

# Raskaan sähköisen liikenteen tilanne ja tulevaisuus – SIX HOVE innovaatioklusterin ja tutkimuksen loppuraportti VTT

Mikko Pihlatie

Harri Nieminen

Johannes Hyrynen

Pekka Rahkola

Joel Anttila

Mikaela Ranta

Antonio Costa

Nino Chkhartishvili

Alexander Aushev

Erik Skeel

Muhammad Rehan

Niilo Kantoniemi

Tommi Muona

## Tiivistelmä

SIX HOVE -innovaatioklusteri pyrkii edistämään raskaan liikenteen sähköistymistä Suomessa tukemalla yritysten kokeiluja, tutkimusta, kehitystä ja ekosysteemiyhteistyötä. Suomen hiilineutraaliustavoite vuoteen 2035 edellyttää merkittäviä päästövähennyksiä erityisesti kuorma-autoliikenteessä, ja sähköistyminen tarjoaa lupaavia ratkaisuja. Klusteri yhdistää teknologiatoimittajat, tutkimuslaitokset ja loppukäyttäjät neljällä painopistealueella: kaupunkiliikenne, pitkän matkan kuljetukset, teollisuuden kuljetukset ja latausinfrastruktuuri. Klusterin tavoitteena on tuottaa tutkimustietoa, strategisia suosituksia ja edistää yhteiskehittämistä.

Kestävän raskaan tieliikenteen tiekartta 2035 on teollisuus- ja tutkimusvetoisesti laadittu suunnitelma, joka ohjaa Suomen raskaan tieliikenteen kehitystä kohti ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestävää tulevaisuutta. Tiekartta korostaa logistiikan merkitystä Suomen kilpailukyvyllä, erityisesti pitkien etäisyyksien ja haastavien sääolosuhteiden maassa. Tavoitteena on hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä, mikä edellyttää erityisesti tieliikenteen päästöjen merkittävää vähentämistä ja sähköistämistä.

Tiekartta esittelee kuusi teemaa: kestävä liiketoiminta, nollapäästöinen arvoketju, älykkäät ohjausjärjestelmät, ihminen järjestelmän osana, dataintensiiviset palvelut sekä autonomisuus ja automaatio logistiikassa. Näiden avulla pyritään kehittämään uusia liiketoimintamalleja, parantamaan energiatehokkuutta, hyödyntämään dataa ja digitalisaatiota sekä lisäämään automaation ja autonomisten ratkaisujen käyttöä. Tiekartta painottaa yhteistyötä yritysten, tutkimuksen ja julkisen sektorin välillä sekä kansallisesti että eurooppalaisella tasolla.

Keskeisiä keinoja ovat muun muassa sähköisen kaluston ja latausinfrastruktuurin kehittäminen, datan hyödyntäminen logistiikan optimoinnissa, uusien palveluiden ja liiketoimintamallien pilotointi sekä osaamisen ja koulutuksen vahvistaminen. Tiekartta toimii yhteisenä viitekehyksenä, joka kokoaa toimijat yhteen ja mahdollistaa systemaattisen kehityksen kohti kestävää, kilpailukykyistä ja toimintavarmaa raskasta tieliikennettä Suomessa.

Tutkimusosiossa analysoitiin litiumioniakkujen käyttöikä ja soveltuvuutta eri käyttötapauksiin erilaisilla käyttötavoilla sekä eliniän mallintamista stressitekijät huomioiden. Latausteknologian osalta tarkasteltiin megawattilatauksen standardointia ja käytännön haasteita. Energiankulutusta simuloitiin eri ajoneuvokategorioille ja olosuhteille, ja havaittiin, että ajoneuvon koko, kuorma ja lämpötila vaikuttavat merkittävästi kulutukseen. Kaupunkiajossa energiankulutus on alhaisempi pienillä ajoneuvoilla, mutta suurilla ajoneuvoilla regenerointi vähenee jarrutusten vuoksi.

Pilottiseurannassa analysoitiin kolmen konversiosähkökuorma-auton dataa. Ajoneuvot toimivat luotettavasti paikallisjakelussa, ja akustot riittivät päivittäisiin ajosuoritteisiin.

Energiankulutus kasvoi kylmissä olosuhteissa, mutta välilataus mahdollisti riittävän toimintamatkan. Akkukapasiteetti oli pääosin riittävä, mutta ikääntyminen voi vaikuttaa tulevaisuuden suorituskykyyn. Simulaatiot osoittivat, että sähkökuorma-autojen hyötykuorma on lähes dieselautojen tasolla, ja kaupunkijakelussa jopa parempi. Polttokennosähköajoneuvojen energiankulutus on suurempi, mutta vedyn energiatihedden ansiosta hyötykuorma pysyy kilpailukykyisenä.

Sähköisen raskaan liikenteen energiatarpeiden arviointi on keskeistä Suomen ja EU:n ilmastotavoitteiden saavuttamisessa, ja tutkimuksessa kehitettiin paikkatietoon ja avoimeen dataan perustuva menetelmä, jolla voidaan arvioida sähkökuorma-autojen lataustarpeita koko Suomen tieverkolla. Tulokset osoittavat, että lataustarpeet keskittyvät suuriin logistiikkakeskuksiin ja pääliikenneväylille, ja että erityisesti puoliperävaunurekat vaativat tehokkaita latausratkaisuja, kun taas pienemmät ajoneuvot voivat hyödyntää hitaampaa latausta esimerkiksi öisin. Yksityinen depotlataus teollisuusalueilla täydentää julkista latausinfrastruktuuria kustannustehokkaasti. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin suuren mittakaavan julkisen latauksen tuotantokustannuksia ja todettiin, että akkuvarastojen ja älykkään ohjauksen avulla voidaan alentaa latauksen kustannuksia ja tasata tehopiikkejä. Menetelmä ja tulokset ovat siirrettävissä myös muihin maihin, ja ne tarjoavat konkreettista tietoa latausinfra- ja sähköverkon kehittämisen tueksi sähköisen raskaan liikenteen yleistyessä.

Kokonaisuudessaan SIX HOVE -hanke tarjoaa kattavan teknis-taloudellisen perustan raskaan liikenteen sähköistämiseksi Suomessa ja tukee ekosysteemin rakentamista, jossa tutkimus, teollisuus ja julkinen sektori voivat yhdessä edistää siirtymää kohti nollapäästöistä logistiikkaa.

## Sisällys

Raskaan sähköisen liikenteen tilanne ja tulevaisuus – SIX HOVE innovaatioklusterin ja tutkimuksen loppuraportti VTT .....	1
Tiivistelmä .....	2
Sisällys .....	4
1. Johdanto - raskaan sähköisen liikenteen tarve .....	5
2. Sähköisen raskaan liikenteen innovaatioklusteri.....	6
2.1 Innovaatioklusterin lähtökohdat .....	6
2.2 Innovaatioklusterin verkostotyö .....	8
2.3 Raskaan sähköisen liikenteen tiekartta.....	9
3. Teollisen tutkimuksen kokonaisuus .....	10
3.1 Akkuteknologia .....	10
3.2 Latausteknologia .....	11
3.3 Energiankulutus ajoneuvotyypeittäin erityyppisissä ajotehtävissä ja olosuhteissa .....	11
4. Sähkökuorma-autojen toteutettavuus .....	17
4.1 Datankeruu pilottiajoneuvoista ja analyysit.....	17
4.2 Tiekuljetusten energiantarve ja infrastruktuuri.....	33
4.3 Suuren mittakaavan julkisen latauksen tuotantokustannukset .....	36
Lähteet .....	39
Liitteet .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## 1. Johdanto - raskaan sähköisen liikenteen tarve

Teollisuuden kilpailukyvyyn ja hyvinvointimme perusedellytys on tehokas ja sujuva logistiikka. Suomessa, pitkien etäisyyksien maassa, logistinen järjestelmä muodostaa elintärkeän verkoston, joka yhdistää toimijat toisiinsa. Raskas tieliikenne on verkoston keskeinen osa, yhdistävä lenkki, joka mahdollistaa sujuvat toimitukset sekä kansainvälisen että kotimaisen vaihdannan. Suomen logistisessa järjestelmässä eri kuljetusmuodot täydentävät toisiaan. Monimuotoinen, multimodaalinen rakenne luo pohjan sekä joustavalle logistiikalle että pitkäjänteiselle kestäväälle kehitykselle. Raskaan tieliikenteen keskeinen rooli korostuu erityisesti eri kuljetusmuotojen linkittämisessä toisiinsa. Se mahdollistaa hyödykkeiden kuljettamisen aina perille asti – satamista, terminaaleista ja tuotantolaitoksilta koteihin, kauppoihin, rakennustyömaille ja vientisatamiin.

Suomen tavoite on olla hiilineutraali yhteiskunta vuoteen 2035 mennessä ja tähän tavoitteeseen pääsemisen on fossiilittoman liikenteen tiekartassa nähty edellyttävän liikenteen päästöjen puolittamista 2030 mennessä ja poistamista kokonaan 2045 mennessä. Tieliikenteen päästöistä noin kolmannes aiheutuu kuorma-autoista ja kuorma-autojen päästöjen ennakoitaan perusennusteessa pienenevän vain 25 % vuoteen 2030 mennessä ja 31 % vuoteen 2045 mennessä, joten uusia toimenpiteitä kuorma-autojen päästöjen vähentämiseksi tarvitaan nopeasti. Valtioneuvoston periaatepäätös nostaa toimenpiteeksi kuitenkin vain hankintatuen sähkökuorma-autoille ja Suomessa sallittujen suurten kuorma-autojen täysimääräisen hyödyntämisen, joiden päästövähennykseksi on arvioitu vain 3,7 % kuorma-autojen päästöistä vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi logistiikan digitalisaatiolla ja yhdistetyillä kuljetuksilla voidaan saada päästövähennyksiä, joiden suuruus on kuitenkin epävarma. Näin ollen kuljetusten päästöjen vähentämiseksi on suuri tarve löytää uusia toimenpiteitä ja analysoida niiden kustannuksia ja päästövaikutuksia. Hanke on siten erittäin tärkeä yhteiskunnallisesti.

Kuorma-autojen sähköistyksen vaihtoehtoiset teknologiat kehittyvät nopeasti ja ne mullistavat nykyisen kuljetuspalvelu-, ajoneuvo- ja käyttövoimaekosysteemin. Suurimmat kuorma-autovalmistajat ovat joulukuussa 2020 eurooppalaisen autovalmistajien järjestön ACEA:n piirissä sopineet myyvänsä vain fossiilittomia kuorma-autoja vuoteen 2040 mennessä. Suomalaiset yritykset ovat kansainvälisesti erittäin arvostettuja sähköautojen latausinfrastruktuurin kehittämisessä. Pääpaino latausinfrastruktuurissa on ollut henkilöautoissa ja kuorma-autojen vaatimat erittäin suuritehoiset latausratkaisut ovat vielä kansainvälisesti kehitysvaiheessa. Suomalaisilla yrityksillä on erinomaiset mahdollisuudet kasvaa alalla merkittäviksi toimijoiksi ja suomalaisten kuorma-autojen sähköistäminen ja siihen liittyvä infrastruktuuri avaavat suomalaisille yrityksille erinomaiset mahdollisuudet saada referenssejä vientiin. Hankkeessa tuotettavan TKI- ja markkinatiekartan toimeenpano avaisi siten

suomalaiselle teknologiateollisuudelle erinomaiset kansainvälisen kasvun mahdollisuudet. Samalla on keskeistä varmistaa, että suomalaiset kuorma-autojen loppukäyttäjät pystyvät tekemään siirtymän nollapäästöisiin käyttövoimiin hallitusti ja punnitun tiedon pohjalta. SIX HOVE -hankkeen kautta käynnistetään sähköisen raskaan liikenteen innovaatioklusterin muodostuminen teknologiatoimittajien ja loppukäyttäjien yhteistyöverkostona, muodostetaan raskaan liikenteen sähköistyksen ja nollapäästöisyyden strateginen tiekartta, sekä tuotetaan tutkimuksen kautta tietoa ja syötteitä käynnistyvän prosessin tukemiseksi ja vauhdittamiseksi.

Viime vuosien akku-, lataus- ja vetypolttokennoteknologian kehitys on tuonut uusia mahdollisuuksia myös kuorma-autojen sähköistykseen. Sähköistykseen on siten olemassa useita teknologisia vaihtoehtoja, joiden vaikutukset kuorma-autojen operointiin ja energiaverkkoihin ovat hyvin erilaiset ja kaikilla teknologioilla erittäin merkittävät. Näin ollen tarvitaan laajaa ymmärrystä teknologiavaihtoehtojen ominaisuuksista ja tarpeista sekä vaikutuksista kuljetuspalvelu-, ajoneuvo- ja käyttövoimaekosysteemin toimijoihin. Samaan aikaan kuljetuksen ja logistiikan laaja toimijakenttä on vasta aktivoitumassa odotetun sähköisen kaluston ja ratkaisuiden markkinatarjonnan kautta. Luotettavan ja punnitun tiedon ja todellisten käyttökokemusten tarve on suuri hankintojen ja liiketoiminnan riskien hallitsemiseksi. Ekosysteemin ja innovaatioklusterin rakentaminen tähtää tähän ja hanke kokonaisuutena tuottaa kaikille osapuolille tarvittavaa ymmärrystä.

## 2. Sähköisen raskaan liikenteen innovaatioklusteri

### 2.1 Innovaatioklusterin lähtökohdat

Suomessa on paljon kansallisen tason pistemäisiä strategioita, ohjelmia ja tiekarttoja, joiden käytännön toteutus ja strateginen sitoutuminen jää usein puolitiehen. Konkreettisena esimerkkinä fossiilittoman liikenteen tiekartta ja Euroopan Fit for 55, joiden tavoitteet ovat äärimmäisen kunnianhimoisia mutta toteutus laahaa perässä. Toimien toteutus ja vaikuttavuus syntyy jalkauttamalla sisältöjä teollisuuden ja loppukäyttäjien liiketoimintaan ja tuotteisiin. Samalla parannetaan osaltaan myös toimintaympäristömme pitkän aikajänteen ennakoitavuutta.

Nollapäästöisen tieliikenteen käyttövoimiin liittyvä ekosysteemyö on Suomessa jäsentymätöntä ja ekosysteemien välisessä yhteistyössä piilee suuri hyödyntämätön potentiaali. SIX HOVE -innovaatioklusterin muodostamisessa tavoittelemme aktiivisesti yhteen toimivaa verkostoa monikanavaisen (Traficom, BF, Horizon Europe, yksityiset hankkeet) yhteistyön kautta sen sijaan että jokainen edistää asioita erillisissä hankkeissa. Tämä on erityisen tärkeää, kun raskaan tieliikenteen sähköistys on vasta alkutekijöissään.

Suomalaiset toimijat yksissään ovat maailmalla pieniä, mutta klustereissa muodostavat merkittävän voiman. Yhdessä pystymme vaikuttamaan esim. EU strategioihin, hakujen sisältöihin ja standardointialoitteisiin. Klusterin toimijoiden tiekartoilla on yhteneviä sisältöjä esim. digitalisaatioon ja sähköistymiseen liittyen. Tavoitteena on tehdä raskas ja aikaa vievä tutkimustyö yhdessä ja muodostaa tulokoreja, joiden sisältöä eri toimijat voivat hyödyntää omiin käyttötarkoituksiinsa.

Osaajien hyvä saatavuus on teollisuuden ja toimijoiden hyvinvoinnin kannalta keskeisen tärkeää. Vaikutetaan yhdessä alan kiinnostavuuteen ja koulutukseen osaajien saatavuuden turvaamiseksi myös tulevaisuudessa.

SIX HOVE -innovaatioklusterin muodostaminen ja käynnistäminen julkisen ja yksityisen sektorin yhteiskehittämisen kanssa nojaa seuraaviin tavoitteisiin ja toiminnan kulmakiviin:

1. Yhteisten päämäärien ja tavoitteiden määrittely ja selkeyttäminen
2. Yhteisten kehityskohteiden ja konkreettisten toimenpiteiden asettaminen (markkinatiekartta)
3. Toimijat ja organisoituminen
4. Yhteisten toimintamallien sopiminen ja tarvittavat mahdollistajat konkreettisten yhteisten toimenpiteiden tekemiseen

Näiden tavoitteiden saavuttamisesta ja konkreettisesta raportoinnista syntyvät Klusteri-osuuden odotetut tulokset. Osapuolten on työn edetessä mahdollista myös nostaa uusia painotuksia esiin, esimerkiksi osaamiseen ja sen kehittämiseen liittyvät haasteet ja niiden hallinta käyttövoimamurroksessa. Edellä esitettyjen hallinnollisten ja yhteiskehittämisen toimintamallin luomiseen tähtäävien osuuksien lisäksi SIX HOVE on maantieliikenteen operatiivisen toiminnan, käytötapausten ja toimijakentän ratkaisu- ja palveluntarjoajien kannalta jaettu neljään fokusalueeseen:

- A. Kaupunkien kaupallinen ja hyötyliikenne (kaupunkikuljetukset, jätehuolto)
- B. Raskaan kaluston alueelliset ja pitkän matkan kuljetukset
- C. Teollisuuden kuljetukset
- D. Käyttötarkoitusta palveleva latausinfrastruktuuri

Kuhunkin fokusalueeseen liittyy jo klusterin perustamisvaiheessa VTT:n ja TAU:n lisäksi aihepiirin avaintoimijoita (case-yritykset ja alueelliset innovaatiotoimijat). Case-yritysten toivottu rooli on olla suunnannäyttäjät strategian toteutuksessa ja tuoda esikilpailullisen tason käyttökokemuksia ja dataa hyödynnettäväksi muualla klusterissa. SIX HOVE -kokonaisuuden painopiste tulee alkuvaiheessa olemaan loppukäyttäjien, operaattorien ja kuljetuspalveluiden tilaajien riittävän laaja osallistaminen innovaatioklusterin toimintaan (kysyntä). Ratkaisujen eli tarjonnan osalta, SIX-klusterissa on monia teknologia- ja palvelusektorin toimijoita, jotka sijoittuvat

vientiteollisuuden ryhmään ja alueellisten innovaatiotoimijoiden kautta klusterilla on kontakti hyvin laajaan joukkoon yrityksiä. Tästä toimijaryhmästä olevia yrityksiä osallistetaan täysimääräisesti SIX HOVE -kokonaisuuteen

## 2.2 Innovaatioklusterin verkostotyö

SIX HOVE innovaatioklusterin keskeinen uutuusarvo on toimijakentän tuominen yhteen. Yhteen maaliin pelaamiseksi tarvitaan yhteinen nimittäjä ja verkostotyössä yhteistyö on konkretisoitunut tiekarttatyöhön. Suomen kestävän raskaan tieliikenteen tiekartta 2035 on työkalu, joka mahdollistaa uuden lähestymisen kestävän raskaan tieliikenteen kehittämiseen. Se kokoaa yhteisen agendan ääreen eri toimijat, jotka ilman yhteistä käytännönläheistä agendaa toimisivat hajanaisesti, usein jopa toistensa tekemisiä tiedostamatta.

Tiekartta on työkalu ja osa suurempaa kokonaisuutta, jonka vaikuttavuuspotentiaali on suuri. Tätä potentiaalia kuvaavat hyvin 4.12.2024 julkaistussa Suomen teollisuuspoliittisessa strategiassa ja sen logistiikan alatyöryhmän yhteenvedossa asetetut tavoitteet ja toimenpidesuosituksat:

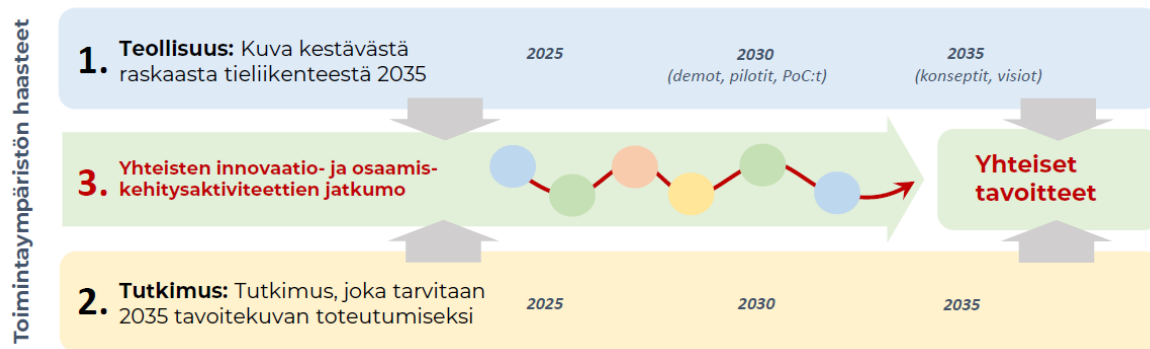
1. Liikenteen verotuksen ja rahoituksen uudistamisen yhteydessä varmistetaan, että yrityksille kohdistuvat verot ja maksut pidetään kilpailukykyisinä.
2. Suomen logististen erityisolosuhteiden huomioiminen EU- ja kansainvälisessä päätöksenteossa.
3. Maantieliikenteen käyttövoimamurroksen nopeuttaminen lataus- ja jakeluinfraa kehittämällä.
4. Liikenteen päästökauppatulojen kohdentaminen ensisijaisesti liikenteen käyttövoimamurroksen nopeuttamiseen.
5. Vaihtoehtoisten polttoaineiden saatavuuden parantaminen.

Innovaatioklusterin verkostotyön lopputuloksena tuotetaan tiekartta kuorma-autojen sähköistämisen edistämisestä Suomessa elinkaaripäästöjen ja -kustannusten kannalta parhaalla tavalla, ottaen huomioon kuljetusyritysten, sähköverkkoyhtiöiden, energiayhtiöiden ja yhteiskunnan näkökulmat. Suosituksen lähtökohtana on liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistavoitteen mukaisesti vähentää kuorma-autojen päästöt puoleen vuoden 2005 tasosta vuoteen 2030 mennessä ja poistaa päästöt kokonaan vuoteen 2045 mennessä.

Verkostotyö linkittyy aktiivisesti SIX HOVEN rinnakkaisen tutkimussisällön kanssa ja linjaa tukevaa tutkimusta. Tutkimuksen puolella päätutkimuskysymys on: Kuinka Suomen kuorma-autokuljetukset kannattaa eri alueilla toteuttaa liikennesektorin päästöjen osalta päästöttömästi ja kustannustehokkaasti vuoteen 2045 mennessä?

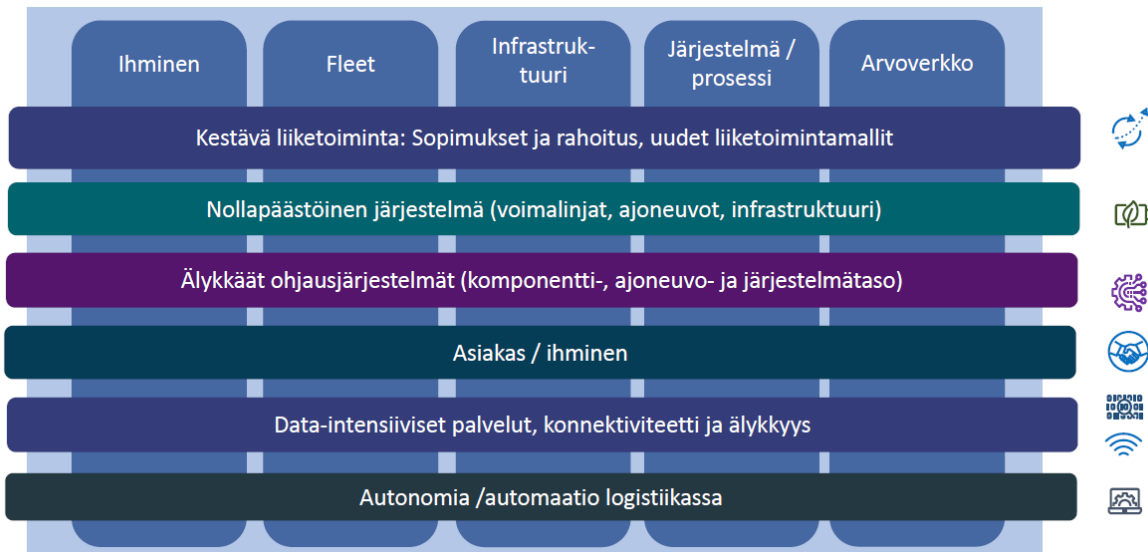
## 2.3 Raskaan sähköisen liikenteen tiekartta

Innovaatioklusterin keskeinen tulos on projektin aikana klusterin avaintoimijoiden kesken tuotettu tiekartta (Business Finland 2025). Tiekartan rakennetta ja prosessia havainnollistaa kuva 1. Tiekartan sisältö pohjautuu teollisuusvetoisen innovaatioklusterin toimijoiden (SSAB, Kuljettava, Keulink, Posti, Rauanheimo, Plugit, Kempower, HSY, Elenia, Sisu-Auto, Volvo) muodostamaan tulevaisuuskuvaan ja vastaaviin tavoitteisiin. Lähtötiedot kerättiin ja koostettiin yrityskohtaisissa haastatteluissa sekä yritysvetoisessa kattavassa työpajasarjassa 2023. Teollisuustoimijoiden muodostaman teemoitetun tiekartan avulla tutkimustahot (Tampereen Yliopisto, VTT) rakensivat tavoitekuvaa vasten tutkimusosion, sisältäen teknologioita ja tutkimusaiheita, joiden avulla määritetty tulevaisuuskuva voi toteutua. Yhteenliittymän ja ympäristön toimijoiden yhteistyössä muodostuu yhteisten aktiviteettien jatkumo, jonka turvin teollisuuden asettamiin tavoitteisiin päästään.



Kuva 1 Kestävä raskas tieliikenne 2035-tiekartan rakenne ja työmenetelmän kuvaus.

Tiekartan teema-alueet on valittu ja painotettu kattamaan keskeisiä kuljetustoimialan kysymyksiä kattaen eri näkökulmat. Kullekin teema-alueelle on yritysten näkökulmasta muodostettu oma visio sekä tulevaisuuden tavoitetilaa valottava tiekarttasisältö. Myös muutosta nykyhetkestä tulevaisuuteen välitavoitteineen on tarvittavilta osin kuvattu.



Kuva 2 Kestävä raskas tieliikenne 2035-tiekartan teema-alueet.

### 3. Teollisen tutkimuksen kokonaisuus

Teollisen tutkimuksen ja toteutettavuustutkimuksen (kappale 4) osuudet on toteutettu läheisessä yhteistyössä Tampereen yliopiston VERNE-tutkimusryhmän kanssa. Tutkimusosuuksien tavoitteena on tuottaa syötteitä ja tukevia tuloksia innovaatioklusterille, analysoida ratkaisuja sekä tuottaa suosituksia kuorma-autojen sähköistämisen edistämiseksi Suomessa. Toteutettavuustutkimuksen osalta oleellista ovat eri käyttötapaukset ja niiden vaatimukset, näitä vastaavat ratkaisut, operoinnin reunaehdot ja teknoekonomia. Kappaleissa 3 ja 4 esitetään VTT:n tutkimuspainotteisen osahankkeen päätuloksia.

#### 3.1 Akkuteknologia

Sähköinen liikenne perustuu vahvasti litiumioniakkuihin niiden korkean energiatihedyn vuoksi. Akkujen rajallinen käyttöikä on edelleen haaste. Tässä osuudessa tutkimushanketta toteutettiin diplomityö (Aalto-yliopisto Muhammad Rehan, 2023), jossa arvioitiin erilaisten Li-ioniakkujen elinikää ja siihen vaikuttavia tekijöitä mallinnuksen kautta erityisesti huomioiden akkujen käyttötapana eli käyttösyklit (lataus- ja purkusyklit ja pitoajat). Käyttösyklit voivat olla joko todellisen käytön dataa tai tuotettu simuloimalla halutun sähköajoneuvon käyttöä oletetulla käyttö- ja ajotavalla. Käyttöiän arvioimiseksi ja optimoimiseksi eri käyttötapauksissa käytetään empiirisiä ikääntymismalleja.

Diplomityössä kehitettiin empiirinen käyttöikämalli kahden eri Li-ioniakutyypin NMC- ja LFP-akkujen kemioille. Malli huomioi sekä kalenteriperusteisen että syklisen kapasiteetin heikkenemisen, ja kokonaisrappeutuminen on näiden summa.

- Kalenterimalli ottaa huomioon lämpötilan, varaustason (SoC) ja ajan aiheuttamat rasiustekijät.
- Syklinen ikääntyminen perustuu viiteen rasiustekijään: lämpötila, purkusyvyys (DoD), keskimääräinen varaustaso (mSoC), sekä lataus- ja purkunopeudet (C-rate).

Malli on parametrisoitu molemmille kemioille laajan, julkaistuun kirjallisuuteen perustuvan testidatan avulla (413 kalenteritestiä ja 650 syklistestiä). Tämä tekee mallista soveltuvan monenlaisiin käyttöolosuhteisiin. Tutkimuksessa verrattiin eri rasiustekijöiden vaikutuksia molempiin kemioihin:

- LFP:n kalenterirapautuminen on vähemmän herkkä SoC-vaihtelulle kuin NMC:n.
- NMC kestää paremmin korkeita säilytyslämpötiloja.
- LFP soveltuu paremmin syvään syklisten käyttöön ja korkeisiin latausnopeuksiin.
- Molempien kemioiden purkunopeuden rappeutuminen on lähes identtistä.
- LFP:n optimaalinen käyttölämpötila on matalampi kuin NMC:n.

Tutkimus sisältää myös tapaustutkimuksen sähköisestä pitkän matkan kuorma-autosta, jossa akun käyttöikää arvioitiin matkalle kahden suomalaisen kaupungin välillä.

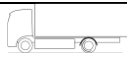

### 3.2 Latausteknologia

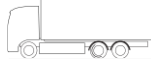
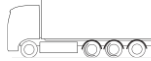




Latauksen teknologioita on analysoitu laajasti, erityisesti SIX HOVEN projektiportfolion hankkeissa ESCALATE ja MACBETH. Työssä on huomioitu mm. megawattilatauksen standardoinnin tilanne, yhteensopivuus, melu ja hukkalämmön hallinta.

### 3.3 Energiankulutus ajoneuvotyypeittäin erityyppisissä ajotehtävissä ja olosuhteissa

Raskaiden ajoneuvojen ja ajoneuvoyhdistelmien energiankulutuksen riippuvuutta ajoneuvon kokonaismassasta, hyötykuormasta sekä ympäristön lämpötilasta tarkasteltiin simuloimalla. Työssä muodostettiin kahdeksan ajoneuvokategoriaa, jotka edustavat tyypillisiä kuljetusyksiköitä Suomen maanteilla kokonaismassaluokissa 8-90 tonnia (Taulukko X). Neljä ajoneuvokategoriaa ovat 2-4 akselisia kuorma-autoja, yksi puoliperävaunuyhdistelmä, kaksi täysperävaunuyhdistelmää ja yksi HCT-yhdistelmä.

Taulukko 1. Ajoneuvokategoriat.

Ajoneuvo-kategoria	Ajoneuvotyyppi	VECTO luokka ja vetotapa	Akseleiden lukumäärä	Kuormatilan pituus (m)
A 8-14 ton		3 4x2	2	7.4
B 14-18 ton		4 4x2	2	7.4

C 18 – 28 ton		9 6x2	3	7.82
D 28 – 33 ton		16 8x4	4	8
E 33 – 45 ton		5 4x2	2+3	13.6
F 45 – 60 ton		9 6x2	3+5	7.82+13.6
G 60 – 76 ton		16 8x4	4+5	7.82+13.6
H 76 – 90 ton		12 6x4	3+3+5	13.6+13.6

Simuloinnin lähtötietoina tarvittavat kuorma-autojen tekniset ominaisuudet (Taulukko X) määritettiin mahdollisimman pitkälle käyttäen kyseiselle ajoneuvokategorialle keskimääräisiä arvoja tai raskaiden hyötyajoneuvojen CO<sub>2</sub>-päästöjen VECTO-työkalulla suoritettavassa sertifiointilaskennassa määritettyjä arvoja (COMMISSION REGULATION (EU) 2017/2400). Vetoautojen alustojen massat perustuvat dieselkaluston raportoitujen sertifiointitulosten monitorointidataan vuosilta 2020-2022 (Monitoring of CO<sub>2</sub> emissions from heavy-duty vehicles - Regulation (EU) 2018/956). Näistä dieselalustojen massoista on vähennetty dieselvoimalinjan oletettu massa ja lisätty sähköisen voimalinjan sekä akkujen massa. Kaikki ajoneuvot ovat umpikorilla varustettuja, ja kuormatilojen massa tulee EU-asetuksesta ajoneuvon VECTO-luokan mukaan. Perävaunujen massoina käytetään sertifiointilaskennassa käytettäviä arvoja puoliperävaunulle sekä dollylle.

Moottoritehon määrittäminen ryhmille A-E monitorointidatan perusteella. Raskaammille ajoneuvokategorioille F-H moottoriteho on arvioitu. Voimansiirrossa oletetaan vaihteiston hyötysuhteeksi 98 % ja vetävien akseleiden hyötysuhteeksi yhdellä vetävällä akselilla 98 % ja kahdella vetävällä akselilla 96 %. Ajovastuksien osalta vierintävastuksena käytetään kaikille ajoneuvoille arvoa 5.5 kN/kN, joka vastaa energiatehokkuusluokkaa C. Vierintävastuksen vertailuarvo on määritetty lämpötilassa 20 °C, ja todellinen vierintävastusarvo saadaan huomioimalla ulkoilman lämpötilan vaikutus, joka on kuvattu vierintävastuksen suhteellisenä muutoksena lämpötilan funktiona. Ilmanvastusarvoina, jota kuvataan muotokertoimen ja poikkipinta-alan tulolla C<sub>d</sub>A, käytetään keskimääräisiä monitorointidatan arvoja ajoneuvokategorioille A-C ja E. Raskaammille yhdistelmille arvot perustuvat mittaukseen yhdellä kyseisen tyyppisellä yhdistelmällä.

Taulukko 2. Simuloinnin lähtötiedot.

Ajoneuvo-kategoria	Moottoriteho (kW)	Vetoauton alustan massa (kg)	Kuormakorin massa (kg)	Perävaunun/-vaunujen massa (kg)	C <sub>d</sub> A (m <sup>2</sup> )
A 8-12 ton	177	3679	1900		5.42
B 14-18 ton	249	4848	2100		5.52

C 18 – 28 ton	324	6360	2200		5.65
D 28 – 33 ton	363	7920	2200		6.5
E 33 – 45 ton	358	5258		7500	6.05
F 45 – 60 ton	400	5831	2200	10000	9.1
G 60 – 76 ton	450	7315	2200	10000	9.1
H 76 – 90 ton	500	6268		17500	13.3

Akkusähkökuorma-autojen energiankulutus arvioitiin VECTO Long haul -ajosyklin perusteella jokaiselle ajoneuvokategorialle, olettaen, että kokonaispaino vastaa ylärajaa. Tämän energiankulutuksen perusteella akku mitoitettiin mahdollistamaan 4,5 tunnin yhtäjaksoinen ajo. Lisäksi oletettiin, että 20 % varaustila on jäljellä 4,5 tunnin ajon jälkeen. Energiankulutus ja vaaditut akkukapasiteetit on esitetty Taulukko 1

Taulukko 1 Akkusähkökuorma-autojen energiankulutukset ja akkukapasiteetit VECTO long haul-syklillä.

Ajoneuvo-kategoria	Vecto long haul energiankulutus (kWh/km)	Akkukapasiteetti (kWh)	Akun paino (kg)	Maksimi hyötykuorma(kg)	Maksimi hyötykuorma sähkö vs. diesel (%)
A	0.82	349	1747	6674	92.8
B	0.91	390	1952	9100	97.6
C	1.13	482	2410	17030	99.1
D	1.33	570	2850	20030	98.4
E	1.48	634	3168	29073	97.7
F	2.05	874	4371	37598	95.9
G	2.43	1038	5188	51297	96.1
H	3.09	1320	6598	59634	95.0

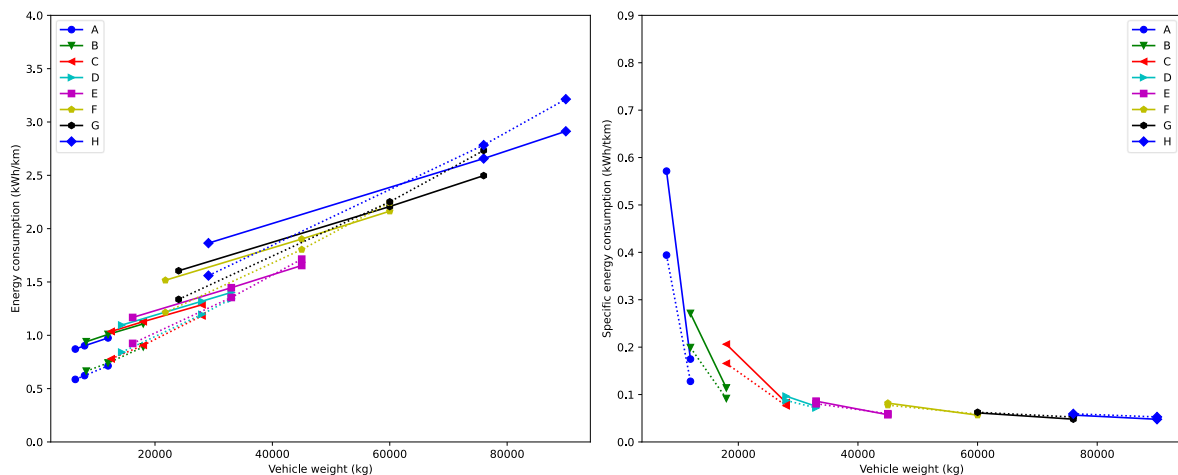
Akun paino oletettiin olevan 5 kg/kWh, ja kunkin kuorma-autoluokan suurin sallittu hyötykuorma laskettiin suurimman kokonaispainon ja omapainon perusteella. Suurimmilla kuorma-autoilla suurin hyötykuorma on jopa 96 % vastaavan dieselkuorma-auton hyötykuormasta, ja keskikokoisilla autoilla hyötykuorma on lähes sama kuin dieselautoilla. Pienimmillä kuorma-autoilla hyötykuorma on kuitenkin yli 7 % pienempi kuin perinteisillä dieselkuorma-autoilla.

Pienimmän kuorma-auton energiankulutus VECTO Long haul -ajosyklillä on 0.82 kWh/km, ja vaadittu akkukapasiteetti on 349 kWh. VECTO Long haul -ajosykli ei

välttämättä ole kovin edustava tälle kuorma-autoluokalle, koska tämän kokoisia kuorma-autoja käytetään pääasiassa lyhyempiin matkoihin. Siksi vaihteoiset akkukapasiteetit laskettiin VECTO Urban delivery -ajosyklin perusteella (Taulukko 2). Tällä ajosyklillä pienempien kuorma-autojen energiankulutus on lähes 21 % pienempi kuin VECTO Long haul -ajosyklillä, mikä johtaa huomattavasti pienempiin akkutarpeisiin. Vaihteoiset akkukapasiteetit ja painot on esitetty taulukossa X. Suurin mahdollinen hyötykuorma ylittää tässä tapauksessa diesel-autojen hyötykuormaa kaikissa kategorioissa.

Taulukko 2 Akkusähkökuorma-autojen energiankulutukset ja akkukapasiteetit urban delivery syklillä.

Ajoneuvo-kategoria	Vecto urban delivery energiankulutus (kWh/km)	Akkukapasiteetti (kWh)	Akun paino (kg)	Maksimi hyötykuorma(kg)	Maksimi hyötykuorma sähkö vs. diesel (%)
A	0.65	110	549	7872	109.5
B	0.75	127	637	10416	111.8
C	1.04	175	876	18564	108.0
D	1.27	214	1071	21808	107.2
E	1.56	263	1313	30929	104.0
F	2.13	360	1801	40168	102.5
G	2.75	464	2321	54164	101.5
H	3.37	568	2842	63390	101.0



Kuva 3 Akkusähkökuorma-autojen energiankulutukset VECTO long haul- ja VECTO urban delivery ajosyklillä.

Kuva 3 esitetään energiankulutukset kuorman funktiona sekä VECTO Long haul-ajosyklillä että VECTO Urban delivery-ajosyklillä. Simulaatitulos osoittavat, että energiankulutus kasvaa lineaarisesti kuorman kasvaessa. Pienemmällä kuorma-autoilla

energiankulutus on huomattavasti alhaisempi kaupunkijakelussa verrattuna pitkän matkan ajoon. Suurimmilla kuorma-autoilla energiankulutus sen sijaan kasvaa kaupunkijakelussa johtuen toistuvista jarrutuksista. Isolla kuormalla moottorin jarrutusteho ei riitä, vaan tarvitaan myös mekaanisia jarruja, jolloin regeneroidun energian määrä vähenee.

Lisäksi simulaatiot osoittavat, että ajoneuvon koko ja ajovastukset vaikuttavat merkittävästi energiankulutukseen. Pienemmällä kuorma-autoilla ilmanvastus muodostaa suurimman osan energiankulutuksesta pitkän matkan ajossa, kun taas suuremmilla kuorma-autoilla vierintävastus on merkittävämpi tekijä.

Kaupunkijakelussa ilmanvastuksen vaikutus on pienempi kaikilla kuorma-autoluokilla, koska ajonopeudet ovat yleensä alhaisempia.

Lämpötilan vaikutus energiankulutukseen on merkittävä. VECTO-syklien lisäksi tehtiin simuloituja Jyväskylä – Vuosaari reitillä hyödyntäen Suomen oloissa tyypillisiä sääolosuhteita. Nämä simulaatiot osoittavat, että energiankulutus voi kasvaa jopa 40 % siirryttäessä +30 °C:sta -30 °C:seen. Kasvu johtuu pääosin ajovastuksista, kylmällä säällä ilma on tiheämpää mikä kasvattaa ilmanvastusta, ja myös vierintävastus kasvaa, kun renkaiden lämpötila laskee. Ilmanpaineen vaikutus on vähäisempi, mutta sekin otettiin huomioon simulaatioissa.

Polttokennosähköajoneuvojen osalta polttokennon ja akun mitoitus on monimutkaisempaa kuin akkusähköajoneuvojen. Polttokennon teho mitoitettiin vastaamaan ajoneuvon maksimikuormitusta, ja akun kapasiteetti mitoitettiin kattamaan tehopiikit. Vetytankit mitoitettiin 9 tunnin yhtäjaksoiseen ajoon VECTO Long haul-ajosityklillä. Polttokennosähköautojen energiankulutukset ja sekä polttokenno- ja akkumitoitukset on esitetty Taulukko 3. Polttokennosähköajoneuvojen energiankulutus on suurempi kuin akkusähköajoneuvojen, mutta vedyn suuren energiatiheiden takia, hyötykuorma on samalla tasolla kuin dieselkuorma-autoilla.

Taulukko 3 Polttokennosähköautojen energiankulutukset sekä polttokennon ja anergianvarastojen mitoitukset.

Ajoneuvo-kategoria	Vecto long haul keskiteho (kW)	FC teho (kW)	Akku-kapasiteetti (kWh)	H2 tankki (kg)	Akun, polttokennon ja vetytankkien paino (kg)	Maksimi hyötykuorma (kg)	Maksimi hyötykuorma FCEV vs. diesel (%)
A	62	120	18.5	35	1250	7171	100
B	69	144	31.0	38	1548	9504	102
C	85	164	44.9	47	1943	17497	102
D	101	193	48.5	56	2237	20642	101
E	111	258	34.4	61	2387	29855	100

F	151	328	30.3	85	3008	38961	99
G	178	406	26.7	101	3517	52968	99
H	224	487	22.6	130	4257	61975	99

## 4. Sähkökuorma-autojen toteutettavuus

### 4.1 Datankeruu pilottiajoneuvoista ja analyysit

SIX HOVE -projektin puitteissa kerättiin dataa kolmesta sähkökäyttöisestä kuorma-autosta; kahdesta kuorma-autosta, jotka olivat käytössä Postin paikallisjakelussa Tampereella, sekä yhdestä sellupaaleja Äänekosken teollisuusalueella rahtaavasta KWH Logistics:n rekka-autosta. Kaikki seuratut autot ovat niin kutsuttuja konversiosähköautoja, eli niiden voimalinja on muutettu aiemmasta dieselkäyttöisistä täyssähköisiksi. Kotimainen konversiohyötyajoneuvoin erikoistunut Etrucks Oy on suorittanut jokaisen auton konversion dieselajoneuvosta akkusähkökäyttöiseksi.

VTT, yhteistyössä Keulinkin ja Etrucksin kanssa, asensi pilvipohjaisen datankeruujärjestelmän edellä mainittuihin sähköisiin kuorma-autoihin sekä käsitteli ja analysoi datan. Data-analyysin tavoitteina oli muodostaa yleiskuva ajoneuvojen käyttötapauksista, arvioida niiden soveltuvuutta käyttötapauksiin sekä parantaa käsitystä ajoneuvojen teknisestä suorituskyvystä. Työhön kuului säännölliset kokoukset asianomaisten SIX HOVE -partnereiden kanssa, jossa VTT esitteli data-analyysin tuloksia. Kokouksia järjestettiin pitkin projektin kulkua, työn ja datankeruun edistyksen mukaan.

Pilottiajoneuvojen lisäksi esitellään aiempia tuloksia Maailman hiljaisin jäteauto - projektista, jossa kerättiin dataa HSY:n sähkökäyttöisestä jätteenkeräysautosta (HSY 2023). Myös HSY:n auto on konversiosähköauto, mutta aiemmin esitellyistä autoista poiketen konversion on suorittanut alankomaalainen EMOSS.

#### *4.1.1 Postin paikallisjakelun sähkökuorma-autot*

Kahta Postin paikallisjakelun sähkökuorma-autoa seurattiin SIX HOVE -projektin aikana. Analyysissä datasta on poistettu ajopäivät, jolloin ajomatka on ollut alle 5 km, koska niiden on voitu olettaa poikkeavan selvästi normaalista käytöstä.

Ensimmäisen jakeluauton (Etrucks 1 24, ks. Kuva 4) seuranta alkoi 1.4.2024 ja viimeisin analyysi sille suoritettiin datalle, joka oli kerätty 1.4.2024 – 11.8.2025 välisenä aikana. Etrucks 1 24 on kokonaismassaltaan 15-tonninen sähkökuorma-auto, jonka akuston energiakapasiteetti on 150 kWh, moottorin nimellisteho 150 kW ja latausteho 150 kW. Ajoneuvo on yksivaihteinen.

Toisen jakeluauton (Etrucks 2 25, ks. Kuva 5) seuranta alkoi 3.1.2025 ja analyysi suoritettiin aikavälille 3.1.2025 – 11.8.2025. Etrucks 2 25 vastaa teknisiltä ominaisuuksiltaan Etrucks 1 24:sta, ollen myös kokonaismassaltaan 15-tonninen samanlaisella voimalinjalla. Ainoastaan ajoakku on Etrucks 2 25:ssä erilainen, sillä siinä on nimellistä energiakapasiteettia 200 kWh.



#### Etrucks 1 24

- Kokonaismassa: 15t
- Akusto: 150 kWh
- Moottorin teho: 150 kW (nimellinen)
- Latausteho: max 150 kW (DC), rajoitettu 80 kW
- 1-vaihteinen

Kuva 4. Postin paikallisjakelun ensimmäinen SIX HOVE:ssa seurattu sähkökuorma-auto (Etrucks 1 24).



#### Etrucks 2 25

- Kokonaismassa: 15t
- Akusto: 200 kWh
- Moottorin teho: 150 kW (nimellinen)
- Latausteho: max 150 kW (DC)
- 1-vaihteinen

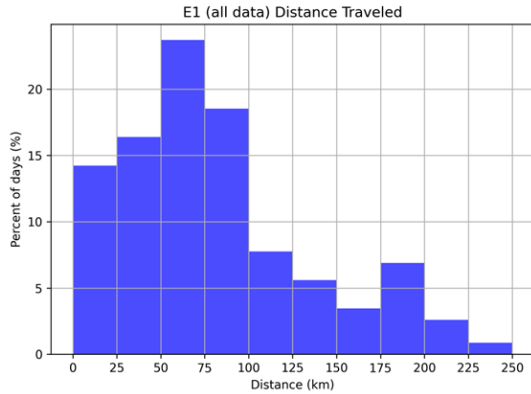
Kuva 5. Postin paikallisjakelun toinen SIX HOVE:ssa seurattu sähkökuorma-auto (Etrucks 2 25).

#### 4.1.1.1 Datankeruun tulokset Postin paikallisjakelun kuorma-autoille

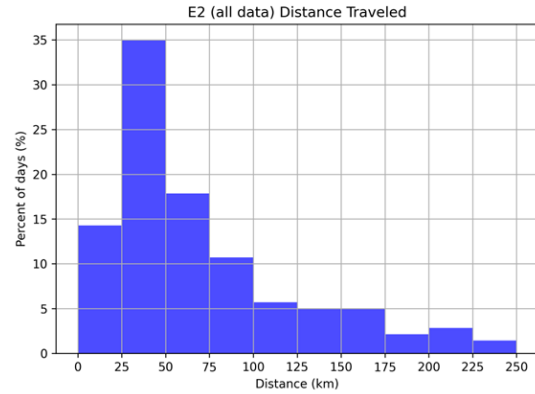
Kuva 6 esittää Postin paikallisjakelun kuorma-autojen päivittäisten ajosuoritteiden jakauman. Molempien ajoneuvojen päiväsuoritteet painottuvat alle 100 kilometriin. Noin kolme neljäsosaa Etrucks 1 24:n päivittäisistä ajomatkoista oli alle 100 km, reilu 10 %:a ajoista oli kuitenkin jopa yli 150 km. Etrucks 2 25:n päivittäiset ajomatkat olivat

vielä matalammat, vain noin 20 %:a ajoista oli yli 100 km. Yli kolmannes ajoista asettui 25 km ja 50 km välille.

### Etrucks 1 24



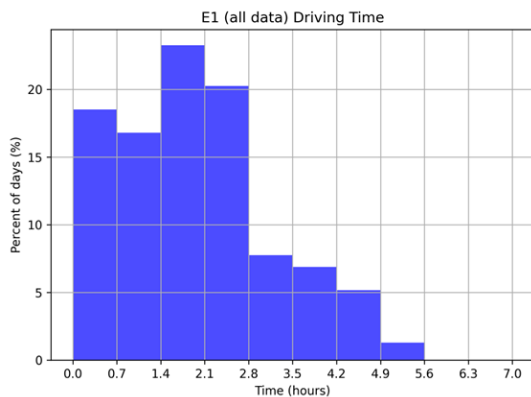
### Etrucks 2 25



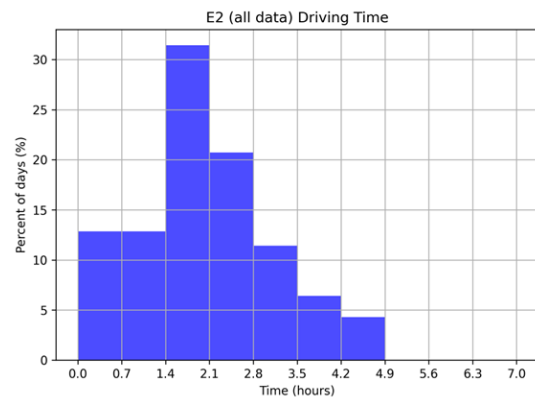
Kuva 6. Päivittäiset ajomatkat Postin paikallisjakelun autoille.

Päivittäisten ajoaikojen tilastollinen tarkastelu (Kuva 7) osoittaa, että molemmat ajoneuvot ovat olleet paljon pysähdyksissä ajopäivien aikana. Ajoaika tässä yhteydessä tarkoittaa aikaa, jonka aikana ajoneuvo on ollut liikkeessä. Toisin sanoen pysähdykset, kuten liikennöintiin tai liikenteeseen liittyvät pysähdykset, eivät kuulu tässä esitettyihin lukuihin. Molemmat ajoneuvot ovat toimineet pääasiassa paikallisjakelussa Tampereen seudulla, minkä vuoksi ajopäivään on kuulunut lukuisia pysähdyksiä tavarantoiminnan purun ja lastaamisen vuoksi.

### Etrucks 1 24



### Etrucks 2 25

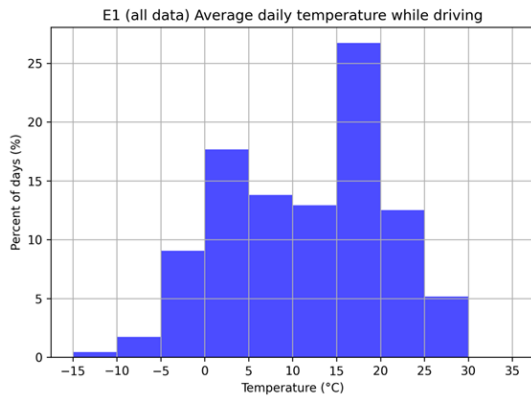


Kuva 7. Päivittäiset ajoajat Postin paikallisjakelun autoille.

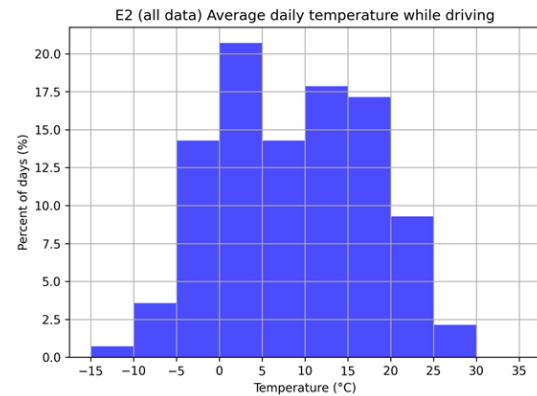
Ajopäivien ajonaikaiset keskimääräiset ulkolämpötilat (Kuva 8) osoittavat, että ajoneuvoilla on ajettu kattavasti monenlaisissa olosuhteissa. Vaikka vuosien 2024–2025 välinen talvi oli verrattain lauha, yksittäisiä hyvin kylmiäkin päiviä on seuranta-ajalle mahtunut, jolloin keskimääräinen ulkolämpötila autojen toiminta-aikana on ollut

alle -10 °C. Ulkolämpötiladata on noudettu Ilmatieteenlaitoksen avoimesta säädatarajapinnasta.

## Etrucks 1 24



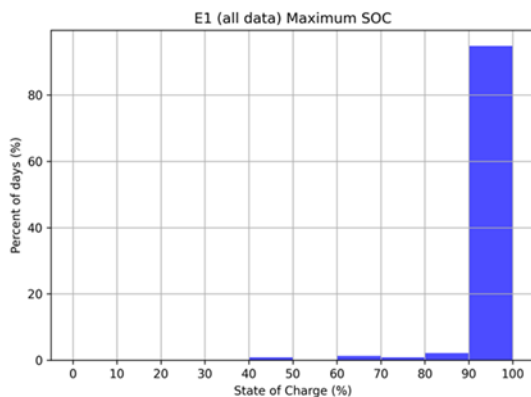
## Etrucks 2 25



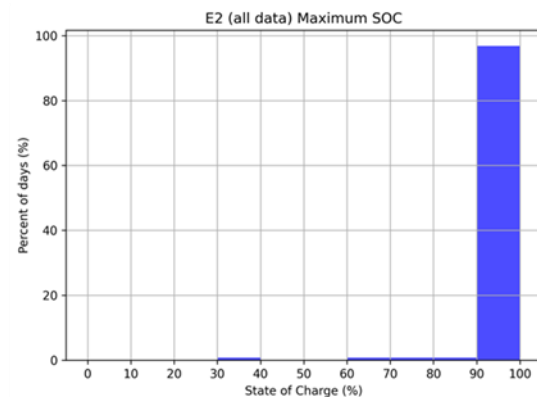
Kuva 8. Päivittäiset ajonaikaiset keskilämpötilat Postin paikallisjakelun autoille.

Kuva 9 esittää päivän aikana korkeimman mitatun akun varaustilan (SOC) arvot. Molemmat autot ovat käytännössä aina ladattu täyteen jossakin vaiheessa ajopäivää. Harvoja, todennäköisesti testipäiviin liittyviä, poikkeuksia havaittiin datassa.

## Etrucks 1 24



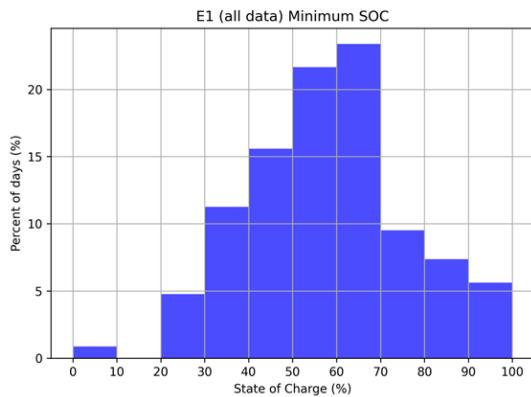
## Etrucks 2 25



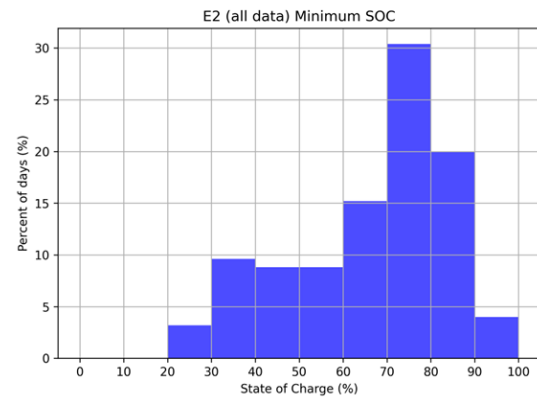
Kuva 9. Päivän aikana korkein mitattu akun varaustila Postin paikallisjakelun autoille.

Kuva 10 esittää päivän aikana matalimman mitatun akun varaustilan arvot. Käytännössä yhtenäkkään ajopäivänä ajoakun varaustila ei ole laskenut alle 20 %:n. Molempien ajoneuvojen tapauksessa varaustila on pääsääntöisesti ollut yli 40 %:a. Toisin sanoen, akun varaustilaa on jäänyt reilusti käyttämättä, erityisesti Etrucks 2 25:n tapauksessa. Muutamia mahdollisesti testipäiviin liittyviä poikkeuksia havaittiin datassa.

## Etrucks 1 24



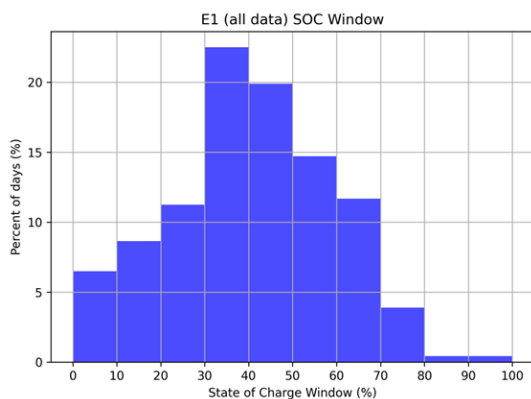
## Etrucks 2 25



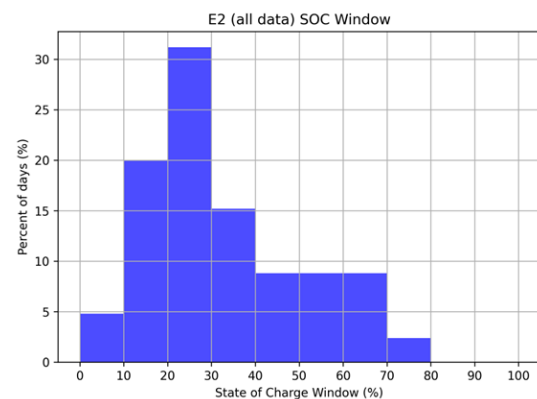
Kuva 10. Päivän aikana matalin mitattu akun varaustila Postin paikallisjakelun autoille.

Kuva 11 esittää varaustilan vaihteluvälin ajopäivien aikana. Kun vaihteluväli lähestyy 100 %:a, se tarkoittaa, että ajoakun koko teoreettinen kapasiteetti on ollut käytössä. Välilatauksilla ajopäivän aikana pystytään pienentämään varaustilan vaihteluväliä. Kuten matalin mitattu SOC, myös tämä data osoittaa, että ajoneuvoissa on ollut riittävästi suorituskykyä akun kapasiteetin osalta.

## Etrucks 1 24



## Etrucks 2 25

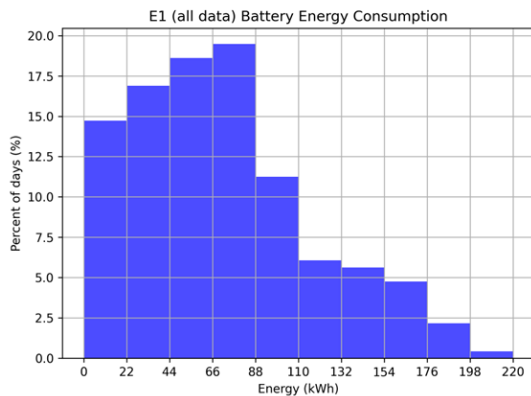


Kuva 11. Päivittäinen varaustilan vaihteluväli mitattu Postin paikallisjakelun autoille.

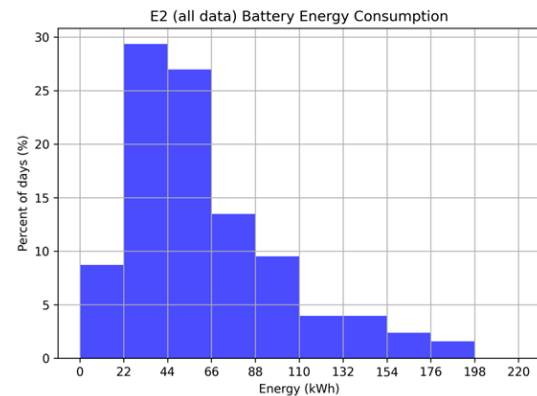
Kuva 12 esittää akkuenergian kokonaiskulutuksen ajopäivien aikana. Etrucks 1 24:n tapauksessa noin 70 %:ssa ajopäivistä on selvitty alle 88 kWh akkuenergian kokonaiskulutuksella, eli 70 %:a ajopäivistä olisi selvitty reilusti matalammalla akun kapasiteetilla. Toisaalta noin 8 %:a ajopäivistä ylitti ajoneuvon nimellisen akkukapasiteetin, 150 kWh. Välilatausten avulla ajoneuvoista on päivän aikana otettavissa enemmän energiaa kuin nimellisen akkukapasiteetin verran. Vastaavasti Etrucks 2 25:n ajopäivistä 88 %:a johti alle 88 kWh akkuenergiankulutukseen. Tämän auton kohdalla yhtenäkin päivänä ei akustosta otettu koko kapasiteetin (200 kWh)

edestä energiaa. Molempien ajoneuvojen kohdalla analyysi osoittaa, että akkukapasiteetti on ollut riittävä, vaikkakin Etrucks 1 24:n tapauksessa oli tilanteita, jolloin käytönaikainen lataaminen on ollut tarpeen. Huomionarvoista kuitenkin on, että ajoakkujen ikääntyessä, niiden energianvarastointikyky heikkenee, jolloin myös Etrucks 2 25 ei välttämättä pysty suoriutumaan tämän analyysin aikana seuratuista tehtävistään ilman välilatausta.

## Etrucks 1 24



## Etrucks 2 25

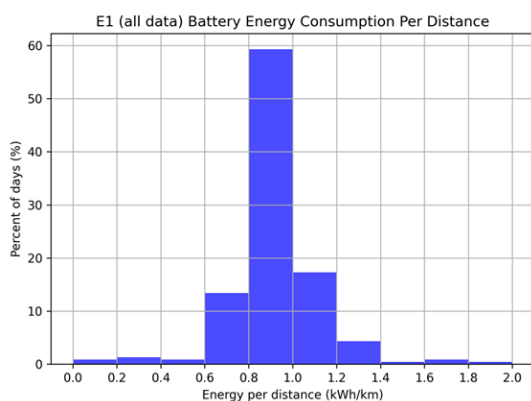


Kuva 12. Päivittäinen akkuenergian kokonaiskulutus Postin paikallisjakelun autoille.

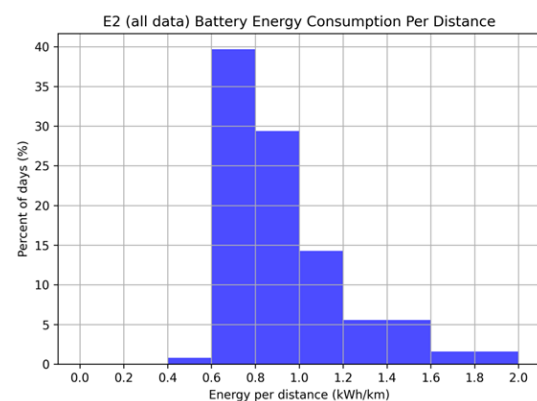
Kuva 13 esittää akkuenergian kilometrikohtaisen kulutuksen ajopäivien aikana. Etrucks 1 24:n kulutukset käytännössä asettuivat 0,6 ja 1,4 kWh/km välille, kun Etrucks 2 25:n energiankulutuksissa oli suurempaa hajontaa. Energiankulutuksen painotus kuitenkin Etrucks 2 25:n tapauksessa osuu hieman matalampiin lukuihin kuin Etrucks 1 24:lla.

Kilometrikohtainen akkuenergian kulutus riippuu suuresti ajotyylisestä, ajonopeudesta, olosuhteista sekä muista ajoon vaikuttavista tekijöistä. Koska ajoneuvoja on ajettu eri reiteillä eri kuljettajien toimesta, ei tuloksista voida tehdä johtopäätöksiä ajoneuvojen välisestä energiatehokkuudesta.

## Etrucks 1 24



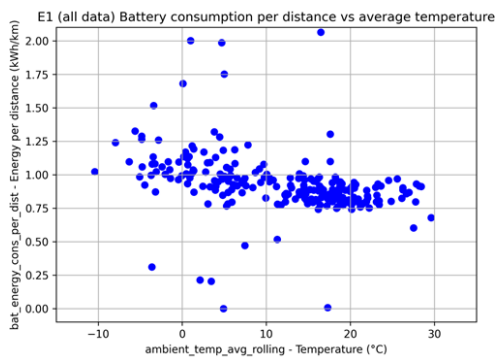
## Etrucks 2 25



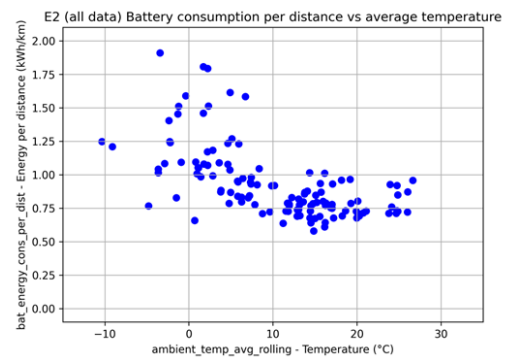
Kuva 13. Päivittäinen akkuenergian kilometrikohtainen kulutus Postin paikallisjakelun autoille.

Kuva 14:ssä kilometrikohtainen energiankulutus on suhteutettuna ulkolämpötilaan. Molempien ajoneuvojen tapauksessa on havaittavissa energiankulutuksen kasvun trendi ulkolämpötilojen laskiessa. Etrucks 1 24:lla energiankulutus kasvoi noin kolmanneksen, kun verrataan energiankulutusten keskiarvoa optimiulkolämpötilassa (18 °C) kylmän olosuhteiden (-5 °C) energiankulutuksen keskiarvoon. Etrucks 2 25:lla puolestaan on havaittavissa huomattavasti enemmän hajontaa varsinkin kylmissä olosuhteissa, minkä vuoksi vastaavan numeerisen yleistyksen tekeminen ei ole mielekästä mitatun datan perusteella.

### Etrucks 1 24



### Etrucks 2 25



Kuva 14. Päivittäinen akkuenergian kilometrikohtainen kulutus eri ulkolämpötiloissa Postin paikallisjakelun autoille.

#### 4.1.1.2 Datankeruun johtopäätökset Postin paikallisjakelun kuorma-autoille

Molemmat SIX HOVE -projektissa seuratuista Postin sähkökuorma-autoista olivat käytössä paikallisjakelussa Tampereen seudulla. Molemmat ajoneuvot ovat olleet samantyyppisessä käytössä, minkä suurpiirtein samansuuruiset päivittäiset ajomatkat ja ajoajat osoittavat. Ajopäiviin on kuulunut useita pysähdyksiä kuten paikallisjakelussa on oletettavaa. Saapuessaan toimituskohteisiin, ajoneuvot pysähtyvät useiksi minuuteiksi kerrallaan. Sähköinen voimalinja soveltuu hyvin tämän tyyppiseen käyttöön, sillä se pystyy ottamaan jarrutusenergiaa talteen hidastuksissa eikä sähkömoottori käy jouten auton ollessa paikoillaan. Toisaalta ajoneuvon apulaitteet, kuten lämmitys- ja jäähdytyslaitteet, voivat olla aktiivisia ja kuluttaa energiaa myös pysähdysten aikana.

Etrucks 1 24:n voimalinjan mitoitus (erityisesti akun kapasiteetin osalta) on ollut ylätason analyysin perusteella riittävä mittausten aikaiseen toimintaan. Akuston kapasiteetti on riittänyt toimintaan ja ajoneuvo on suoriutunut sille osoitetuista ajotehtävistä. Akuston varaus tila ei ole laskenut alle 20 %:n 99 %:ssa ajopäivistä. Toisaalta noin 8 %:ssa ajopäivistä Etrucks 1 24 on vaatinut käytönaikaista lataamista varmistaakseen energian riittävyyden.

Myös Etrucks 2 25:n voimalinjan mitoitus on ollut riittävää sen toimintaan nähden. Etrucks 2 25:n akuston on noin kolmanneksen suurempi kuin Etrucks 1 24:llä. Etrucks 2 25:n tapauksessa kaikkien mitattujen ajopäivien kokonaisenergiankulutus oli

alhaisempi kuin ajoneuvon nimellinen akkukapasiteetti, mikä tarkoittaa, että se olisi teoriassa selvinnyt ajoista ilman välilatausta. Toisaalta noin 2 %:ssa ajopäivistä kokonaisenergiankulutus on ollut niin korkea, että välilataus on toiminnan varmistamisen vuoksi ollut todennäköisesti tarpeen. Etrucks 2 25 soveltuisi energiankulutusanalyysin perusteella kaksivuorotyöhön, sillä ajopäivistä 88 %:ssa energiankulutus oli alle 50 %:a ajoneuvon nimelliskapasiteetista. Tämän lisäksi työvuorojen tai ruokailuaikojen aikana suoritettavalla korkeatehoisella välilatauksella toiminnan varmuutta energianäkökulmasta voitaisiin parantaa entisestään myös kaksivuoroliikennöinnissä.

#### 4.1.2 KWH Logistics:n rekka-auto

KWH Logistics:n akkusähköistä rekka-autoa (Kuva 15) seurattiin vastaavalla menetelmällä kuin aiemmin mainittuja kahta Postin paikallisjakelun sähkökuorma-autoa. Datankeruulaitteisto asennettiin KWH Logistics:n rekka-autoon 29.4.2024 ja viimeisin analyysi suoritettiin aikavälin 29.4.2024 – 17.9.2025 kerätyn datan perusteella. Tosin, datakatkoksen vuoksi päivämäärät 17.8.2024 – 15.11.2024 välillä jätettiin pois analyysistä. Lisäksi analyysissä datasta on poistettu ajopäivät, jolloin ajomatka on ollut alle 1 km, sillä sitä lyhyempien ajosuoritteiden on tulkittu poikkeavan tavallisista ajopäivistä.

Mitattua rekka-autoa käytettiin raskaan materiaalin siirtoihin suljetulla teollisuusalueella. Työnkuvaa määrittävät lyhyet siirtymät korkeilla kuormilla, paluumatkat ilman kuormaa sekä kuorman lastaamisen odottelu. Ajoneuvon akuston nimellinen kapasiteetti on 190 kWh, moottorin nimellisteho 365 kW, latausteho 180 kW ja ajoneuvossa on kuusivaihteinen vaihdelaatikko.

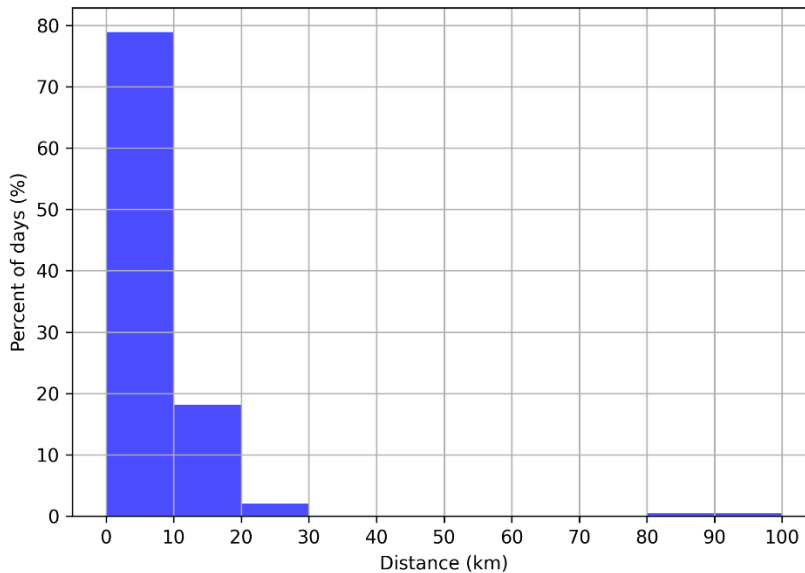


- KWH Logistics:n sähkörekka-auto**
- Akusto: 190 kWh
  - Moottorin teho: 365 kW (nimellinen)
  - Latausteho: 180 kW
  - 6-vaihteinen vaihteisto

Kuva 15. KWH Logistics:n sähkörekan tietoja.

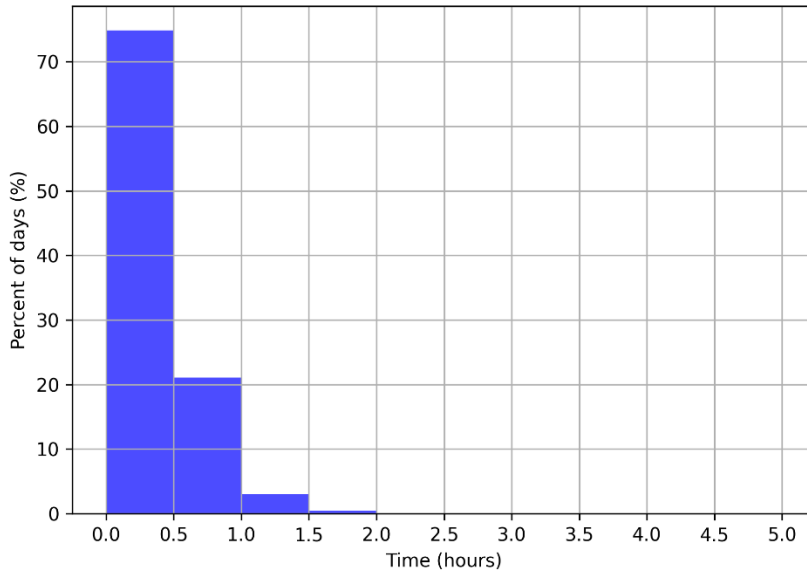
#### 4.1.2.1 Datankeruun tulokset KWH Logistics:n rekka-autolle

Kuva 16 esittää KWH Logistics:n rekka-auton päivittäisten ajosuoritteiden jakauman. Ajopäivien ajomatkat ovat olleet matalia, keskimäärin ajoneuvolla ajettiin 8,7 kilometriä päivässä. Suurimmassa osassa ajopäiviä (noin 80 %:ssa) ajomatka oli alle 10 kilometriä.



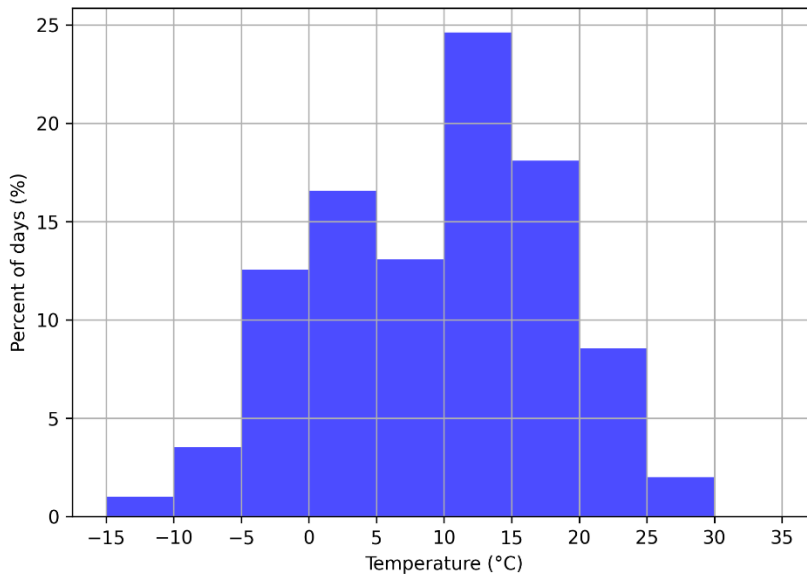
Kuva 16. Päivittäiset ajomatkat KWH Logisticsin rekka-autolle.

Kuva 17:ssä on esitelty päivittäiset ajoajat KWH Logistics:n rekka-autolle. Ajoaika tässä yhteydessä tarkoittaa aikaa, jolloin ajoneuvo on ollut liikkeessä. Toisin sanoen pysähtykset, kuten liikennöintiin tai liikenteeseen liittyvät pysähtykset, eivät kuulu tässä esitettyihin lukuihin. Jakaumasta nähdään, että KWH Logistics:n rekka-auton varsinainen ajoaika on ollut vähäistä ja auto on seissyt paljon päivien aikana. Siten voidaan todeta, että ajoneuvolla voisi sen käyttöprofiilin puolesta olla potentiaalia käytönaikaiseen välilataukseen, jolloin matalan kapasiteetin ajoakku voisi mahdollisesti toimia tässä tapauksessa.



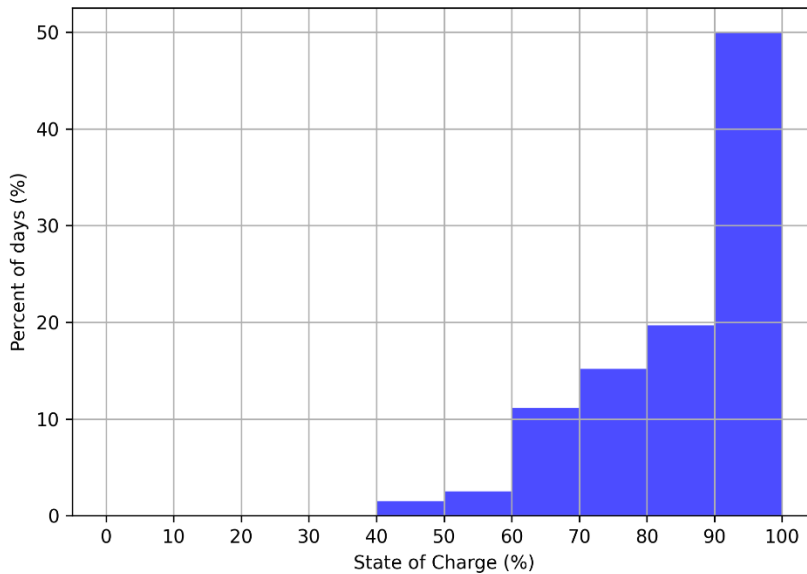
Kuva 17. Päivittäiset ajoajat KWH Logisticsin rekka-autolle.

Ajopäivien ajonaikaiset keskimääräiset ulkolämpötilat (Kuva 18) osoittavat, että ajoneuvoilla on ajettu kattavasti monenlaisissa olosuhteissa. Yksittäisiä hyvin kylmiäkin päiviä on seuranta-ajalle mahtunut, jolloin keskimääräinen ulkolämpötila toiminta-aikana on ollut alle  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ulkolämpötiladata on noudettu Ilmatieteenlaitoksen avoimesta säädätan rajapinnasta.



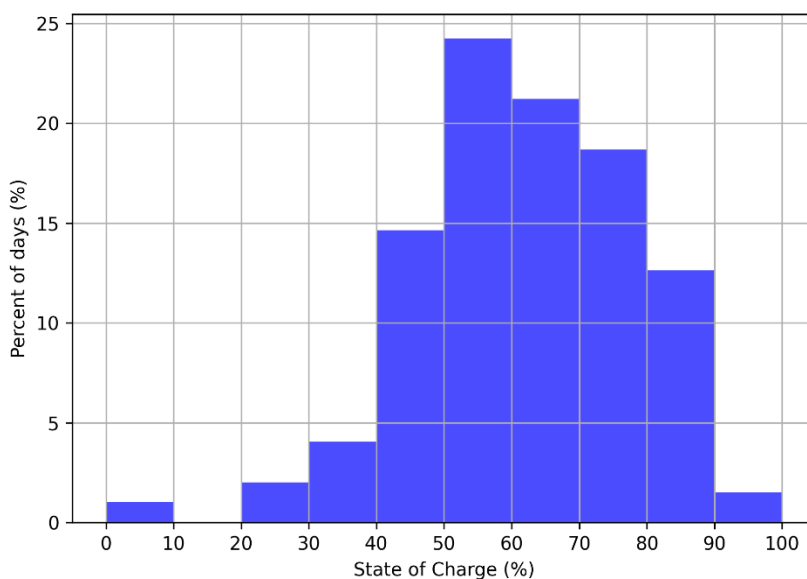
Kuva 18. Päivittäiset ajonaikaiset keskilämpötilat KWH Logisticsin rekka-autolle.

Kuva 19 esittää päivän aikana korkeimman mitatun akun varaustilan arvot. Autoa on pääsääntöisesti ladattu täyteen, noin 50 %:ssa ajopäivistä ajoneuvon SOC on ollut yli 90 %:a. Kuitenkin noin 45 %:ssa ajopäivistä ajoakkuun on varattu maksimissaan 60–90 %:a varausta.



Kuva 19. Päivän aikana korkein mitattu akun varaustila KWH Logisticsin rekka-autolle.

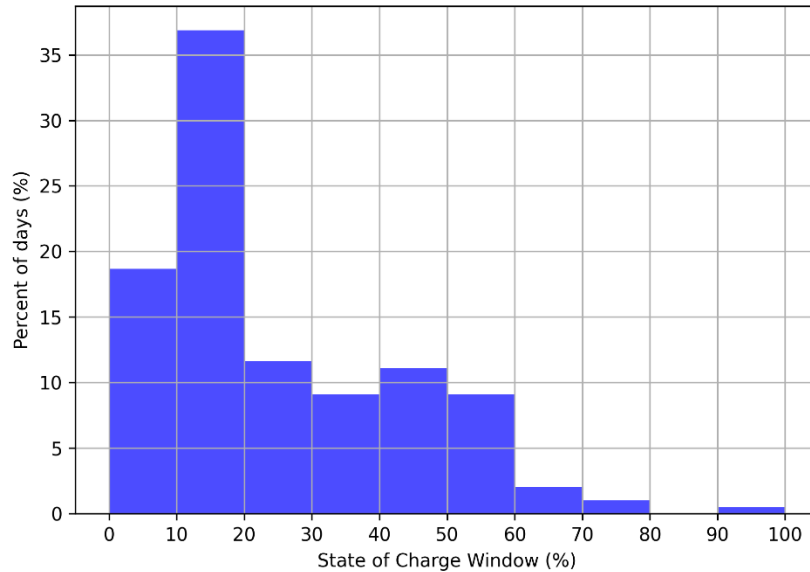
Kuva 20 esittää päivän aikana matalimman mitatun akun varaustilan arvot. Valtaosassa ajopäiviä akun varaustila on pysynyt yli 40 %:n. Muutamia mahdollisesti testipäiviin liittyviä poikkeuksia havaittiin datassa.



Kuva 20. Päivän aikana matalin mitattu akun varaustila KWH Logisticsin rekka-autolle.

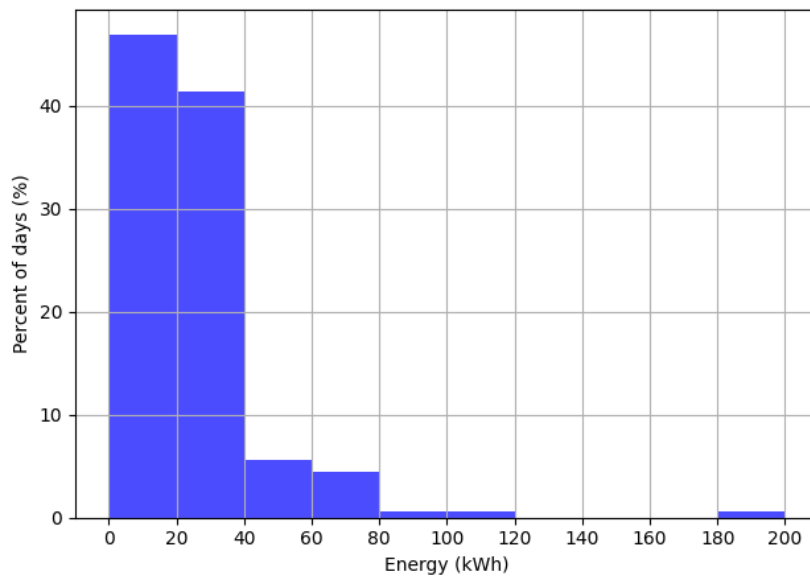
Kuva 21 esittää KWH Logisticsin rekka-auton ajoakun varaustilan vaihteluvälin ajopäivien aikana. Kun vaihteluväli lähestyy 100 %:ia, se tarkoittaa, että akun koko teoreettinen kapasiteetti on ollut käytössä. Välilatauksilla ajopäivän aikana pystytään pienentämään varaustilan vaihteluväliä. Yli 90 %:ssa ajopäivistä ajoakusta on käytetty alle 60 %:a, ja suurin painotus osuu 10–20 %:n vaihteluväliin (40 %:a ajopäivistä). Kuten

matalin mitattu SOC, myös tämä data osoittaa, että ajoneuvoissa on valtaosassa ajopäivä ollut riittävästi suorituskykyä akun kapasiteetin osalta.



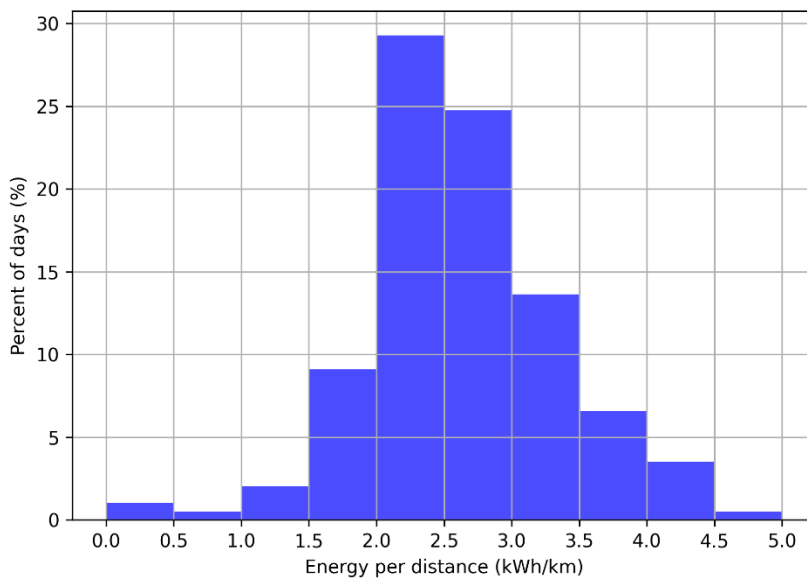
Kuva 21. Päivittäinen varaustilan vaihteluväli KWH Logisticsin rekka-autolle.

Kuva 22 esittää KWH Logisticsin rekka-auton akkuenergian kokonaiskulutuksen ajopäivien aikana. Lähes kaikkina ajopäivinä (noin 90 %:ssa) kokonaisakkuenergiankulutus on ollut alle 40 kWh. Vaikka hyötykuormat ovat olleet suuria, ajomatkojen ovat olleet matalia, joten kokonaisakkuenergian tarve on jäänyt suhteellisen matalaksi. Ajoneuvon akkukapasiteetti on riittänyt hyvin toimintaan. Mahdollisesti myös pienempikapasiteetisella ajoakulla olisi pystytty suoriutumaan samoista työtehtävistä.



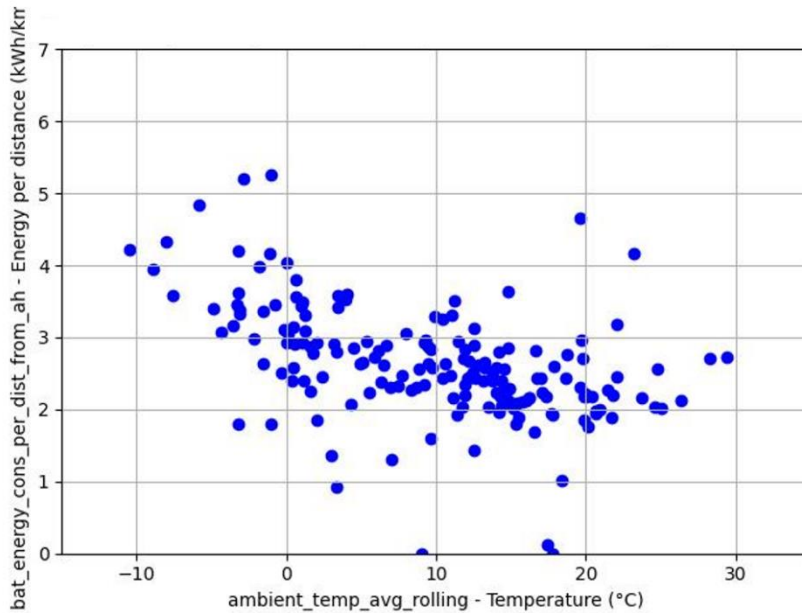
Kuva 22. Päivittäinen akkuenergian kokonaiskulutus KWH Logisticsin rekka-autolle.

Kuva 23 esittää akkuenergian kilometrikohtaisen kulutuksen ajopäivien aikana. KWH Logisticsin rekka-auton kulutuksissa oli laajaa vaihtelua, suurin osa mitatuista kulutuksista asettui 1,5 ja 4,5 kWh/km välille, mikä on huomattavasti suurempaa suuruudeltaan ja vaihteluväliltään kuin Postin autoista mitattu kulutus. KWH Logisticsin rekka-autoa käytettiin hyvin erilaisessa toimintaympäristössä, mikä selittää suuret vaihtelut kulutuksessa. Ensinnäkin, rekka-auton keskinopeus on ollut hyvin matalaa, minkä vuoksi vierintävastuksen osuus kuljettua matkaa kohden kasvaa. Toiseksi, kuorma-auto kuljetti huomattavasti suurempaa hyötykuormaa, jolla on merkittävä vaikutus ajovastuksiin ja siten energiankulutukseen.



Kuva 23. Päivittäinen akkuenergian kilometrikohtainen kulutus KWH Logisticsin rekka-autolle.

Toinen merkittävä energiankulutukseen vaikuttava tekijä on ulkolämpötila ja siihen liittyvät keliolosuhteet (esim. lumi ja loska kasvattavat ajovastuksia merkittävästi). Kuva 24:ssä KWH Logistics:n sähkörekan kilometrikohtainen energiankulutus on suhteutettuna ulkolämpötilaan. Selvä energiankulutuksen kasvutrendi on havaittavissa ulkolämpötilojen laskiessa huolimatta siitä, että varsinkin kylmissä olosuhteissa datan hajonta on suurempaa ja havaintopisteiden määrä on pienempi. KWH Logistics:n sähkörekan energiankulutus kasvoi lähes kaksi kolmannesta, kun verrataan energiankulutusten keskiarvoa optimiulkolämpötilassa (18 °C) kylmän olosuhteiden (-5 °C) energiankulutuksen keskiarvoon.



Kuva 24. Päivittäinen akkuenergian kilometrikohtainen kulutus eri ulkolämpötiloissa KWH Logisticsin rekka-autolle.

#### 4.1.2.2 Datankeruun johtopäätökset KWH Logistics:n rekka-autolle

SIX HOVE -projektissa seurattua KWH Logistics:n rekka-auto on toiminut suljetulla teollisuusalueella raskaiden kuormien kuljettamiseen. Ajoneuvon päivittäiset ajotehtävät ovat olleet matkaltaan lyhyitä ja aktiiviset ajoajat ovat olleet lyhyitä. Siten myös ajoneuvon päivittäinen energiankulutus on ollut suhteellisen matalaa, huolimatta lyhyiden ajosuoritteiden korkeasta energiaintensiteetistä (korkea energiankulutus kilometriä kohden). Mitatuista ajopäivistä noin 78 %:ssa akkuenergiankulutus oli alle 40 kWh. Näiden myötä seurannassa ollutta autoa huomattavasti matalammalla akkukapasiteetilla voitaisiin mahdollisesti suoriutua vastaavanlaisista työtehtävistä. Tämän lisäksi käytön aikaiselle lataamiselle olisi ainakin teoreettinen mahdollisuus, johtuen runsaasta paikoillaanoloista ajopäivien aikana.

Säännöllisen ja hyvin organisoidun käytönaikaisen lataamisen avulla käyttöä ja voimalinjan kapasiteettia voitaisiin mahdollisesti optimoida edelleen, samalla säilyttäen toiminnan luotettavuuden. Toisaalta nykyisellä suurella ajoakulla saavutetaan korkea luotettavuus energiankäytön osalta sekä minimoidaan latausoptimoinnin tuomat haasteet. Näiden vuoksi käyttövoiman vaihtaminen diesel pohjaisesta sähköiseksi on todennäköisesti sujunut jouhevasti ilman suuria muutoksia toimintatapoihin.

#### 4.1.3 HSY:n sähköinen jätteenkeräysauto

HSY:n sähköistä jätteenkeräysautoa seurattiin Maailman hiljaisin jäteauto -projektin aikana 14.11.2022-18.4.2023. Seuranta-aikana autolla ajettiin erimittaisia ja -kestoisia jätteenkeräysreittejä HSY:n keräysalueella. Jätteenkeräykselle tyypilliseen keräysreittiin kuuluu siirtoajoa sekä jäteastioiden tyhjennystä keräysreitillä; siirtoajoilla keskinopeus

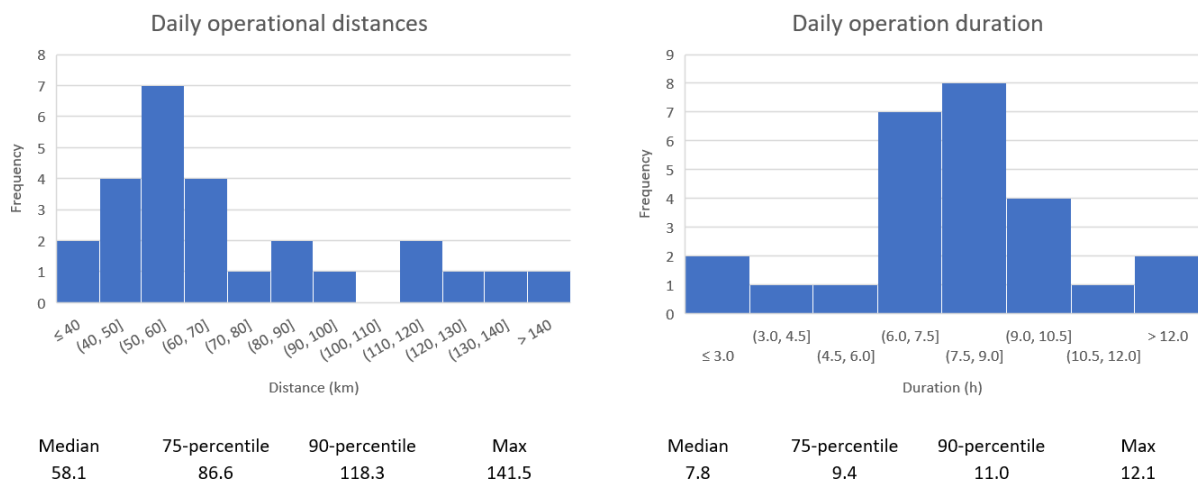
on selkeästi korkeampaa kuin keräysreitillä, jossa, reitistä riippuen, jäteastioiden välillä saatetaan ajaa hyvinkin lyhyitä etäisyyksiä. Jätteenkeräystä tehtiin yhdessä työvuorossa.



Kuva 25. HSY:n sähköinen jätteenkeräysauto

#### 4.1.3.1 Datankeruun tulokset HSY:n sähköiselle jätteenkeräysautolle

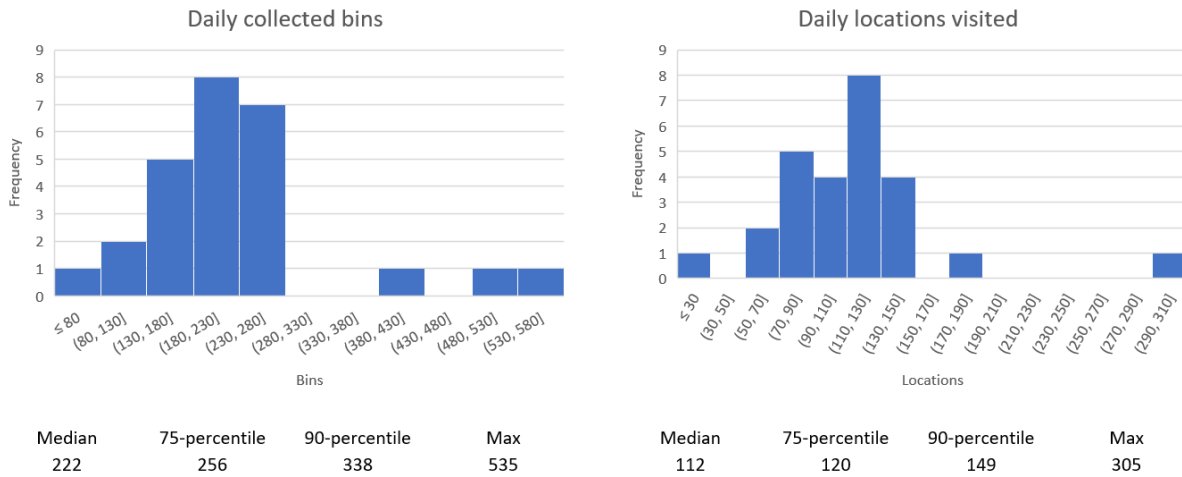
Kuva 24 esittää HSY:n sähköisen jätteenkeräysauton päivittäiset ajomatkojen ja ajoaikojen jakaumat. Ajomatkoissa vaihtelua on ollut paljon; pisin ajomatka on ollut 141,5 km ja ajomatkojen mediaani 58,1 km. Ajoajoissa vaihtelua on ollut vähemmän ajoaikojen painottuessa 8-tuntiseen työpäivään ja ajoaikojen mediaani on 7,8 tuntia. Ajoajoissa nähdään kuitenkin myös kolme yli 10,5-tuntista ajopäivää pisimmän ajopäivän ollessa 12,1 tuntia.



Kuva 26. Päivittäiset ajomatkat ja ajoajat HSY:n sähköiselle jätteenkeräysautolle

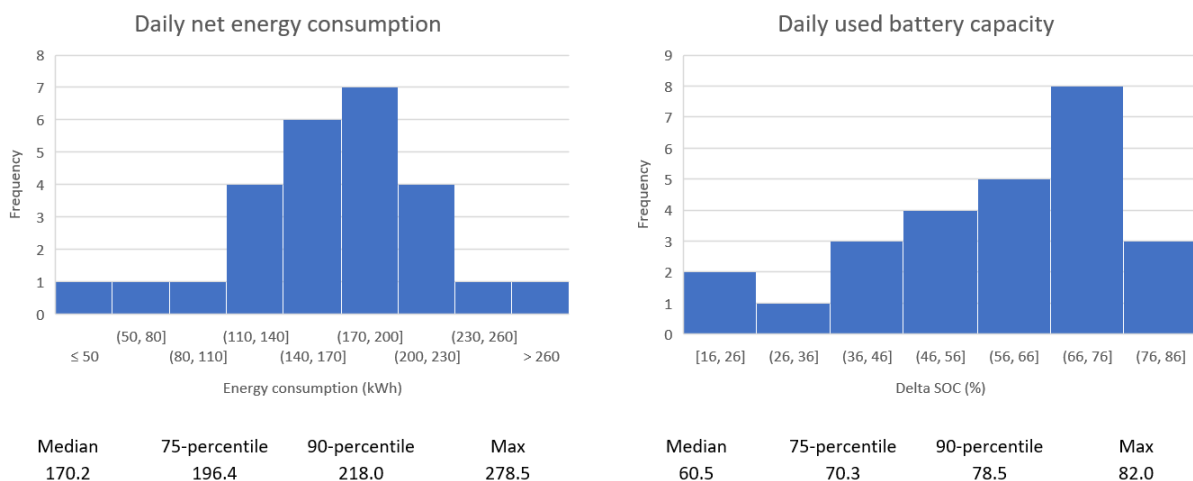
Kuvassa 25 esitetään HSY:n sähköisen jätteenkeräysauton keräämät astiat ja keräyspisteiden lukumäärät. Suurin päivässä kerätty astiamäärä oli poikkeuksellinen

535 astiaa mediaanin ollessa 222 astiaa. Keräyspisteiden lukumäärän mediaani oli 112 keräyspistettä suurimman lukumäärän ollessa niin ikään poikkeuksellinen 305 keräyspistettä.



Kuva 27. Päivittäiset kerätyt astiat ja keräyspisteiden lukumäärä HSY:n sähköiselle jätteenkeräysautolle

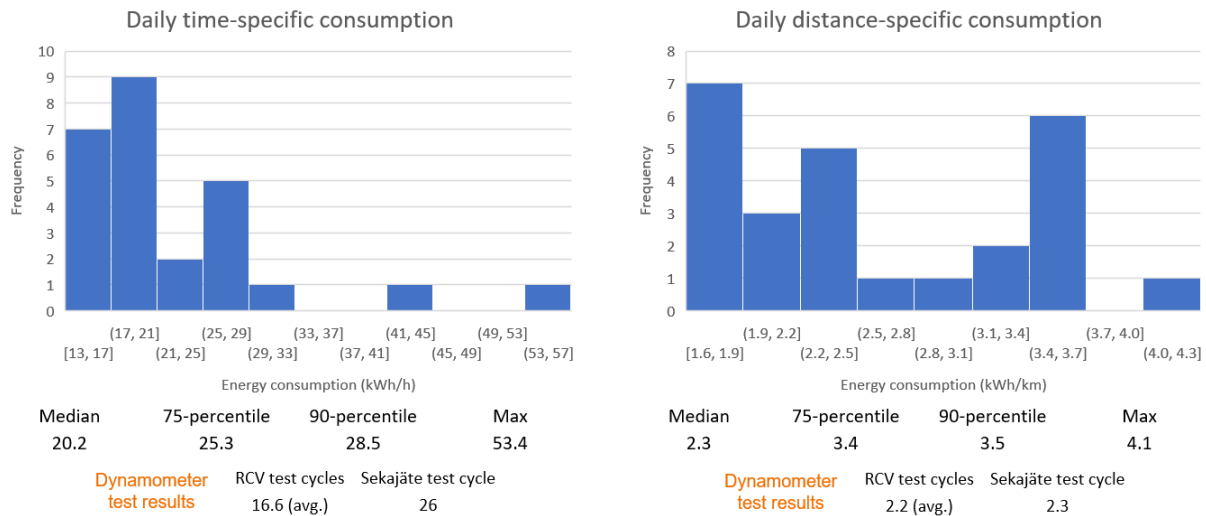
Kuva 26 esittää HSY:n sähköisen jätteenkeräysauton keräyspäivien energian kulutuksen ja ajoakun varaustilan vaihteluvälin. Keräyspäivien energiankulutus oli suurimmillaan huomattava 278,5 kWh mediaanin jäädessä 170,2 kWh:iin. Vaikka suurin akkukapasiteetin vaihteluväli onkin kohtalaisen suuri 82,0 %, jää mediaani 60,5 %:iin, osoittaen akkukapasiteetin olevan riittävä tehtyyn työsuoritteeseen. Mikäli HSY:n sähköistä jätteenkeräysautoa haluttaisiin ajaa kahdessa työvuorossa, pitäisi työvuorojen välillä ladata ajoakua toisen työvuoron energiatarpeen täyttämiseksi.



Kuva 28. Päivittäiset energian kulutukset ja varaustilan vaihteluvälit HSY:n sähköiselle jätteenkeräysautolle

Kuvassa 27 esitetty HSY:n sähköisen jätteenkeräysauton aika-kohtainen energiankulutus on ollut suurimmillaan poikkeuksellinen 53,4 kWh/h mediaanin jäädessä yli puolet alhaisempaan 25,3 kWh/h:iin. Kilometrikohtaisen energiankulutuksen mediaani on ollut 2,3 kWh/km suurimman kilometrikohtaisen energiankulutuksen ollessa 4,1 kWh/km.

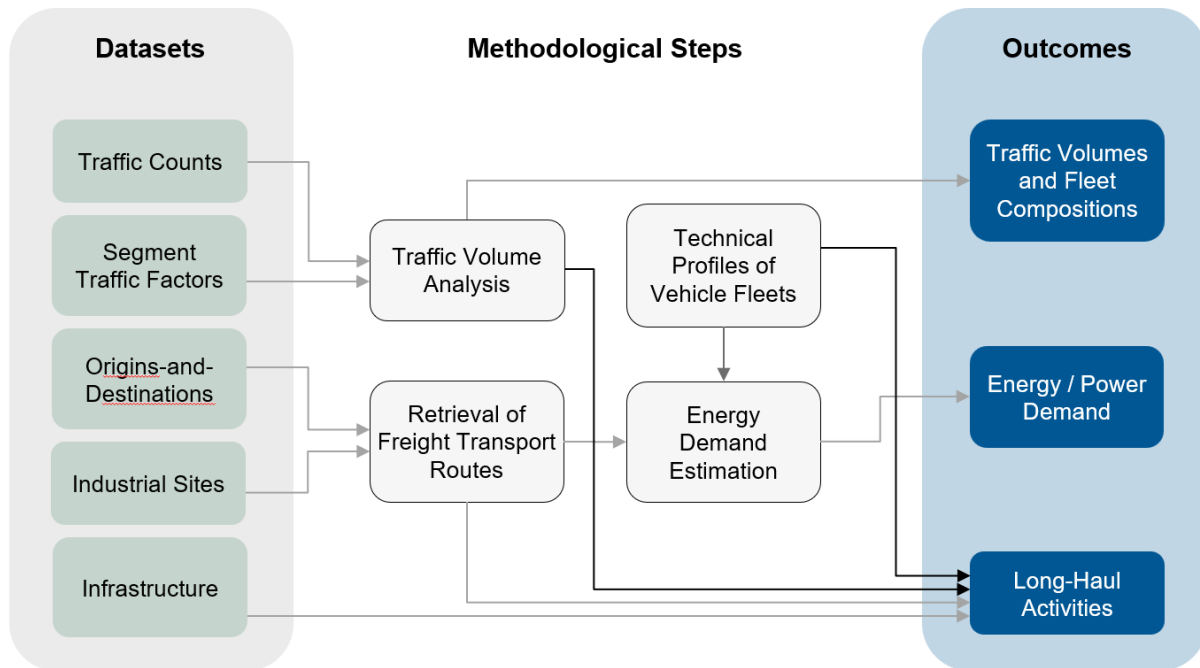
Toisin kuin aikakohtaisessa energiankulutuksessa, kilometrikohtaisessa energiankulutuksessa vaihtelua on enemmän erimittaisista reiteistä johtuen, aikakohtaisen kulutuksen painottuessa selvemmin.



Kuva 29. Päivittäiset aika- ja kilometrikohtaiset energiankulutukset HSY:n sähköiselle jätteenkeräysautolle

## 4.2 Tiekuljetusten energiantarve ja infrastruktuuri

Sähköisen raskaan liikenteen energiantarpeiden arviointi on keskeinen osa Suomen ja EU:n ilmastotavoitteiden saavuttamista. Tähän liittyvässä tutkimusosuudessa kehitettiin tietopohjainen menetelmä, joka hyödyntää paikkatietoa ja julkisia aineistoja – kuten liikennemittauksia, alku-määräpaikka-tilastoja ja tieverkon topologiaa, säätietoja ja maankäytön tietoja – arvioidakseen sähkökuorma-autojen (BET) lataustarpeita koko vuoden ajalta Suomen tieverkolla. Yleiskatsaus tutkimuksessa käytetyistä aineistoista, menetelmällisistä vaiheista ja keskeisistä tuloksista on esitetty kuvassa 28. Sulkeissa on mainittu käsikirjoituksen osiot, joissa kukin elementti on kuvattu. Vaikka käytetyt aineistot ovat Suomen kontekstiin sidottuja, menetelmä itsessään on yleistettävissä ja sovellettavissa myös muissa maissa, joissa vastaavaa dataa on saatavilla. Menetelmällisten tulosten ja olemassa olevien aineistojen yhdistämisen avulla tuotettu synteettinen pitkän matkan kuljetusaktiiviteettien aineisto on julkaistu avoimesti jatkotutkimuksen ja infrastruktuurisuunnittelun tueksi.

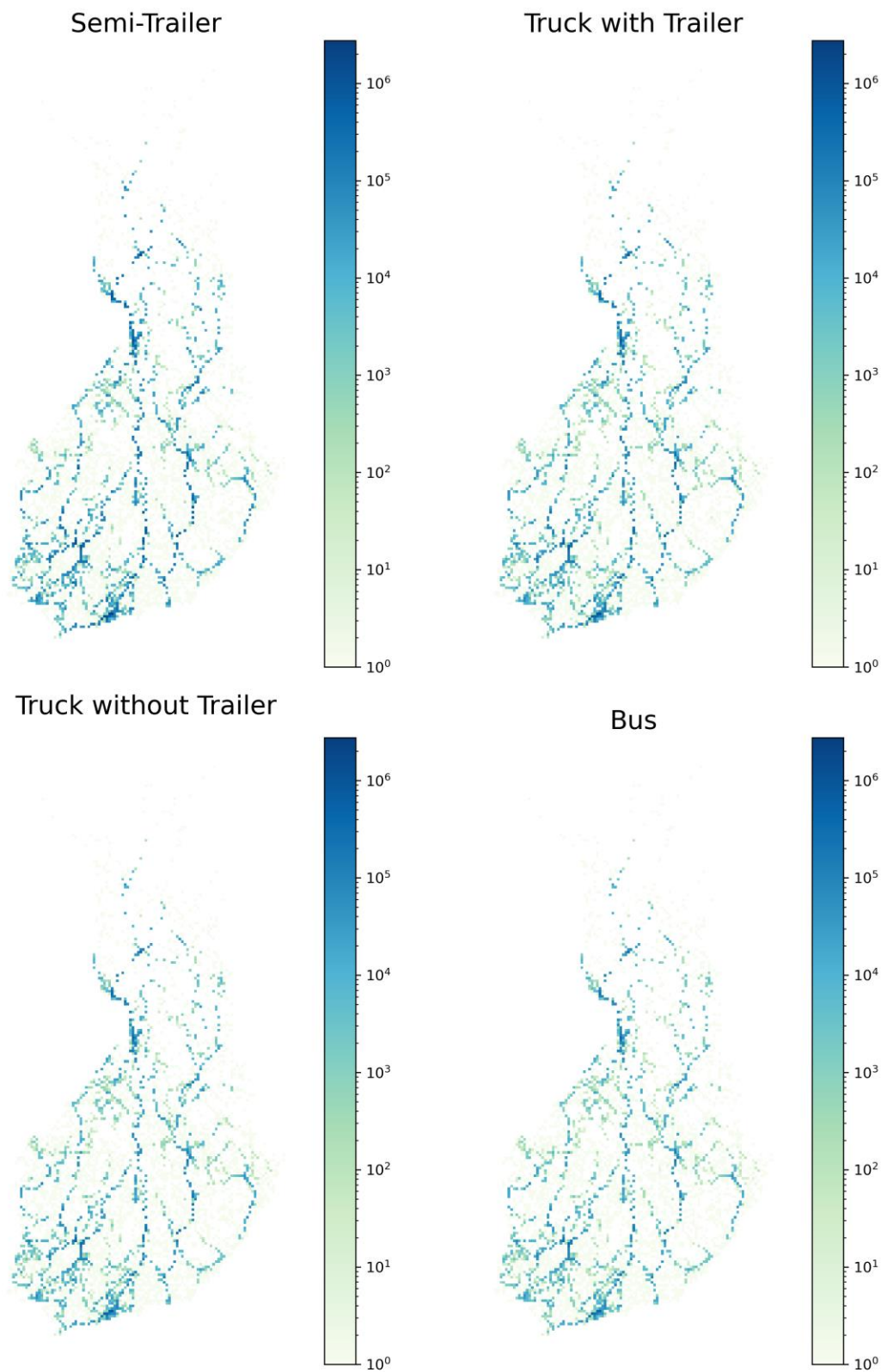


Kuva 30. Yleiskatsaus tutkimuksessa käytetyistä aineistoista, menetelmällisistä vaiheista ja keskeisistä tuloksista. Viitaukset tekstiosuuksiin ovat julkaisusta

Menetelmä osoitti, että lataustarpeet keskittyvät erityisesti suuriin logistiikkakeskuksiin, kuten Helsinkiin, Tampereelle ja Ouluun, sekä pääliikenneväylille kuten E75 ja E8. Latausvoimakkuuden huiput esiintyvät syksyisin iltapäivisin, mikä korostaa tarvetta mitoittaa latauskapasiteetti sesonkien ja vuorokaudenaikojen mukaan.

Puoliperävaunurekat kuluttavat eniten energiaa, ja niiden lataus vaatii tehokkaita, jopa megawattiluokan latureita. Pienemmät ajoneuvot, kuten bussit ja kuorma-autot ilman perävaunua, voivat hyödyntää hitaampaa latausta esimerkiksi öisin. Monet pitkän matkan kuljetukset alkavat tai päättyvät teollisuusalueilla, joten yksityinen depot-lataus tarjoaa kustannustehokkaan ratkaisun julkisen latausinfrastruktuurin rinnalle.

Arvioidut vuotuiset energiatarpeet Suomen tieverkolla on esitetty kuvassa 29. Kartat esittävät raskaan liikenteen ajoneuvotyypeittäin vuosittaisen energiatarpeen 100 km<sup>2</sup> ruuduissa eri puolilla Suomea. Kartat näyttävät kokonaisvuotuisen energiatarpeen (kWh) ajoneuvotyypeittäin ja tieosuuksittain. Tummemmat sävyt osoittavat suurempaa energiankulutusta. Värin voimakkuus ilmaisee, kuinka paljon energiaa (kWh) raskaan liikenteen ajoneuvot tarvitsevat kyseisessä ruudussa vuoden aikana.



Kuva 31. Raskaan liikenteen arvioitu vuosittainen energiatarve ajoneuvotyypeittäin 100 km<sup>2</sup> ruuduissa eri puolilla Suomea

Tutkimuksen vahvuus on sen siirrettävyys: menetelmä perustuu avoimeen dataan, joten se voidaan soveltaa myös muissa maissa. Tulokset tarjoavat konkreettista tietoa siitä, missä ja milloin latausinfra tulisi rakentaa, ja miten sähköverkkoa tulisi vahvistaa. Näin voidaan tukea tehokasta ja kestävästä siirtymästä kohti sähköistä raskasta liikennettä.

Tämän tutkimusosuuden tuloksista on jätetty arviointiin tieteellinen artikkeli (Costa 2025). Aiheeseen liittyvää metodiikkaa on myös käsitelty osin SIX HOVE:n sisältöön ja käyttötapauksiin liittyvässä tutkimuksessa (Aushev 2025).

### 4.3 Suuren mittakaavan julkisen latauksen tuotantokustannukset

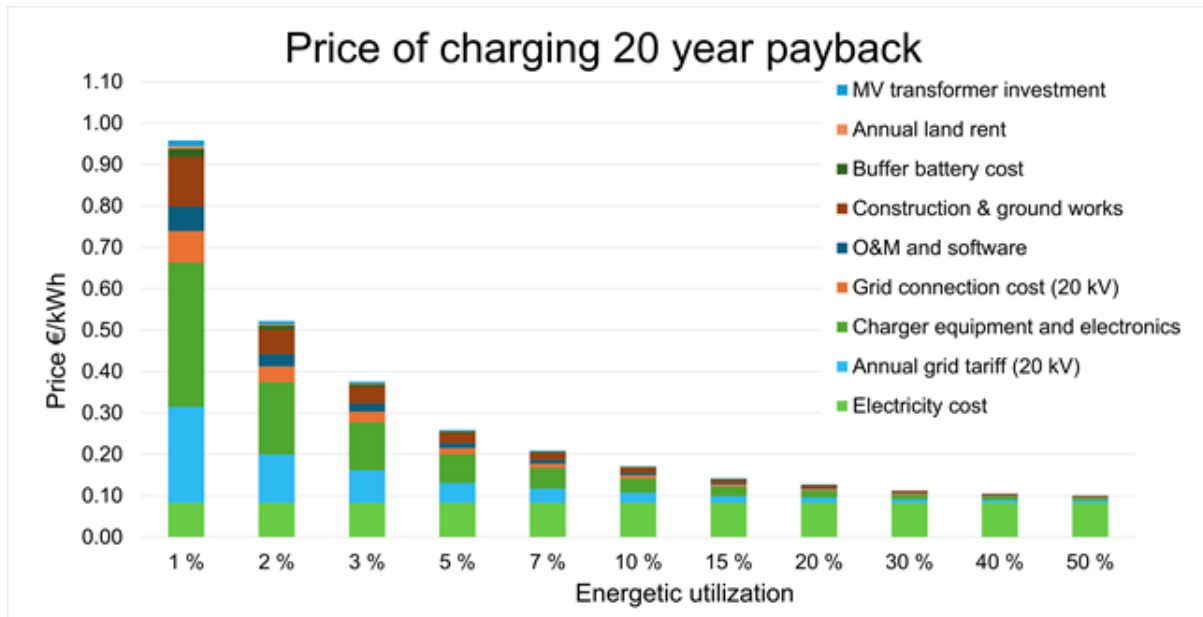
SIX HOVE projektin puitteissa kirjoitettiin diplomityö (Kantoniemi 2025). Diplomityön aiheena on ”Suurenmittakaavan julkisen latauksen tuotantokustannukset”. Työ tarkastelee akkukäyttöisten täyssähköautojen- ja kuorma-autojen julkisen latauksen kustannuksia Suomessa. Työssä esitetään mahdollisuuksia, miten näitä kustannuksia voitaisiin vähentää mahdollisella akkuvarastojärjestelmällä ja älykkäämmällä toiminnalla. Työssä selvitettiin tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat täyssähköautojen ja -rekkojen julkisen latauksen kustannuksiin. Diplomityö arvioi, miten erilaiset tulevaisuuden ennustemallit täyssähköautojen- ja rekkojen käyttöönotossa voivat vaikuttaa latauksen kysyntään ja hintaan. Lisäksi tarkastellaan, miten latauskentän sijainti Suomen sisällä voi vaikuttaa käyttöasteeseen.

Merkittävä osa analyysia on huipputehon hallinta ja tehoprofiilin mallintaminen. Tehoprofiilin pohjalta on helpompi tarkastella akkuvarastojen optimaalista käyttöä ja niiden tuomia halvempia sähkökustannuksia sekä alhaisempia piikkitehoja, jotka mahdollistavat pienempien sähköliittymien käytön.

Tutkimus tarkastelee latauskenttien taloudellisia ja teknisiä näkökulmia paikoissa, joissa palvellaan sekä täyssähköautoja- ja rekkoja. Lisäksi tutkitaan mahdollisia hyötyjä, joita syntyy, kun täyssähköautojen- ja rekkojen latausasemat rakennetaan samaan paikkaan mukaan lukien tehopiikkien tasaisempi jakautuminen ja pienemmät sähköliittymät.

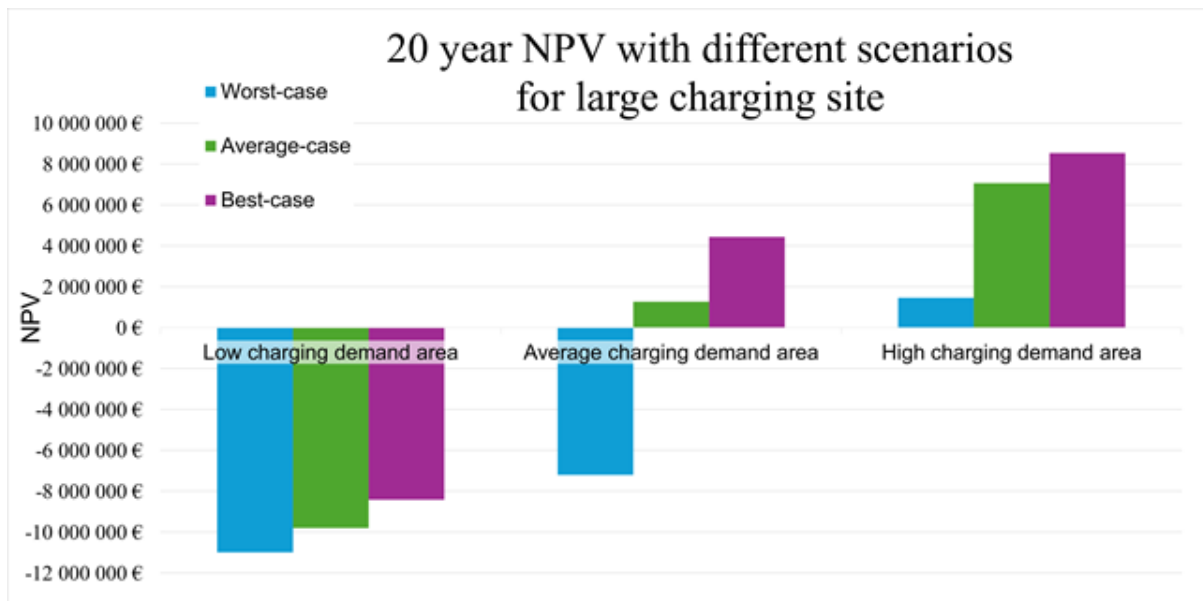
Diplomityössä käydään myös läpi lyhyesti myös politiikan ja sähkömarkkinoiden roolia latauskustannusten muodostumisessa Suomessa. Siinä arvioidaan, miten nykyiset raskaan liikenteen jakeluinfra ja sähkömarkkinat vaikuttavat kustannuksiin.

Diplomityön kirjoittaminen on kesken, jäljellä on akkuvaraston kannattavuuden tarkastelu ja herkkyyshanalyysit. Alla keskeisiä tuloksia latauksen hinnan muodostumisesta, kannattavuudesta ja tehoprofiilista.



Kuva 32 Latauksen hinnan muodostuminen

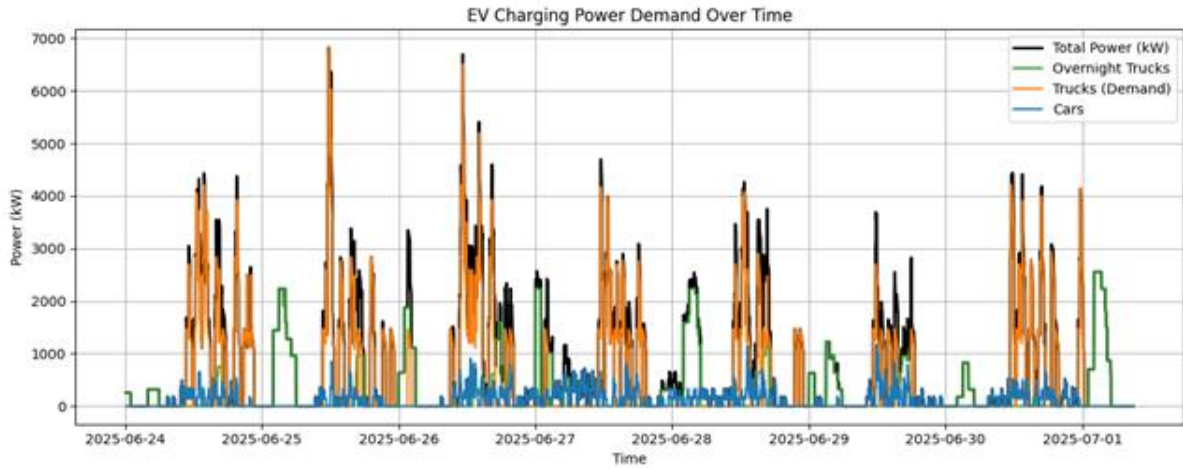
Kuva 32 näyttää latauskentän hinnan muodostumista eri käyttöasteilla. Prosenttiluku eri käyttöasteilla kuvaa teoreettista arviota siitä, kuinka paljon kentän latureita käytetään vuoden aikana verrattuna tilanteeseen, jossa niitä käytettäisiin jatkuvasti maksimiteholla.



Kuva 33 NPV laskelmia eri tilanteissa

Kuva 33 esittää suuren latausaseman kannattavuutta eri käyttöasteilla eri puolilla Suomea. Tarkasteltava latauskenttä sisältää yhteensä 32 laturia: 16 kappaletta 150 kW tehoisia, 8 kappaletta 300 kW tehoisia ja 8 kappaletta 1000 kW tehoisia latureita. Laskelmissa käytetään 6 prosentin diskonttauskorkoa.

Latauspaikka palvelee kaikkia käyttäjäryhmiä, mukaan lukien täyssähköautot, yön yli ladattavat sähkörekat sekä matkan varrella lataavat sähkörekat. Täyssähköautojen keskimääräinen latausenergia on 49 kWh, kun taas sähkörekat oletetaan lataavan keskimäärin noin 230 kWh.



Kuva 34 Latauskentän tehoprofiili

Kuva 34 esittää yhden mahdollisen tehokäyrän suuren latausaseman toiminnasta. Oletuksena on, että molemmat sähkörekka-tyypit lataavat 400 kWh ja henkilöautot 49 kWh. Päivittäin latauskäyntejä on keskimäärin 46 sähkörekoille ja 57 henkilöautoille.

Yöaikaan sähkökuorma-autot ladataan 11 tunnin tauon aikana, hetkenä, jolloin pörssisähkön hinta on alhaisimmillaan. Matkan varrella tapahtuva sähkörekan lataus kestää noin 40 minuuttia, kun taas henkilöauton lataus kestää keskimäärin 20 minuuttia.

## Lähteet

Aushev 2025. Alexander Aushev et al, WeTRaC: Scalable EV Charging Demand Forecasting for Heavy-Duty Fleets, submitted to Applied Energy.

Business Finland 2025. Kestävän raskaan tieliikenteen tiekartta 2035. Raportti 7/2025, ISSN 1797-7347, ISBN 978-952-457-680-2.

[https://www.businessfinland.fi/49cf54/globalassets/finnish-customers/news/news/2025/business\\_finland\\_tiekartta\\_2035.pdf](https://www.businessfinland.fi/49cf54/globalassets/finnish-customers/news/news/2025/business_finland_tiekartta_2035.pdf)

Costa 2025. Antonio Costa et al. Data-driven Energy and Power Demand Estimation for Electric Freight Transport in Finland, manuscript submitted to Transportation Research Part D: Transport and Environment.

ESCALATE project: <https://www.escalate-eu.com/>

HSY 2023. <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/tutkimus-ja-kehitysrahoitus/innovatiiviset-julkiset-hankinnat/maailman-hiljaisin-jateauto>

MACBETH project: <https://macbethproject.eu/>

Rehan, M 2024. Master's Thesis, Modelling the degradation of Li-ion batteries in mobility and stationary applications based on operational stress factors, Aalto-yliopisto 2024. <https://aaltodoc.aalto.fi/items/1adaffe9-932d-44b2-88c9-41f23af98329>