12.2023].

Edilex (2024) EPNAs (EU) 2023/1542 akuista ja paristoista ja jäteakuista ja -paristoista, direktiivin 2008/98/EY ja asetuksen (EU) 2019/1020 muuttamisesta sekä direktiivin 2006/66/EY kumoamisesta 12.7.2023 (akku- ja paristoasetus). <https://tukes.edilex.fi/sv/eu-lainsaadanto/32023R1542/fi> [Viitattu 25.1.2024].

Euroopan komissio (2019) Euroopan vihreän kehityksen ohjelma. COM(2019) 640 final. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0003.02/DOC_1&format=PDF.

European Automobile Manufacturers Association (2021) ACEA Position Paper - Heavy-duty vehicles: Charging and refuelling infrastructure requirements. May 2021. https://www.acea.auto/files/ACEA_Position_Paper-Heavy-duty_vehicles-Charging_and_refuelling_infrastructure.pdf

European Commission (2020) Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future. COM(2020) 789 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0789>

Farzam Far M, Pihlatie M, Paakkinen M, Antila M, Abdulah A (2022) Pre-Normative Charging Technology Roadmap for Heavy-Duty Electric Vehicles in Europe. Energies 2022, 15, 2312. <https://doi.org/10.3390/en15072312>

Ilomäki R, Kivari M, Käsnänen S, Takala J, Vähätörmä P (2023) Raskaan liikenteen latausinfra – Tarveselvitys. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2023:1. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164612/LVM_2023_1.pdf

Jääskeläinen S, Ojala T, Simonen E, Kola H (toim.) (2023) Ohjelma tieliikenteen uusien polttoaineiden jakeluinfran kehittämiseksi Suomessa vuoteen 2035. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2023: 4. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164799/LVM_2023_4.pdf

Kempower Oyj (2023) Kempower introduces Megawatt Charging System for electric trucks and electric vehicles using power above one megawatt. Internetuutinen 17.10.2023. <https://kempower.com/news/megawatt-charging-system-for-electric-trucks> [Viitattu 28.12.2023].

- Konepörssi (2023a) Scania ja Wibax sähköistävät raskaat säiliökuljetukset. Internetartikkeli 13.10.2023. <https://koneporssi.com/kuljetuskalusto/scania-ja-wibax-sahkoistavat-raskaat-sailiokuljetukset/> [Viitattu 28.12.2023].
- Konepörssi (2023b) Suomen ensimmäisen täyssähköinen HCT-yhdistelmä liikenteeseen. Internetartikkeli 5.10.2023. <https://koneporssi.com/kuljetuskalusto/suomen-ensimmaisen-tayssahkoinen-hct-yhdistelma-liikenteeseen> [Viitattu 28.12.2023].
- Konepörssi (2023c) Täyssähköinen Mercedes-Benz eActros 600 kaukoliikenteeseen. Internetartikkeli 11.10.2023. <https://koneporssi.com/kuljetuskalusto/tayssahkoinen-mercedes-benz-eactros-600-kaukoliikenteeseen/> [Viitattu 28.12.2023].
- Konepörssi (2023d) Uuden MAN eTruckin myynti alkaa. Internetartikkeli 3.11.2023. <https://koneporssi.com/kuljetuskalusto/uuden-man-etruckin-myynti-alkaa/> [Viitattu 28.12.2023].
- Lapp T, Mäkinen S (2023) Rataverkon raakapuun kuormauspaikkaverkon tilanne- ja tulevaisuuskuva - selvityksen päivitys 2023. Väyläviraston julkaisuja 48/2023. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/187694/vj_2023-48_978-952-405-088-3.pdf
- Lauhkonen A, Markkanen J (2023) Tieliikenteen ajoneuvokanta- ja päästöennusteen päivitys 2023 – Liite 3 Tieliikenteen politiikkaskenaario (WAM1). Excel-tiedosto. https://traficom.fi/sites/default/files/media/publication/LIITE%203%20WAM2023_16-10-2023.xlsx
- Lausala T, Kallio T, Kalenoja H (2023) Autoalan käyttövoimaennusteet – Ennusteet eri käyttövoimien yleistymisestä ensirekisteröinneissä ja autokannassa 13.6.2023. https://www.aut.fi/files/2770/Kayttovoimaennusteet_2023_06_13.pdf
- Liikennevirta Oy (2023) Virran raskaan liikenteen lataus. Internetsivu. <https://www.virta.global/fi/raskas-kalusto> [Viitattu 28.12.2023].
- Lukkari E (2023) Keuruun sähkökuorma-autotehdas syntyi Forum Viriumin innovaatiosta. Internetartikkeli 30.3.2023. <https://www.ostologistiikka.fi/kategoriat/teknologia/keuruun-sahkokuorma-autotehdas-syntyi-forum-viriumin-innovaatiosta> [Viitattu 28.12.2023].
- Luonnonvarakeskus (2023) Puun käyttö maakunnittain. Tilasto. https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_04%20Talous_07%20Puun%20kaytto_14%20Puun%20kokonais kaytto/01_Puun_kok_kaytto.px/ [Viitattu 8.12.2023].
- MAN Truck & Bus Deutschland GmbH (2023) The New MAN eTGX: The eTruck for Long Distances. Internetsivu. <https://www.man.eu/de/en/truck/all-models/the-man-tgx/the-man-etgx/overview.html> [Viitattu 28.12.2023].
- Metsätrans (2023a) ABB E-mobility ja Scania testasivat onnistuneesti megawattilatausta (Megawatt Charging System). Internetartikkeli 9.5.2023. <https://metsatrans.com/artikkeli/4122/abb-e-mobility-ja-scania-testasivat-onnistuneesti-megawattilatausta-> [Viitattu 28.12.2023].
- Metsätrans (2023b) Scania ja saksalainen sennder perustavat yhteisyrityksen, joka edistää tehokkaasti raskaiden sähkökuorma-autojen käyttöä. Internetartikkeli 10.11.2023. <https://metsatrans.com/artikkeli/4641/scania-ja-saksalainen-sennder-perustavat-yhteisyrityksen,-joka-edistaa-tehokkaasti-raskaiden-sahkokuorma-autojen-kayttoa> [Viitattu 28.12.2023].
- Milence (2023) Building Europe's leading charging network for heavy-duty transport. Internetsivu. <https://milence.com/> [Viitattu 28.12.2023].
- Neste Oyj (2023) Neste Lataus. Internetsivu. www.neste.fi/yritysasiakkaat/palvelut/neste-lataus [Viitattu 28.12.2023].

Pernestål A, Svenson G, Gustavsson O, Eriksson A (2023) Elektrifiering av skogbrukets vägtransporter – Analys av barriärer och möjligheter. Skogforsk Arbetsrapport 1176-2023. https://www.skogforsk.se/cd_20231002144715/contentassets/4c2446509a3d4a9ea0f20509d48dce41/arbetsrapport-1176-2023-elektrifiering-av-skogsbrukets-vagtransporter.pdf

Pihlatie M, Ranta M, Rahkola P, Åman R (2023) Zero-Emission Truck Powertrains for Regional and Long-Haul Missions. World Electric Vehicle Journal. <https://www.mdpi.com/2032-6653/14/9/253>

Plugit Finland (2023a) Ammattiliikenteen latausratkaisut. Internetsivu. <https://plugit.fi/sahkoauton-lataus-ammattiliikenteelle/> [Viitattu 28.12.2023].

Plugit Finland Oy (2023b) PLUGIT CaaS – nopea ja riskitön tapa järjestää lataus. Internetsivu. <https://plugit.fi/caas-lataaminen-palveluna/> [Viitattu 28.12.2023].

Plugit Finland (2023c) Plugit PRO DC -suurteholatausverkosto. Internetsivu. <https://plugit.fi/pro-dc/> [Viitattu 28.12.2023].

Plugit Finland Oy (2023d) Suomen ensimmäinen sähköisen raskaan liikenteen julkinen teholatausasema avattiin. Internetartikkeli. <https://plugit.fi/ajankohtaista/suomen-ensimmainen-sahkoisen-raskaan-liikenteen-julkinen-teholatausasema-avattiin/> [Viitattu 28.12.2023].

SCA (2023) SCA's and Scania's unique electric timber truck. Internetsivu. <https://www.sca.com/en/about-sca/innovation-and-research/forest/electric-timber-truck/> [Viitattu 28.12.2023].

Scania (2023a) A constantly evolving e-mobility solution - New energy for sustainable transport. Internetdokumentti. <https://www.scania.com/content/dam/www/market/nl/campagnes/new-energy/Regionaal.pdf> [Viitattu 28.12.2023].

Scania (2023b) Battery electric truck. Internetsivu. <https://www.scania.com/group/en/home/products-and-services/trucks/battery-electric-truck.html> [Viitattu 28.12.2023].

Scania (2023c) Fueling the future: Scania's solar-powered truck project unveiled. Internetuutinen 31.8.2023. <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2023/scanias-solar-powered-truck.html> [Viitattu 28.12.2023].

Scania (2023d) Kuorma-autojen latausverkosto - Scania Charging Access. Internetsivu. <https://www.scania.com/fi/fi/home/products/attributes/electrification/charging/scania-charging-access.html>. [Viitattu 28.12.2023].

Sipilä E, Kiuru H, Lilja A, Nylund N-O, Mäkelä K, Sipilä K (2021) Selvitys Huoltovarmuuskeskukselle sekä Öljypoolille ja Maakaasujaostolle. Liikenteen käyttövoimien kehityksen ennuste – vaikutus polttoaineisiin ja huoltovarmuuteen.

SKAL (2023) Millä energialla kuljetamme? - Raskaan liikenteen käyttövoimasiirtymän tilannekuva. [skal_kayttovoimasiirtyma_raportti_20230110.pdf](https://www.skall.fi/kayttovoimasiirtyma_raportti_20230110.pdf)

Strandström M (2023) Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2022. Metsätehon tulokalvosarja 12/2023. <https://www.metsateho.fi/puunkorjuu-ja-kaukokuljetus-vuonna-2022/>

Stuart (2023) Electrifying the Timber Industry: Volvo and Scottish Forestry Embrace EV Timber Trucks. Internetartikkeli 2.5.2023. <https://electricvehiclescotland.com/2023/05/02/electrifying-the-timber-industry-volvo-and-scottish-forestry-embrace-ev-timber-trucks/> [Viitattu 28.12.2023].

Suomen ympäristökeskus (2023) Ilmastoratkaisujen vauhdittaja (ACE). Internetsivu. https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Tutkimus_ja_kehittamishankkeet/Hankkeet/Ilmastoratkaisujen_vauhdittaja_ACE [Viitattu 28.12.2023].

Suvanto M, Tuominen M, Heininen A, Heiskanen T (2022) Sähköisten tieverkkojen jatkoselvitys. Väyläviraston julkaisu 22/2022. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/184522/VJ_22_2022_Sahkoisten%20tieverkkojen%20jatkoselvitys.pdf

Tilastokeskus (2023) Kotimaan kuorma-autoliikenteen suoritteet tavaralajeittain, 2011–2022. Tilasto. https://statfin.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_kttav/statfin_kttav_pxt_119b.px/. [Viitattu 18.11.2023].

Traficom (2023) Liikennekäytössä olevat kuorma-autot - käyttövoimat, päästöt ja keski-ikä. Internetsivu, päivitetty 30.8.2023. <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/liikennekaytossa-olevat-kuorma-autot-kayttovoimat-paastot-ja-keski-ika>. [Viitattu 29.12.2023].

Uhrdin A, von Hofsten H, Noreland D (2023) Elektrifiering av tunga vägtransporter – mycket mer än teknik. Skogforsk Arbetsrapport 1166–2023. https://www.skogforsk.se/cd_20230621155159/contentassets/a63d7a4e49494e4094f185802c176e74/1166-2023-elektrifiering-av-tunga-vagtransporter---mycket-mer-an-teknik.pdf

Valtioneuvosto (2023) Vahva ja välittävä Suomi: Pääministeri Petteri Orpon hallituksen ohjelma 20.6.2023. Valtioneuvoston julkaisu 2023:58. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/165042>

Venäläinen P, Poikela A (2022) Puutavara- ja hakeajoneuvojen massojen noston vaikutukset – Aiheen 3. väliraportti. Metsätehon raportti 265. <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Raportti-265-Puutavara-ja-hakeajoneuvojen-massojen-noston-vaikutukset.pdf>

Volvo Trucks (2023a) Premiere: Volvo Trucks tests hydrogen-powered electric trucks on public roads. Lehdistötiedote 8.5.2023. <https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/press-releases/2023/may/volvo-trucks-tests-hydrogen-powered-electric-trucks-on-public-roads.html> [Viitattu 28.12.2023].

Volvo Trucks (2023b) Volvo toimittaa 74 tonnin sähkökuorma-auton. Internetartikkeli 27.6.2023. <https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/news/press-releases/2023/jun/volvo-delivers-74-tonne-electric-truck.html> [Viitattu 28.12.2023].

Vuorinen V (2023) Akunvaihto – teknologiat, sovellukset ja markkinat. Sähkötekniikan kandidaatintyö, Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/165410/kandidaatintyo_vuorinen_veeti.pdf

YLE (2023) Suomessa kehitetään sähkörekkaa, joka kulkisi yhdellä latauksella Hangosta Haukiputaalle. Internetartikkeli 10.3.2023. <https://yle.fi/a/74-20021581>. [Viitattu 24.11.2023].

Ylä-Pontinen J, Kärhä K (2022) Vaihtoehtoiset käyttövoimat raskaassa liikenteessä ja puutavara-autoissa tulevaisuudessa Suomessa. Metsäalan ammattilehti, sivut 6–7.

Zhou W, Cleaver CJ, Dunant CF, Allwood JM, Lin J (2023). Cost, range anxiety and future electricity supply: A review of how today's technology trends may influence the future uptake of BEVs. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032122009558>

AKKUTYYPI	Katodi (+)	Anodi (-) *	Elektrolyytti	NIMELLIS- JÄNNITE		ENERGIATIHEYS		OMINAISTEHO	C-ARVO	LATIUS- SYKLIT
				V (per kello)	Wh/kg	Energy density	Wh/l			
NMC (=NCM)	LiNiMnCoO ₂	Grafiitti	Li-suola, esim. LiPF ₆ tai LiBF ₄	Nickel Manganese Cobalt Oxide	Uutium-nikkel-mangaani-kobolttioksidiaakku	3,7	150-220	580	0,7-1/1-2	1000-2300
LFP	LiFePO ₄	"	"	Lithium Iron Phosphate	Uutium-rautafosfaattiakku	3,2	90-120	333	1/1-25	3000-12000
NCA	LiNiCoAlO ₂	"	"	Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide	Uutium-nikkel-koboltti-alumiinioksidiaakku	3,6	200-260	600	0,7/1	500-1000
LMO	LiMn ₂ O ₄	"	"	Lithium Manganese Oxide	Uutium-mangaanioksidiaakku	3,7	100-150	420	0,7-3/1-10	300-700
LCO	LiCoO ₂	"	"	Lithium Cobalt Oxide	Uutium-polymeeriakku Li UPo-akku	3,6	150-240	560	1/1	500-1000
LTO	NMC, NCA, (LFP)	Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	"	Lithium Titanate Oxide	Uutium-titaanioksidiaakku	2,4	50-80	177	1-5/7-10	3000-7000
M-Air/MAB	O ₂	Al/Li/Zn...	KOH, NaCl..	Metal-Air Battery (Fuel Cell?)	Metalli-ilma akku (polttokenno?)	1,2-3,2	5000-10000			
SSB		esim. Si	esim. LiZO tai Li ₆ PS ₄ Cl	Solid State Battery	Kiintealektrolyyttinen akku		400-600			
Li-S	S	Li	LiFSI	Lithium-sulphur battery	Uutium-riikkiakku	1,7-2,5	450	550	1/5	300-1700
NiB, Na-ion	FeS ₂	LiAl	NaPF ₆	Sodium-ion Battery	Na ⁺ utium-ioniakku, "suola-akku"	2,4	75-200	250-375	2100	>100000
Ni-MH	NiO(OH)	MH	KOH	Nickel-Metal Hydride	Nikkel-metallihydridiaakku	1,2	60-120	140-300	250-1000	180-2000
Ni-Cd	NiO(OH)	Cd	KOH	Nickel Cadmium	Nikkel-kadmiumakku	1,2	45-80	50-150	150-200	1000-2000
(VR/S)LA	PbO ₂	Pb	H ₂ SO ₄	(Valve Regulated/Sealed) lead Acid	(Suljettu) lyijyakku	2,1	30-40	60-75	0,05	200-800

* Grafiittie etsitään vaihtoehtoa mm. ligniinipohjaisesta "kovahillestä" erityisesti natrium-ioniakuissa, joissa ionikoiko rajoittaa grafiitin käyttöä