Väylävirasto
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisuja
22/2022

Sähköisten tieverkkojen jatkoselvitys

Marcus Suvanto, Mika Tuominen, Antti Heininen ja Tapio Heiskanen

Sähköisten tieverkkojen jatkoselvitys

Väyläviraston julkaisuja 22/2022

Väylävirasto
Helsinki 2022

Kannen kuva: Destia kuvapankki

Verkkojulkaisu pdf (www.vayla.fi)
ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-317-959-2

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
puh. 0295 343 000

Sähköisten tieverkkojen jatkoselvitys. Väylävirasto Helsinki 2022. Väyläviraston julkaisuja 22/2022. 49 sivua ja 5 liitettä. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-959-2.

Avainsanat: Sähkölataaminen, liikenne, tieverkot, sähköajoneuvo

Tiivistelmä

Tämä selvitys on jatkoa Väyläviraston aikaisemmalle julkaisulle 40/2020 ”Tieverkon sähköistämisen mahdollisuudet ja haasteet Suomessa.”

Jatkoselvityksessä on tarkasteltu tarkemmin ajonaikaisen sähkölataamisen potentiaalia ja teknisiä reunaehtoja Suomen olosuhteissa.

Haastattelun keinoin on kartoitettu teollisuuden ja kuljetusalan tahtotilaa, sekä yhdistetty paikkatietoaineistoa ja kuljetusmäärien aineistoja. Näitä menetelmiä hyödyntäen on ehdotettu viisi mahdollista pilottikohdetta, joissa ajonaikaista sähkölataamista voisi olla mahdollista lähteä kokeilemaan.

Selvityksen tuloksena on ehdotus siitä, minne ajonaikaisen sähkölataamisen pilottialue voisi parhaiten Suomessa sopia, millaisella laitteistolla lataaminen kannattaisi suorittaa ja minkälaisia teollisuuden ja kuljetusalan yhteistyökumppaneita pilottiin olisi saatavilla.

Lisäksi tehtiin katsaus, minkälaisia pilotteja on meneillään pohjoismaissa ja muualla Euroopan alueella ja mitä kokemuksia niistä on saatu. Pilotin kolmelle eri teknologialle (langasta lataaminen, kiskosta lataaminen ja langaton lataaminen) laskettiin alustava hinta-arvio ja suoritettiin alustavaa kannattavuuspohdintaa sähköteiden kaupalliselle toteuttamiselle näiden teknologioiden ympärille Suomessa.

Fortsatt utredning om elektrifiera vägnätet. Trafikledsverket. Helsingfors 2022. Trafikledsverkets publikationer 22/2022. 49 sidor och 5 bilagor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-959-2.

Sammanfattning

Denna rapport är en fortsättning på den tidigare publikationen från Trafikledsverket 40/2020 "Möjligheter och utmaningar med att elektrifiera vägnätet i Finland."

Syftet med denna uppföljningsstudie är att närmare undersöka potentialen för elektrisk laddning under körning och de tekniska kraven för detta i Finland.

Industrins och transportsektorns engagemang har kartlagts genom intervjuer och lokaliseringsdata har kombinerats med transportvolymdata för analys. Med hjälp av dessa metoder har fem olika pilotplatser identifierats där det skulle vara användbart att börja experimentera med elektrisk laddning under körning.

Resultatet av studien är ett förslag på platser i Finland som skulle vara de bästa pilotområdena för elektrisk laddning under körning, vilken typ av utrustning som ska användas för laddning och vilka typer av samarbetspartner som finns tillgängliga för piloten inom industri- och transportsektorn.

Dessutom innehåller studien en översikt över vilka typer av piloter som pågår i de nordiska länderna och på andra håll i Europa samt vilka slags erfarenheter som har gjorts med hjälp av dem. En preliminär prisuppskattning har beräknats för de tre olika tekniker som ska användas i pilotprojektet (vajerladdning, laddningsskena och trådlös laddning) och studien innehåller också några preliminära tankar om lönsamheten hos den kommersiella implementeringen av elvägar som använder denna teknik i Finland.

Supplementary study on electric road network. Finnish Transport Infrastructure Agency Helsinki 2022. Publications of the FTIA 22/2022. 49 pages and 5 appendices. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-959-2.

Abstract

This report is a continuation of the previous publication of the Finnish Transport Infrastructure Agency 40/2020 "The opportunities and challenges of electrifying the road network in Finland."

The purpose of this follow-up study was to examine in more detail the potential of electric charging during driving and the technical requirements for this in Finland.

The commitment of industry and the transport sector was mapped out through interviews, and location data sets have been combined with transport volume data for analysis. Using these methods, five different pilot sites have been identified where it could be useful to start experimenting with electric charging during driving.

The result of the study is a proposal on which location in Finland would be the best pilot area for electric charging during driving, what kind of equipment should be used for charging, and what kinds of partners are available for the pilot in the industry and transport sector.

In addition, the study includes an overview of what kinds of pilots are underway in the Nordic countries and elsewhere in Europe and what kinds of experiences have been gained from them. A preliminary price estimate was calculated for the three different technologies to be used in the pilot (wired charging, charging rail and wireless charging) and the study also includes some preliminary thoughts on the profitability of the commercial implementation of electric roads using these technologies in Finland.

Esipuhe

Joulukuussa 2020 julkistetussa Euroopan komission kestävän ja älykkään liikkuvuuden strategiassa asetettiin tavoitteeksi, että liikenteessä on 80 000 nollapäästöistä kuorma-autoa vuoteen 2030 mennessä. /1/

Pariisin ilmastosopimuksen mukaan vuoteen 2050 mennessä lähes kaikkien henkilöautojen, pakettiautojen, linja-autojen ja uusien raskaiden hyötyajoneuvojen on tarkoitus olla päästöttömiä. Suomen tavoite on hieman EU:n tavoitetta tiukempi - vuoteen 2045 mennessä liikenteen tulisi olla kokonaan päästötöntä. Liikenne- ja viestintäministeriön raportissa esitetään välitavoitteeksi raskaiden ajoneuvojen sähköistymiselle, että niiden määrä olisi vuonna 2030 noin 7 000 ajoneuvoa.

Suomen kotimaan tavaraliikenteen päästöistä 93 % muodostuu tieliikenteestä. Kuljetuskalusto on tällä hetkellä pääsääntöisesti dieselkäyttöistä, mutta vaihtoehtoiset käyttövoimat kuten maa- ja biokaasu, sekä sähköajoneuvot tekevät tuloaan.

Sähkökuorma-autoihin liittyvä akku- ja lataustekniikka kehittyy ja ajoneuvoteollisuus pyrkii tekemään sähköajoneuvojen valmistuksesta taloudellisesti kilpailukykyisempää. Yksi tärkeä puuttuva osatekijä on nopea latausmahdollisuus. Laajemman käyttövoimamurroksen toteutuminen vaatii, että yhä pienemmät akut pystyvät toimimaan tulevaisuudessa raskaiden ajoneuvojen virtalähteenä. Nämä kevyet akut vaativat tuekseen vankan staattisen ja dynaamisen latausinfrastruktuurin.

Nopea lataus, jonka tukena toimii ajonaikainen sähkölataus, antavat kuorma-autoille mahdollisuuden liikkua keskimäärin 4,5 tuntia ennen lataamista, kuljettajien ajo- ja lepoaikaa koskevien määräysten mukaisesti.

Tässä selvityksessä on tutkittu tulevaisuuden päästöttömän raskaan liikenteen yhtä osatekijää eli sähköteitä, jotka mahdollistavat raskaan kaluston ajonaikaisen lataamisen. Valtioneuvoston periaatepäätöksenä hyväksymässä Fossiilittoman liikenteen tiekartassa sähköteiden edistäminen on kytketty osaksi laajempaa ajoneuvojen ja vaihtoehtoisten käyttövoimien tutkimusohjelmaa. Tämän selvityksen valmistuessa kyseinen tutkimusohjelma ei ole toistaiseksi vielä käynnistynyt.

Työn tilaajana on toiminut Väylävirasto. Työn ohjausryhmään ovat kuuluneet Tapio Ojanen (puheenjohtaja), Jarmo Joutsensaari, Magnus Nygård, Vesa Männistö, Jukka Peura, Jari Gröhn ja Ari Liimatainen Väylävirastosta sekä Otto Lahti Traficomista. Selvityksen ovat laatineet Marcus Suvanto, Mika Tuominen, Antti Heininen ja Tapio Heiskanen Destia Oy:stä.

Helsingissä maaliskuussa 2022

Väylävirasto
Liikenne ja maankäyttö

Sisältö

1 TEOLLISUUDEN JA KULJETUSALAN NÄKEMYKSIÄ ... 9
1.1 Taustaa ... 9
1.2 Haastattelututkimuksen tuloksia ... 9

2 POTENTIAALIN TUNNISTAMINEN SÄHKÖTEIDEN TOTEUTTAMISELLE ... 13
2.1 Taustaa ... 13
2.2 Suomi ... 14
2.3 Ruotsi ... 15
2.3.1 Langasta lataaminen ... 15
2.3.2 Kiskosta lataaminen ... 16
2.3.3 Langaton lataaminen ... 16
2.3.4 Kustannusten jako piloteissa ... 16
2.3.5 Ruotsin ja Saksan yhteistyö ... 17
2.3.6 Trafikverketin seuraavat vaiheet sähkötien osalta ... 17
2.4 Saksa ... 17
2.5 Muualla EU:ssa ... 18
2.6 EU:n ulkopuolelta ... 18
2.7 Sähköteiden tulevaisuuden näkymät ... 19

3 POTENTIAALISET PILOTTIKOHTEET LIIKKUVAN LIIKENTEEN LATAAMISEEN ... 20
3.1 Alustavat pilottikohteet ... 20
3.2 Huomioitavia tekijöitä ... 23
3.2.1 SEKV-tieverkko ... 23
3.2.2 Liikennemäärät ... 24

4 LATAUSINFRAN HANKINTA- JA ELINKAARIKUSTANNUKSET ... 25
4.1 Taustaa ... 25
4.2 Lataustehot ... 27
4.2.1 Langasta lataaminen ... 28
4.2.2 Kiskosta lataaminen ... 28
4.2.3 Langaton lataaminen ... 28
4.3 Standardit ... 29
4.4 Kustannukset ... 29
4.4.1 Langasta lataamisen kustannukset ... 30
4.4.2 Kiskosta lataamisen kustannukset ... 31
4.4.3 Langattoman lataamisen kustannukset ... 32
4.5 Arvio sähkötien ja paikallaan tapahtuvan lataamisen eroista ... 34
4.5.1 Induktiivisen latauksen esimerkki ... 34
4.5.2 Paikallaan tapahtuvan latauksen esimerkki ... 35
4.5.3 Kustannukset paikallaan tapahtuvalle lataukselle ... 35
4.6 Yhteenveto ... 36

5 PILOTTIKOHTEEN VALINTA JA TOTEUTUKSEN ESISUUNNITTELU ... 38
5.1 Pilotoitavan teknologian arviointia ... 38
5.2 Pilotin toteutuksen esisuunnittelu ... 39

6 SÄHKÖTIEN KANNATTAVUUDEN ARVIOINTIA ... 40
6.1 Oletuksia ... 40
6.2. Energian kulutus ja tarve esimerkkimatkalla ... 40

6.3 Kustannusarvioita 42
6.4 Takaisinmaksu-arvio 43
6.5 CO2-hiilidioksidipäästöt 44
6.6 Yhteenveto kannattavuuden arvioinnista 45

7 JOHTOPÄÄTÖKSET 46

LÄHDELUETTELO 47

LIITTEET

Liite 1 Kohdekortit (5 kpl)

1 Teollisuuden ja kuljetusalan näkemyksiä

Osana selvitystyötä haastateltiin yhdeksää eri teollisuuden sekä kuljetusalan toimijaa, joiden osalta selvitettiin yleistä kiinnostusta esimerkiksi vaihtoehtoisista käyttövoimista, raskaista sähköajoneuvoista ja yritysten päästötavoitteista. Tämän kappaleen tarkoituksena on käydä läpi haastatteluiden lähtökohdat sekä itse haastattelujen tärkeimpiä havaintoja ja johtopäätöksiä.

1.1 Taustaa

Teollisuuden ja kuljetusalan näkemyksien selvittämiseksi haastateltiin eri toimijoita lyhyissä, noin puolen tunnin mittaisissa etäkokouksissa. Haastattelujen rakenne oli melko vapaamuotoinen mutta kaikilta toimijoilta pyrittiin samaan vastauksia seuraaviin aihealueisiin:

- Toimijoiden CO2-päästötavoitteet ja millaisella keinovalikoimalla tavoitteisiin päästään
- Vähäpäästöisyys toimintaympäristön kilpailuetuna
- Kulkuneuvojen käyttövoimavaihtoehdot vähähiiliseen raskaaseen liikenteeseen
- Sähköajoneuvojen soveltuminen yrityksen tarpeisiin
- Tavoitteet hiilineutraalin kaluston osalta
- Ajonaikainen sähkölataus osana kuljetuksia

Haastattelututkimukseen yrityksiä valittaessa on pyritty huomioimaan mahdollisimman laajasti erilaisia aloja. Haastatteluun osallistuivat seuraavat yritykset:

- Stora Enso, metsäteollisuus
- Metsä Group, metsäteollisuus
- SSAB, metalliteollisuus
- Hartwall, elintarviketeollisuus
- Kesko, kaupan ala
- Lidl, kaupan ala
- DSV, logistiikkaoperaattori
- Niinivirta European Cargo Oy, logistiikkaoperaattori
- Koiviston auto, linja-autoliikenne

Haastattelututkimuksen keskusteluista saadut vastaukset olivat kokonaisuudessaan varsin laajoja ja mielipiteitä kuultiin sekä puolesta että vastaan. Aiheen kannalta huomattavaa oli kuitenkin haastateltujen positiivinen suhtautuminen sekä ajonaikaista sähkölatausta että vaihtoehtoisia käyttövoimia kohtaan.

Haastattelututkimuksen havaintoja käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa.

1.2 Haastattelututkimuksen tuloksia

Haastateltavien yritysten edustajat olivat pääsääntöisesti hyvin valveutuneita ja ennalta perehtyneitä vaihtoehtoisten käyttövoimien kehitykseen yleisellä tasolla. Haastatellut henkilöt tiedostivat eri käyttövoimat – mitä on saatavilla tällä hetkellä,

mitä on tulossa, sekä niiden elinkaaren kustannusrakenteita oli pohdittu tai selvitetty organisaatiossa sisäisesti.

Perinteisen dieselin korvaavista käyttövoimista esille nousivat erityisesti biodiesel, biokaasu ja sähkö. Näiden lisäksi yksi haastateltava nosti hieman laajemmin esille vedyn mahdollisuudet tulevaisuuden käyttövoimana. Muita mahdollisia käyttövoimia ei noussut esille.

Kysymys: Sähköajoneuvojen soveltuminen yrityksenne tarpeisiin

Haastattelujen perusteella selvisi, että osassa haastatelluista yrityksissä käytetään jo nyt vaihtoehtoisin käyttövoimin toimivaa kalustoa. Yleisellä tasolla koettiin, että nykytilanteessa, nykyteknologiat, kantama sekä kantavuus huomioon ottaen, sähkökäyttöiset ajoneuvot sopivat lähinnä kaupunki- ja jakeluliikenteeseen. Biodiesel- ja biokaasuautojen osalta käyttötarkoitukset ovat laajempia ja muutamissa yrityksissä esimerkiksi biokaasuautoja käytetään tai ollaan ottamassa käyttöön erilaisilla runkoreiteillä ja isoilla kantavuuksilla.

Kysymys: Toimijoiden CO2-päästötavoitteet ja millaisella keinovalikoimalla tavoitteisiin päästään

Suurimmassa osassa haastateltuja yrityksiä päästövähennystavoitteet ovat kirjattu näkyvästi yhtiöiden strategiaan, esimerkiksi vuosien 2025 ja 2030 välille asettuva täysi tai osittainen hiilineutraalius, jolloin myös kuljetuspalveluiden on syytä sitoutua niihin parhaansa mukaan.

Osa yrityksistä nosti suurina ja vakavaraisina toimijoina esiin myös vastuullisuuden ja eettisyyden - eräänlaisen velvollisuuden toimia suunnannäyttäjänä omalla alallaan. Tunnistettiin, ettei myöskään kuljetusalalla voida jatkaa loputtomasti päästöjen tuottamista, kun toiminta-alueena on kuitenkin rajallisesti yhteinen ilmakehä. Markkinajohtajina heidän on siten toimittava kokeilijoina myös vähäpäästöisyydessä.

Myös kustannukset ja niiden jakaminen mahdollista pilottia pohdittaessa nousivat lähes joka keskustelussa esiin: Sähköautoihin siirtyminen kiinnosti lähes kaikkia haastateltavia, mutta rahoitusta kokeiluihin haluttiin löytyvän muualta kuin yrityksistä itsestään.

Selvitystä tehdessä haastateltavat arvioivat sähköauton hankintahinnan olevan noin kolminkertainen dieselautoon nähden, mutta käyttökuluissa ei nähty mainittavaa eroa. Poikkeuksena kuitenkin erään suuren toimijan teettämä selvitys, jonka mukaan käyttövoimakulut olisivat sähköllä vain noin kolmanneksen dieseliin nähden.

Jälleenmyyntiarvon koettiin myös olevan jonkinlainen suuri tuntematon, sillä käytetyllä dieselautolla tiedetään olevan vielä jonkinlainen jälkimarkkina, mutta käytetyllä sähköajoneuvolla - jonka akku on alustan kallein osa, ei koettu olevan juuri minkäänlaista arvoa.

Lisäksi jälleenmyyntiarvokeskustelussa nostettiin esiin kaluston murroksen hitauden tarpeellisuus. Jos koko ala, tai yksittäinen useamman sadan auton varassa operoiva suuri toimija siirtyisi nopeasti sähköautoiluun, myös vaihtoon tarjottavien dieselautojen hinnat romahtaisivat markkinan täyttyessä niistä liian nopeasti.

Kysymys: Vähäpäästöisyys toimintaympäristön kilpailuetuna

Vähäpäästöisyyden avulla hankittua varsinaista kilpailuetua nähtiin suhteellisen harvalla toimialalla, mutta joka alalla tunnistetaan kuitenkin kulutuskäyttäytymisen muutos sukupolvien vaihtuessa.

Tämä vaikuttaa osaltaan esimerkiksi tietouteen erilaisista ympäristökysymyksistä, jotka nousevat entistä tärkeämmäksi kriteeriksi tuotteita loppukäyttäjille tarjotessa. Toimijat, jotka olivat tahoillaan pilotoineet sähköisiä ajoneuvoja, kokivat saavuttaneensa sähköajoneuvoilla sekä kilpailuetua että kustannushyötyjä. Lisäksi sähköisen tekniikan toimintavarmuutta on pidetty muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta hyvänä, jonka lisäksi kuljettajilta on tullut sähköajoneuvoista positiivista palautetta.

Haastatteluissa tunnistettiin kuitenkin myös markkinointi-ilmiö, jossa ensimmäisenä vähäpäästöiseksi profiloituva saa, tai on jo saanut parhaan kilpailuedun. Kaluston siirtyessä entistä enemmän nollapäästöiseksi, siitä tulee uusi normaali.

Kysymys: Tavoitteet hiilineutraalin kaluston osalta

Suurimmassa osassa yrityksiä kuljetuspalvelut on ostettu jo vuosia sopimuspalveluina, mutta päästökriteerejä ei ole vielä erikseen kirjattu yhteistyösopimuksiin. Sopimusteknisesti päästöjen rajoittaminen koettiin kuitenkin mahdolliseksi ja sopimukset on jo nyt laadittu sen kokoisten toimijoiden kanssa, joiden toimitusvarmuus ei ole riippuvainen yksittäisen kuljettajan sairastumisesta, tai yksittäisissä ajoneuvoissa ilmenevissä ongelmissa.

Useassa haastateltavassa yrityksessä kerrottiin toimivan ainakin yhden tai useamman valveutuneen alihankkijan, joka kokee saavansa vähäpäästöisyydestä kilpailuetua ja suhtautuvat, tai ovat jo lähteneet innokkaasti mukaan uusiin kokeiluihin. Vastavuoroisesti kaikilta haastateltavilta löytyy myös alihankkijoita, jotka suhtautuvat hieman haluttomammin muutoksiin.

Tällä hetkellä sähköistymisen esteenä nähdään pääasiassa se, ettei maksimimitoille ja -massoille soveltuvaa sähköistä ajoneuvoyhdistelmää ole selvitystä tehdessä tarjolla. Eräille kuljetusmuodoille sähkö sopii myös alkuvaiheessa muita heikommin: Esimerkiksi puutavaran nouto tapahtuu usein sattumanvaraisista kohteista päätieverkon ja mahdollisen tulevan latausverkoston ulkopuolella, jolloin ainakin osa matkasta pitäisi voida taittaa perinteisin polttomoottorein.
Myös kustannukset nousivat lähes joka keskustelussa esiin: Sähköautoihin siirtyminen kiinnosti lähes kaikkia haastateltavia, mutta lisärahoitusta kokeiluihin tulisi löytyä myös muualta kuin yrityksistä itseltään.

Kysymys: Ajonaikainen sähkölataus osana kuljetuksia

Ajonaikainen sähkölataus herätti pääsääntöisesti paljon mielenkiintoa ja jopa innostusta haastateltavissa. Osalle toimijoista ajonaikaisen sähkölatauksen menetelmät olivat aivan uusia ja osan kanssa keskusteltiin käytettävästä tekniikasta ja meneillään olevista kokeiluista ja niistä saaduista kokemuksista hyvinkin syvällisesti.

Ajonaikaisen sähkölataamisen (tai ylläpitolataamisen) koettiin pääsääntöisesti ratkaisevan sähköautoiluun tällä hetkellä liittyviä ongelmia hyvin ja keskustelu siirtyi-

kin nopeasti yleensä reitteihin tai kohteisiin, jotka voisivat haastateltavien yrityksille parhaiten sopia. Yleisesti ottaen se ei sovi tällä hetkellä yhdenkään toimijan kaikkiin kuljetuksiin, mutta se voisi jo nyt palvella ainakin pientä tai joillakin jo merkittävää osaa kuljetuksista.

Moni haastateltava arvioi kuitenkin, että vaikka kuljetusalalla pyritään järjestelmällisesti eroon ns. tuottamattomasta ajasta, voisi sähkölataaminen kuitenkin olla hyödyllisintä kuorman lastauksen ja purun aikana. Näin ollen tien päällä tapahtuva lataaminen voisi olla luonteeltaan vain ylläpitävää, eikä valtavia virtoja vaadittaisi.

Yksi haastateltavista ilmoitti suoraan, että heillä ei ole aikaa kokeiluihin, vaan käyttöön otettavan latauslaitteiston tulisi olla valmiiksi testattua ja toimintavarmaa. Kun kuljetetaan pääsääntöisesti myytyjä tuotteita loppukäyttäjilleen, tämäkin näkemys on ymmärrettävä ja otettava huomioon mahdollisen pilotin yhteistyökumppaneita pohdittaessa.

Haastattelujen lyhyt yhteenveto

Kokonaisuudessaan arvioiden sähkölataamisesta tiedetään yrityksissä paljon, mutta ajonaikaisesta sähkölataamisesta melko vähän. Alan toimijat ovat sähköajoneuvojen tietämyksen osalta pitkälti mediassa kirjoitetun ja oletuksien varassa, mutta poikkeuksiakin toki on. Muutamat yritykset olivat tehneet omia selvityksiä vähäpäästöisistä ajoneuvoista ja jopa muutamia kokeiluja jakelu- ja henkilöliikenteessä oli meneillään. Palautteet näistä kokeiluista olivat pääsääntöisesti positiivisia.

Pääsääntöisesti voisi sanoa, että vastaanotto ajonaikaiselle sähkölataamiselle oli kaikkien haastateltavien keskuudessa hyvä ja uuteen teknologiaan suhtaudutaan päästötavoitteisiin pääsemisen, sekä kuljetusalan maineen parantumisen kautta varsin suopeasti.

Kokonaisuudessaan haastatteluista jäi varsin hyvä tuntuma mahdollista tulevaa ajonaikaisen sähkölataamisen pilottia ajatellen ja haastateltavien joukosta oli jo helppo tunnistaa useampia sellaisia tahoja, joiden kanssa jatkoneuvottelu pilottia koskien olisi mutkatonta ja sujuvaa.

2 Potentiaalin tunnistaminen sähköteiden toteuttamiselle

Kappaleeseen on koottu pohdintaa sähköteiden tulevista käyttäjistä sekä kokemuksia kotimaisista ja ulkomaisista kokeiluista, joista on hyvä ottaa oppia tulevaa kansallista sähkötiekokeilua ajatellen. Kappaleessa on arvioitu samalla myös tulevaisuuden näkymiä.

2.1 Taustaa

Sähköteiden rakentamisen potentiaali (erityisesti kaupallinen) on vielä tulevaisuudessa. Tällä hetkellä markkinoilla olevia sähköisiä ajoneuvoja pystytään lataamaan levähdysalueilla kohtalaisen tehokkaasti. Isojen yhdistelmien ja pitkän matkan linja-autojen energian tarve on kuitenkin niin korkea, että näiden ajoneuvojen laajemmin sähköistyessä tullaan levähdysalueilla tarvitsemaan entistä suurempia lataustehoja. Latausinfrastruktuurin vaatimusten ohella myös levähdysalueiden kapasiteetti tulee täyteen nopeasti pitkistä yhdistelmistä.

Mikäli raskaampia ajoneuvoja ladattaisiin matkan aikana, pystyttäisiin tasapainottamaan sähkön lataamista matkan aikana ja näin ollen levähdysalueiden kapasiteetti, latauslaitteiden teho ja toimintavarmuus eivät olisi niin kriittisiä kokonaisuudelle. Paikallaan tapahtuva- ja ajonaikainen latausinfrastruktuuri voivat siten täydentää toisiaan ja luoda skaalautuvan järjestelmän erilaisille raskasta kalustoa vaativalle kuljetustarpeelle.

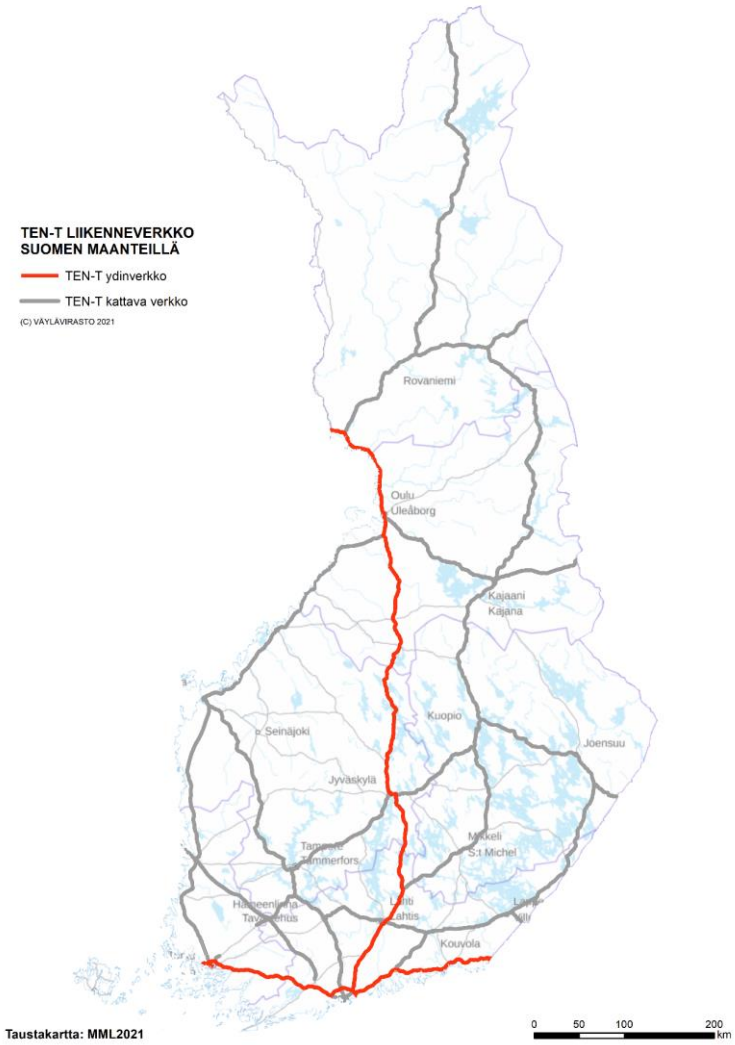
Pidemmillä reiteillä ajon aikana lataaminen edellyttää latausinfrastruktuurin rakentamista pitkälle matkalle, tai säännöllisin välimatkoin. Käytännössä tunnin lataaminen pääväylillä vaatii noin 80 kilometrin latausalueen. Näin pitkän latausalueen rakentaminen on kustannuksena korkea ja sen käyttö tulisi olla erittäin aktiivista, jotta rakentaminen on kannattavaa. Tästä syystä oikeanlaisen teknologian valinta on avainasemassa ja valintaa on hyvä miettiä pidemmän tähtäimen käytettävyyden näkökulmasta. Tällöin tulee kiinnittää erityistä huomiota teknologian käytettävyyteen eri ajoneuvoilla.

Tulevaisuuden suurimpana potentiaalisena käyttäjänä sähköteille on varmasti automatisoidut ajoneuvot. Kyseisten ajoneuvojen tullessa markkinoille, kyydissä ei välttämättä ole operaattoria, kuka kytkisi auton lataukseen sen ollessa paikallaan. Näin ollen ajon aikana tapahtuva lataaminen on automatisoiduille ajoneuvoille luontevin ratkaisu. On toki olemassa myös erilaisia robotisoituja vaihtoehtoja automaattilataukseen ajoneuvon paikallaan ollessa, mutta tämä mekaaninen toiminto on todennäköisesti häiriöherkempi, kuin ajon aikana tapahtuva lataus. Lisäksi automatisoiduilla ajoneuvoilla ei ole tarvetta taukoihin ja sähkötiellä pystytään näin ollen kasvattamaan automatisoitujen ajoneuvojen käyttöastetta verrattuna paikalla tapahtuvaan lataamiseen.

Ajon aikana tapahtuva lataaminen mahdollistaa myös ajoneuvojen pienemmät akut. Tähän liittyvä haaste on kuitenkin se, että pienempiin akkuihin ei todennäköisesti siirrytä ennen kuin ajon aikana tapahtuva infrastruktuuri on valmis. Niin kauan, kun ainoastaan paikallaan tapahtuvaa latausta on saatavilla, tulevat akut todennäköisesti olemaan suuria.

2.2 Suomi

Suomen sisäiset kuljetusetäisyydet ovat verrattain pitkät ja alasta riippuen melko hajanaiset. Euroopan laajuista ydinliikenneverkkoa, eli TEN-T tieverkkoa meillä on kokonaistieverkkoon nähden melko vähän. Tämä tuo entistä suuremmat haasteet sähköteiden tehokkaaseen käyttöön, kun mahdollisuutta verrataan tiheämmin asuttuihin maihin.



Kuva 1. TEN-T ydinverkko sekä TEN-T kattava tieverkko Suomessa.

Suomessa on kuitenkin myös alueita, joissa liikenne on pienemmällä alueella tiheää ja tämä tuo mahdollisuuden sähköteiden tehokkaammalle käytölle. Suomessa on siis hyvä arvioida erityisen tarkkaan alueet, joihin mahdollisia sähköteitä rakennetaan.

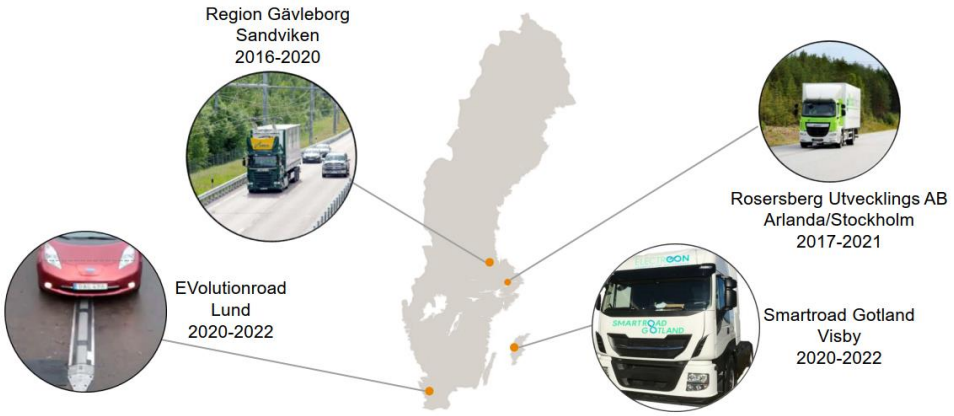
Suomen kuljetusalojen liiton (SKAL) tekemän seuranta-aineiston mukaan syyskuussa 2021 ulkomaisen liikenteen osuus kaikesta raskaasta liikenteestä oli 12,8 % ja määrä on ollut viime vuosina kasvussa. Tuonti- ja vientikuljetusten latausmahdollisuuksien harmonisoinnin ja yhteensopivan kaluston saatavuuden nimissä Suomessa tulee seurata mitä latausmenetelmiä muualla Euroopassa tullaan käyttä-

mään. Kansallisen latausverkostomme tulee olla kilpailukyvyn säilyttämisen nimissä yhteensopiva eri maiden kanssa. Saksan Fraunhofer-instituutissa arvioitiin vuonna 2021, että vuoden 2030 jälkipuoliskolla noin 25 000 kilometriä TEN-T tieverkosta, tai kolmasosa Euroopan moottoritieverkosta olisi sähköistetty – paikallaan lataavien MCS-megawattilatauspisteiden lisäksi. Käytettävästä ajonaikaisesta latausteknologiasta ei kuitenkaan vielä ole täyttä varmuutta.

Tässä selvitystyössä arvioitavat latausteknologiat on jo käytännössä testattu Suomeen verrattavissa olosuhteissa, eli Ruotsissa. Näin ollen ilmasto tai muut olosuhteet eivät näytä aiheuttavan merkittäviä haasteita sähköteiden yleistymiselle Suomessa.

2.3 Ruotsi

Ruotsissa Trafikverket on pilotoinut kolmea eri latausteknologiaa: Langasta lataus (Gävle, Ruotsi), kiskosta lataus (Tukholma, Ruotsi ja Lund, Ruotsi) ja langaton lataus (Visby, Ruotsi). Kaikki pilottikohteet ovat olleet noin 1 kilometrin pituisia. Yleisesti Trafikverket kokee, että heidän omat pilottikohteensa ovat erittäin tärkeitä oppimisen ja teknologian esittelyn kannalta.



Kuva 2. Ruotsissa toteutettuja tai toteutuksessa olevia pilotteja kartalla. /2/

2.3.1 Langasta lataaminen

Trafikverket toteutti langasta latauksen pilotin vuosina 2016–2020. Teknologia pilottiin oli Siemensin toimittama. Pilotissa todettiin, että teknologia toimii erittäin hyvin myös vaativissa olosuhteissa, eli jää ja lumi eivät tuoneet haasteita lataamiseen. Pilotin jälkeen Trafikverket on aloittanut yhteistyön Saksan kanssa liittyen langasta lataamisen kehittymiseen ja olemassa olevien järjestelmien elinkaaren seurantaan. /3/

Langasta lataamisen suurimpina haasteina Trafikverket pitää latauslankaa. Siihen liittyen kaksi kysymystä:

- Mikäli pylväs kaatuu ja lanka tippuu maan tasolle, miten nopeasti se saadaan jännitteettömäksi? Järjestelmä toimii niin, että 1,5 km on kerrallaan sähköistetty.
- Miten pitkään latauslanka kestää, kun pantografi (eli auton katolla oleva virroitin, ks. kuva 7 s. 25) nousee latauslangalle useammin kuin piloteissa.

Vertailun näkökulmasta junien ja raitiovaunujen toimintamalli ei ole täysin vastaava, koska raideliikenteessä virroitin pysyy paikallaan.

Langasta lataamisen teknologiaa ei ole vielä standardoitu. Lataustapaan on tulossa standardi vuosien 2024–2025 aikana. Trafikverket ei ole huolissaan standardoinnista, koska nykytoimijat ovat siinä vahvasti mukana.

2.3.2 Kiskosta lataaminen

Trafikverket on toteuttanut kaksi kiskosta lataamisen pilottia. Ensimmäisen pilotin teknologia tuli Alstomilta. Tässä mallissa kisko upotettiin maahan. Tämä teknologia ei toiminut hyvin talvella, kun teitä suolattiin. Suola vaikutti lataamiseen tuottamalla lataustilanteeseen merkittävästi kitkaa. Pilotin aikana haasteeseen ei löytynyt ratkaisua ja testaaminen lopetettiin.

Toinen kiskosta lataamisen pilotti on parhaillaan testissä Trafikverketillä. Tämä malli on tilattu Elonroad-nimisestä yrityksestä ja heidän teknologiansa perustuu hieman erilaiseen kiskoon. Kyseisen kiskon voi joko jättää tien päälle, tai upottaa tiehen. Tämän järjestelmän hyvä puoli on se, että se kestää suolaa ja sähkö liikkuu kiskossa vain silloin, kun auto on kiskon yläpuolella (1 metri kerrallaan). Mikäli auton alla havaitaan jotain, sähkönsyöttö ei aktivoidu. Elonroadin järjestelmässä yksi vastaanotin ajoneuvossa ottaa vastaan enimmillään 150 kW. Perävaunulliseen rekkaan voidaan asentaa kaksi vastaanotinta, jolloin vastaanotettavan energian määrä voi nousta 300 kW:n. /4/ /5/

Kiskosta lataamisen teknologiaa ei ole vielä standardoitu. Lataustapaan on tulossa standardi 2024–2025 aikana. Trafikverket ei ole huolissaan standardoinnista, koska nykytoimijat ovat siinä vahvasti mukana.

2.3.3 Langaton lataaminen

Trafikverket pilotoi langatonta latausta tällä hetkellä Gotlannissa. Toimittaja järjestelmälle on Electreon. Tässä pilotissa latausteho per maassa oleva käämi on 25 kW. Pilotin aikana testataan myös 30 kW:n käämejä. Rekassa (ajoneuvo ja traileri) on vastaanottimia 5 kpl ja tällä hetkellä ne vastaanottavat energiaa yhteensä 70 kW. Tavoitteena on Ruotsin pilotissa päästä 20 kW:n tasolle per vastaanotin. /6/ /7/

Tätä lataamistapaa ei ole vielä standardoitu. Lataustapaan on tulossa standardi 2024–2025 aikana. Trafikverket ei ole huolissaan standardoinnista, koska nykytoimijat ovat siinä vahvasti mukana.

2.3.4 Kustannusten jako piloteissa

Piloteissa on ollut aina teollisuuden toimijoita mukana, mutta käytännössä pilottien kulut on maksanut ja maksaa Trafikverket. Jokaisen pilotin kokonaisarvo on ollut luokkaa 10 M€. Yleisesti Trafikverket arvioi, että sähkötien kustannus on tällä hetkellä noin 1 M€/km/kaista.

2.3.5 Ruotsin ja Saksan yhteistyö

Ruotsi ja Saksa vievät yhteistyössä eteenpäin sähköteiden tutkimusta ja testausta. Heidän yhteisenä tavoitteena on arvioida mm. sähköteiden teknologioita, markkinoita, taloudellisia näkökulmia ja tutkimusvaatimuksia. Molemmat maat osallistuvat tutkimuksien rahoitukseen. /8/

2.3.6 Trafikverketin seuraavat vaiheet sähkötien osalta

Trafikverket tulee seuraavaksi rakentamaan pysyvän sähkötien 20 kilometrin matkalle Örebron ja Hallsbergin väliin. Kyseinen kokonaisuus tullaan kilpailuttamaan latausteknologian ominaisuuksien perusteella. Tavoite on, että tie on avoin liikenteelle vuonna 2025. Valittaessa pilottikohdetta, Trafikverket pyysi eri lääneiltä ehdotuksia erilaisista reiteistä, johon sähkötien voisi rakentaa. He saivat 15 eri ehdotusta kokonaisuudesta ja voittajaksi valikoitui Örebro – Hallsberg -yhteys.

Trafikverket on erittäin kiinnostunut tekemään yhteistyötä Suomen kanssa sähköteihin liittyen.

2.4 Saksa

Saksassa on julkaistu tulevien sähkötie -pilottien malli, jossa on yhdistetty ajon aikana tapahtuvaa latausta sekä paikallaan tapahtuvaa latausta. Uusia pilottikohteita tulee olemaan yhteensä kolme kappaletta ja näistä kahdessa tullaan testaamaan ajon aikana tapahtuvaa latausta (yhteensä noin 200 km matkalla). Ajon aikana tapahtuva lataus toteutetaan langasta lataamisen teknologialla ja samalla tutkitaan mahdollisuutta, voitaisiinko paikallaan tapahtuva lataus toteuttaa samalla teknologialla. Mallia on esitetty tarkemmin saksan kielellä kuvassa 3.

Kuva 3. Havainnekuva latausverkoston sijoittelusta Saksassa. /9/

Saksan pidemmän ajan tavoite on, että 1 000–4 000 kilometriä teistä tultaisiin toteuttamaan langasta lataamisen teknologialla. Saksa näyttää turvautuvan ajon aikana tapahtuvaan lataamiseen ainoastaan ”omalla” teknologiallaan, eli Siemen-

sin kehittämällä langasta lataamisen teknologialla. Muita vaihtoehtoja (kiskosta lataaminen, langaton lataaminen) on Saksan omissa tutkimuksissa tutkittu erittäin vähän, tai ei ole tutkittu ollenkaan. Toisaalta yhteistyössä Ruotsin kanssa on tutkittu myös muita teknologioita.

Kokonaisuuden kustannukset riippuvat paljon siitä, miten paljon lataustehoa on saatavilla/kilometri. Käytännössä on todettu, että langasta lataus maksaa noin 1,5 M€/km/kaista. Tämä on kustannus lyhyemmille piloteille. Saksan arvio on, että mikäli tietä rakennetaan 4 000 km, sen kustannus tulee olemaan noin 10 mrd. € (1,25 M€/km/kaista). /35/

Saksassa on tällä hetkellä käynnissä kolme pilottihanketta langasta lataamisen teknologian testaamiseksi. Pilottien pituus on 4–5 kilometriä. Saksassa on tehty myös projekti, jossa on tutkittu maksatusjärjestelmän toimivuutta langasta lataamisen teknologiaan. Kyseinen projekti on nimeltään Amelie ja se tehtiin vuosina 2018–2020. /10/ /34/

2.5 Muualla EU:ssa

Ruotsin ja Saksan lisäksi sähköteihin liittyvää pilotointia on tehty myös muualla EU:ssa. Tässä työssä on nostettu esille keskustelua ja materiaalia Ranskasta ja Norjasta.

Ranskan sähkötie-projekteista löytyy vuonna 2021 tehtyä selvitystyötä ja sitä kautta ratkaisuehdotuksia. Näiden selvitystöiden potentiaalisimpina ratkaisuina sähkötielle pidetään maasta tapahtuvaa lataamista (kisko tai langaton), mutta samalla selvityksessä todetaan myös molempien teknologioiden käytännön haasteet. Langasta lataamisen teknologiaa pidetään kypsimpänä vaihtoehtona, mutta kyseisen teknologian laajempi käytettävyys (ei toimi henkilöautoilla) on suurin haaste. Lisäksi jo vuonna 2017 Ranskassa oli langattoman lataamisen pilottikohde. On oletettavissa, että vuoden 2022 aikana Ranska tekee suurempia linjauksia myös sähköteiden suhteen. /11/ /12/ /13/

Norjan osalta sähköteihin liittyvän materiaalin löytäminen on haastavaa. Vuonna 2018 on tehty selvitystyötä sähköteiden mahdollisuuksista, mutta sen jälkeisestä asian etenemisestä ei ole saatu tarkempaa tietoa. /14/ /15/

2.6 EU:n ulkopuolelta

Englannissa tullaan suunnittelemaan langasta lataamisen tieosuutta noin 20 kilometrin matkalle M180 -tielle. Kyseiseen suunnitteluun on varattu rahaa 2 miljoonaa puntaa (n. 2,4 M€) ja mikäli suunnitelma hyväksytään ja sähkötielle löytyy rahoitus, sähkötien käyttö alkaisi vuonna 2024. /16/

Etelä-Korea on ehdottanut markkinoille kahta eri kansainvälistä standardia langattomaan lataamiseen: Vaatimukset langattoman lataamisen kommunikointiin, sekä vaatimukset langattoman lataamisen yhteenkuuluvuudelle ja turvallisuudelle. Standardointia vie eteenpäin ”Korean Agency for Technology and Standards” (KATS). Uudessa Korealaisessa Genesis GV60 henkilöautossa tulee olemaan langattoman lataamisen vastaanotin, jonka on valmistanut WiTricity. /17/

Etelä-Koreassa on aloitettu 2021 kesäkuussa uusi induktiivisen lataamisen bussiprojekti Daejeonin kaupungissa. Tässä pilotissa kolme 38-henkilön kapasiteetin bussia ajavat 17,4 kilometrin matkan ja matka-aika on noin 67 minuuttia. Bussit on varustettu 150 kW:n akuilla. Bussit ladataan langattomalla latauksella paikallaan reitin toisessa päässä. /18/

2.7 Sähköteiden tulevaisuuden näkymät

Sähköiset henkilöautot ovat tällä hetkellä valtaamassa markkinaa, mutta raskaammassa liikenteessä sähköön on siirrytty lähinnä kaupunkilinja-autoissa. Kasvu sähköisissä kaupunkilinja-autoissa on ollut viimeisen kahden vuoden aikana merkittävää ja linja-auto-operaattorit suosivat jo sähköistä voimalinjaa monissa kaupungeissa. Muu raskas liikenne on vielä enemmän pilotti -vaiheessa. Yksi syy tähän on varmasti valmistajien mallistot, eli esim. pidemmille ajomatkoille suunnattua kalustoa ei ole vielä saatavilla. Toistaiseksi esim. kuorma-autoissa sähköisiä voimalinjoja on tehty lähinnä jakeluautoille, joiden osalta uusissa malleissa päästään jopa 400 kilometrin toimintamatkoihin yhdellä latauksella /19/. Isompien yhdistelmien (40+ tn) sähköistymisestä ei ole vielä varmaa tietoa, mutta esim. Mercedes, Scania ja Tesla ovat jo ilmoittaneet tekevänsä sähköistetyn kuorma-auton myös tähän luokkaan /20/ /21/ /22/. Yleisesti näyttää, että perinteiset eurooppalaiset valmistajat ovat hieman jäljessä kiinalaisia ja yhdysvaltalaisia valmistajia sähköisen voimalinjan osalta, niin linja-autoissa (Kiina), kuin henkilöautoissa (Yhdysvallat). Tästä syystä todennäköistä on, että myös pidemmän matkan kuorma-autot yleistyvät Euroopassa, kun markkinoille tulee malleja Kiinasta tai Yhdysvalloista.

On nähtävissä, että tällä hetkellä sähköteiden kehitykseen on globaali intressi ja monet maat testaavat eri teknologioita valtiokustanteisilla piloteilla. Laajimman testauksen eri teknologioista on tämän selvityksen mukaan tehnyt Ruotsi. Heillä on aidosti pilotoitu eri vaihtoehtoja. Esimerkiksi Saksa on kohdentanut pilotit ja panokset vain omaan, eli Siemensin langasta lataamisen teknologiaan.

Sähköteihin selkeästi uskotaan ja sen koetaan olevan ratkaisu erityisesti suurempien sähköisten kulkuneuvojen pitkille matkoille. Useissa keskusteluissa on kuitenkin tullut esille, että sähkötien ei yksin koeta ratkaisevan haastetta, vaan tämän rinnalle tarvitaan myös paikallaan tapahtuvaa lataamista.

3 Potentiaaliset pilottikohteet liikkuvan liikenteen lataamiseen

Sähköteiden tulevaisuutta arvioitaessa oma maakohtainen pilottikohde on merkittävässä rollissa käytännön toimintoja ja kustannuksia arvioitaessa. Pilottikohteella voidaan todentaa mm. teknologian toimivuutta, operatiivisia kustannuksia ja hyötyjä tien käyttäjille. Pilottikohteeksi suositellaan lyhyempää tieosuutta, luokkaa 10–20 km, joka on toistuvan tavaraliikenteen piirissä. Optimaalinen paikka olisi kohde, jossa saman toimijan raskaamman liikenteen ajoneuvo ajaa kahden kohteen väliä useamman kerran päivässä. Tässä kappaleessa esitetään tiivis yhteenveto mahdollisista potentiaalisista pilottikohteista ja huomioitavista tekijöistä. Potentiaalisten pilottikohteiden osalta tarkempaan tarkasteluun päätyivät viisi kohdetta, jotka ovat esitetty luvussa 3.1. Tämän lisäksi kappaleessa taustoitetaan esivalintaa sekä nostetaan esille tekijöitä, joita tulee ottaa huomioon potentiaalisia pilottikohteita tarkemmin mietittäessä.

3.1 Alustavat pilottikohteet

Potentiaalisten pilottikohteiden esivalintaa tehtiin yhdistelemällä käytettävissä olevaa kuljetusdataa tavaralajeittain, keskimääräistä vuorokausiliikennettä (KVL), paikkatietoaineistoja sekä teollisuuden ja logistiikan keskittymiä. Näiden lisäksi esivalinnassa on hyödynnetty haastatteluista kertynyttä informaatiota reiteistä, jotka voisivat soveltua teollisuuden ja kuljetusalan tarpeisiin eri kuljetustyypeittäin.

Esivalinnassa kiinnitettiin huomiota erityisesti potentiaalisten pilottikohteiden reittien pituuksiin. Reiteissä pyrittiin korostamaan sellaisia yhteysvälejä, joiden pituus yhteen suuntaan olisi alle 20 kilometriä. Sekä käytettävissä olleen datan että haastattelujen perusteella nousi esille myös huomattava määrä kaupunkien sisäistä liikennettä. Tässä tarkastelussa kaupunkien sisäistä liikennettä ei kuitenkaan tutkittu sen tarkemmin, sillä reittien tai kokonaisuuksien määrittely olisi ollut varsin haasteellista. Pilotin suuntautuessa katuverkolle, tulee toteutuksessa myös ottaa huomioon kunta tai kaupunki tienpitäjänä.

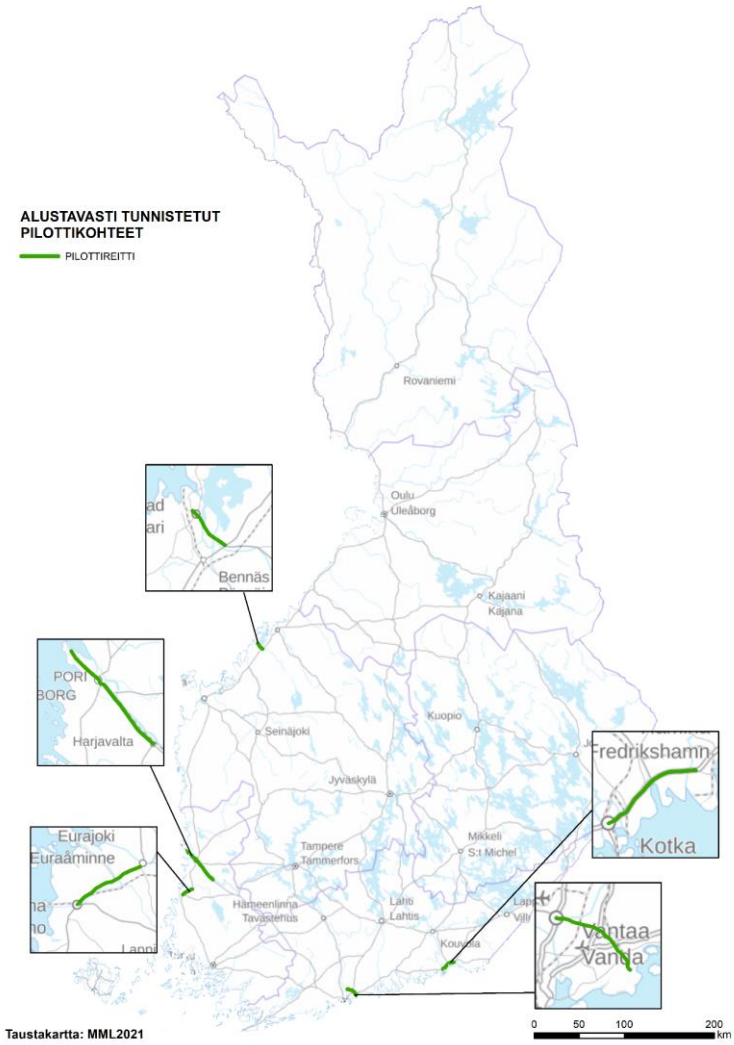
Alustavien pilottikohteiden osalta päädyttiin viiteen eri kohteeseen, joista neljä on pituudeltaan alle 15 kilometriä ja yksi selvästi pidempi, hieman yli 40 kilometrin, reitti. Pilottikohteet ovat esitetty pituusjärjestyksessä alla olevassa taulukossa 1 ja tarkemmin dokumentin liitteessä 1.

Taulukko 1. Yhteenveto pilottikohteiksi tunnistetuista reiteistä.

Reitti	Pituus	Tunnistetut tavaralajit
Pietarsaari – Pedersören kunta *(Kantatie 68)*	8 km	Puu Metalli Liha
Rauma – Eurajoki *(Valtatie 8)*	12 km	Kierrätysmateriaalit Puu Metalli

Reitti	Pituus	Tunnistetut tavaralajit
Helsinki (Vuosaari) – Vantaa *(Kantatie 50 & seututie 103)*	13 km	Kappaletavara Elintarvikkeet
Kotka – Hamina *(Valtatie 7)*	14 km	Hake & Paperi Kontit Polttoaine
Pori (Mäntyluoto) – Harjavalta *(Valtatie 2)*	44 km	Kemikaalit

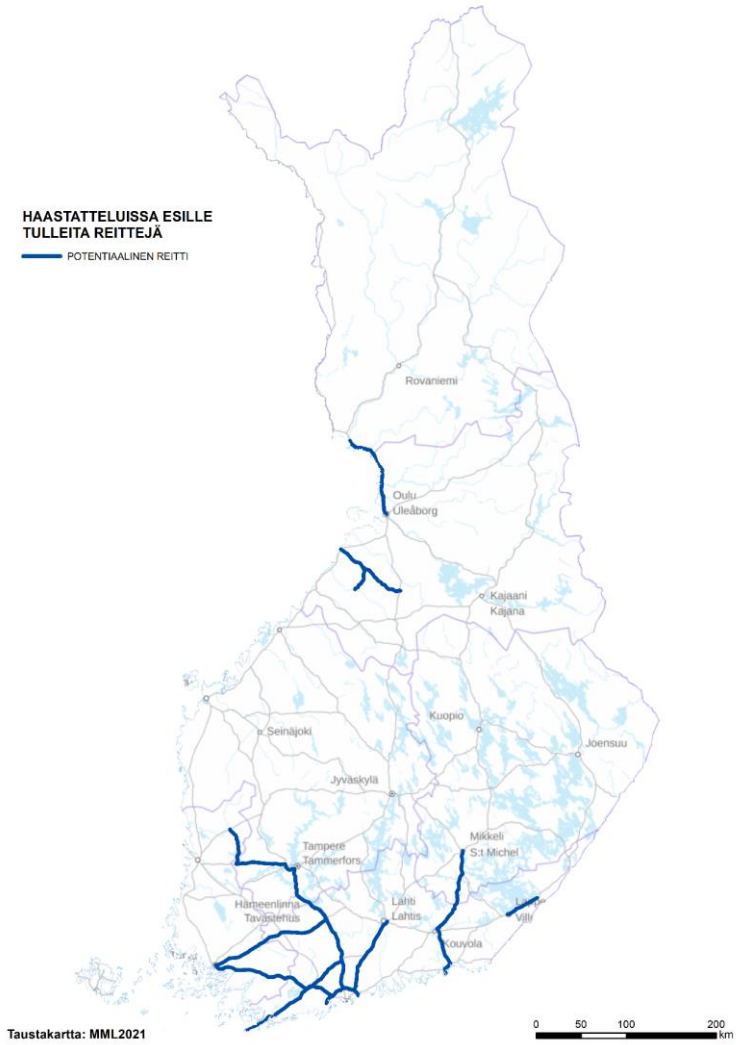
Kaikki taulukossa 1 esitellyt reitit sijaitsevat tieosuuksilla, jotka ovat melko vilkkaasti liikennöityjä. Liikennemääriltään vähiten liikennettä on Pietarsaaren ja Pedersören kunnan välillä, noin 7 200 ajoneuvoa vuorokaudessa. Sen sijaan esimerkiksi pääosin Kehää 3 kulkevalla reitillä Helsingin Vuosaaresta Vantaalle liikennemäärän painotetut keskiarvot ovat noin 40 000 ajoneuvossa vuorokaudessa. Huomioitavaa on myös, että pääosa pilottikohteista sijaitsee SEKV-tavoiteverkolla. Alustavasti tunnistettujen pilottikohteiden reitit ovat esitettynä alla olevassa kuvassa 4.



Kuva 4. Alustavasti tunnistetut pilottikohteet kartalla.

Karttakuvasta voidaan havaita, että alustavat pilottikohteet sijaitsevat pääosin Suomen eteläosissa. Reiteistä ainoastaan Pietarsaaren ja Pedersören kunnan välinen reitti sijaitsee merkittävästi pohjoisemmassa kuin muut alustavasti hahmotetut pilottikohteet. Kokonaisuus ja aiemmat verrokit esimerkiksi Ruotsista ja Saksasta huomioiden, tämä on merkittävä yksityiskohta, sillä merkittävästi pohjoisempi sijainti voi luoda osaltaan erilaisia lähtökohtia myös sää- ja keliolosuhteiden huomioinnissa.

Haastatteluissa esiin tulleiden ja muun aineiston perusteella potentiaalisiksi tunnistettujen alustavien pilottikohteiden välillä ei löytynyt merkittävästi korrelaatiota. Osittain Kotkan ja Vantaan seuduille tunnistetut pilottikohteet tulivat esille myös joissain haastatteluissa. Kuvassa 5 on esitetty tarkemmin reittejä, jotka nousivat esille teollisuuden ja kuljetusalan haastatteluissa.



Kuva 5. Haastattelujen perusteella tunnistetut reitit kartalla.

Kuten kuvasta 5 voidaan todeta, myös haastattelujen perusteella tunnistetut reitit painottuvat erityisesti eteläisen Suomen alueelle. Samaan aikaan kuitenkin pohjoisemmasta Suomesta on tunnistettu muutamia reittejä. Yleiskatsauksella voidaan todeta, että reitit ovat kokonaisuudessaan melko pitkiä. Reiteissä painottuu myös liikenne etelä-pohjoinen-suunnassa sekä jonkinlainen päätepiste meren (sataman) läheisyydessä.

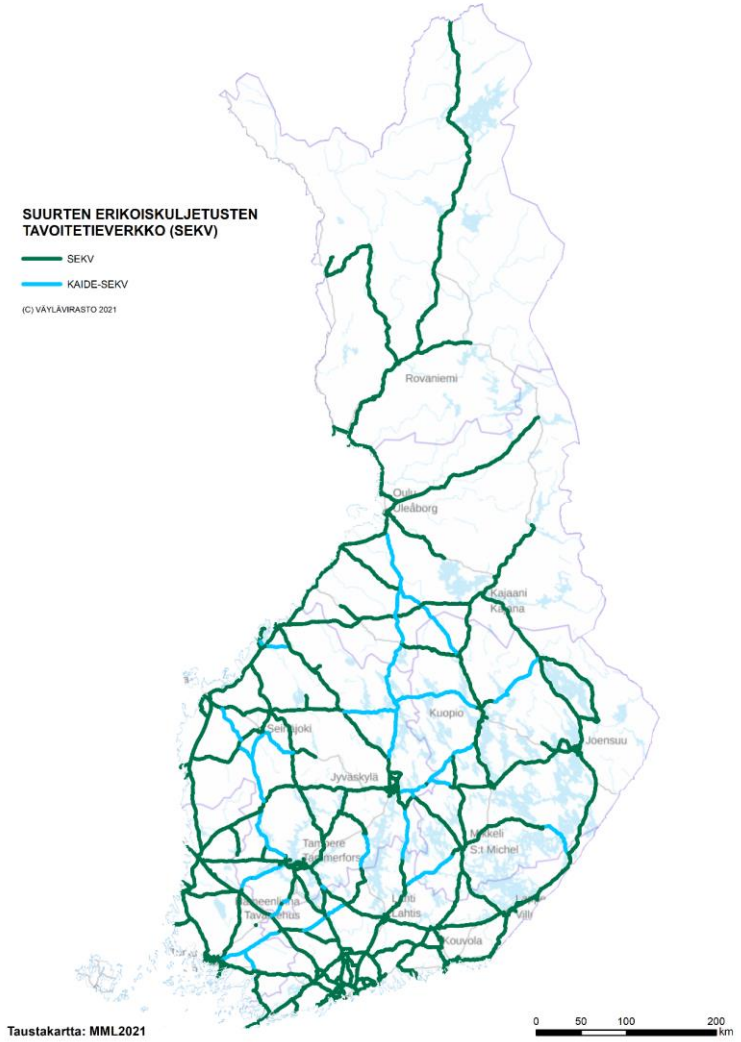
3.2 Huomioitavia tekijöitä

3.2.1 SEKV-tieverkko

Suurten erikoiskuljetusten tavoitetieverkon (SEKV) avulla pyritään varmistamaan mittojensa puolesta suurten erikoiskuljetusten liikkumisen mahdollistavat perusedellytykset Suomen tieverkolla. Samalla verkon avulla edesautetaan elinkeinoelämän kannalta elintärkeän kilpailukyvyn säilyttämistä kotimaan kuljetustarpeiden lisäksi myös ulkomaan vientiin suuntautuvien kuljetusten osalta.

Suurten erikoiskuljetusten reittien varmistaminen on tärkeää erityisesti eri teollisuuden haaroille sekä rakentamiselle, jotka ovat merkittävimpiä suurten erikois-

kuljetusten tarpeen synnyttäjiä. SEKV asettaa verkkoon kuuluville reiteille mitoitusvaatimukseksi kuljetuksen korkeuden ja leveyden osalta 7 m ja pituuden osalta 40 m. Tämän lisäksi osana SEKV-verkkoa on myös kaide-SEKV, jotka molemmat ovat esitettynä alla olevassa kuvassa 5.



Kuva 6. Suurten erikoiskuljetusten tavoitetieverkko vuoden 2021 tietojen perusteella.

Sähköteiden pilottikohteen valinnan sijoittuessa SEKV-verkolle, on huomioitava tien mitoitusvaatimusten säilyminen, sekä suurmuuntajien, keskikaiteiden ja muiden tierakenteiden sijainti.

3.2.2 Liikennemäärät

Tarkastelussa hyödynnettiin myös Väyläviraston tarjoamia, keskimääräisen vuorokausiliikenteen (KVL) tilastoja. KVL-tietoja on saatavilla monipuolisesti ja esimerkiksi tässä työssä on hyödynnetty sekä kokonaisliikennemäärää että raskaan liikenteen päivittäistä liikennemäärää. KVL-tiedot kertovat suuntaa antavasti tien käyttäjämääristä ja tätä voidaan edelleen hyödyntää, esimerkiksi mietittäessä yleistä potentiaalia tai rakentamisen aikaisia haittatekijöitä.

4 Latausinfran hankinta- ja elinkaarikustannukset

Kappaleessa on pohdittu eri lataustekniikoiden kustannuksia ja toteuttamiskelpoisuutta joulukuun 2021 tietojen mukaan. Samalla on vertailtu eri teknologioiden keskinäisiä etuja ja heikkouksia.

4.1 Taustaa

Euroopassa suunnitteilla olevien, ja olemassa olevien pilottikohteiden perusteella voidaan päätellä, että sähköteiden osalta on hyvä arvioida kolmea eri teknologiaa. Nämä teknologiat ovat langasta lataaminen, kiskosta lataaminen (maasta) ja langaton lataaminen.

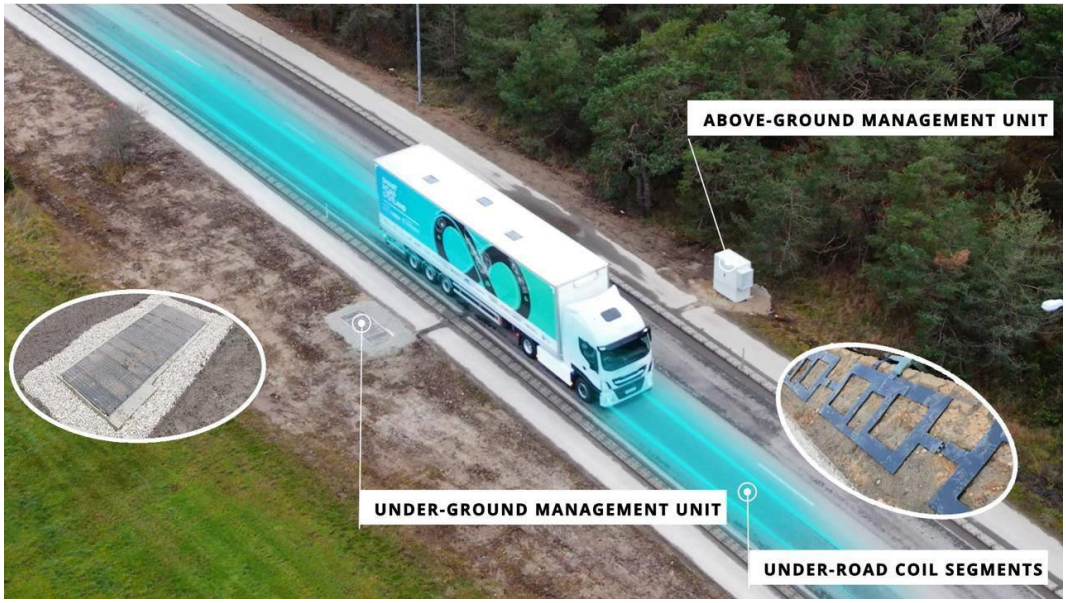
Langasta lataamisen pääperiaate on se, että tien yläpuolelle rakennetaan sähkölanka, josta ajoneuvot voivat ottaa energiaa pantografin avulla. Ajoneuvossa oleva pantografi nostetaan kiinni lankoihin (2 kpl), kun lataaminen halutaan aloittaa.

Kuva 7. Tyypillinen Siemensin ajolangasta lataava järjestely. Katolla auton pantografi (eli virroitin). /23/

Kiskosta lataamisen pääperiaate on se, että tiehen on asennettu sähköä johtava kisko, josta otetaan energiaa ajoneuvossa olevan ottimen avulla. Ajoneuvossa oleva otin lasketaan kiskon päälle, kun lataaminen halutaan aloittaa. Kisko voi olla tien päällä, tai upotettuna tiehen.

Kuva 8. Elonroadin teknologian mukainen latauskisko tiessä. /2/

Langattoman lataamisen pääperiaate on se, että tiehen on upotettu noin 3–10 senttimetrin syvyyteen kuparikäämejä, josta otetaan sähkömagneettisen kentän avulla energiaa ajoneuvossa olevaan yhteen tai useampaan vastaanottimeen. Ajoneuvossa olevaa vastaanotinta ei tarvitse liikuttaa, vaan lataaminen voidaan aktivoida, kun maassa oleva käämi ja vastaanotin tulevat lähelle toisiaan. Lumi ja jää käämin sekä vastaanottimen välissä eivät häiritse lataustapahtumaa.



Kuva 9. Electreonin valmistava induktiivinen latauslaitteisto silmukoineen ja ohjauslaitteineen. /24/

4.2 Lataustehot

Latausteknologiaa valittaessa on hyvä ottaa huomioon kunkin teknologian mahdollistamat lataustehot ja hyötysuhde. Yhtä tärkeää on ottaa tulevaisuuden ratkaisuissa huomioon myös se, että lataustehot käytännössä kasvavat eri teknologioissa koko ajan. Kun tulevaisuudessa saadaan lisää kokemusta latausprosessista ja siihen kuuluvista tekijöistä, tulevat lataustehot nousemaan.

Tämän kappaleen tiedot on yhdistelty eri selvityksistä ja laitetoimittajien antamista ilmoituksista. Tällä hetkellä eri teknologioiden lataustehot ajona aikana ovat seuraavilla tasoilla:

- Langasta lataaminen: n. 400 kW, ajonopeudella 100 km/h
- Kiskosta lataaminen: n. 300 kW (kun ajoneuvossa kaksi vastaanotinta), ajonopeudella 80 km/h (jopa 160 km/h mahdollinen)
- Langaton lataaminen: Tällä hetkellä n. 70 kW, kun ajoneuvossa viisi vastaanotinta, ajonopeudella 80 km/h. Teknologiaa on testattu 80 km/h ja valmistajan mukaan järjestelmä toimii myös normaaleilla moottoritienopeuksilla.

Ajon aikana tapahtuvan lataamisen kokonaisuudesta on vielä hyvä tiedostaa, kuinka paljon kukin teknologia mahdollistaa tällä hetkellä lataustehoa per kilometri. Tässä kyseiset tiedot teknologiavalmistajilta:

- Langasta lataaminen: 8,3 MW/km
- Kiskosta lataaminen: 3 MW/km
- Langaton lataaminen: 3 MW/km

Ajon aikana tapahtuvan lataamisen aikana tapahtuu myös hävikkiä. Tässä on listattu laitevalmistajien tarjoamat tiedot teknologioiden hyötysuhteista. Hyötysuhteiden vertailu on haastavaa, koska kaikki valmistajat vertailevat hieman eri asioita ja näin ollen täysin vertailukelpoista tulosta on mahdollista saada vain pilottien kautta. Tässä esitetyt hyötysuhteet on otettu ”lähettimestä vastaanottimeen”, sähköinfrastruktuurin tai auton sisäisten toimintojen hävikkiä ei ole otettu huomioon, koska oletetaan että ne ovat eri teknologioissa vertailukelpoiset.

- Langasta lataaminen: 99 %
- Kiskosta lataaminen: 97 %
- Langaton lataaminen: 97 %

Eri latausteknologioiden käyttökelpoisuutta on hyvä arvioida käytännön näkökulmista. Seuraavaksi käydään läpi muutamia esimerkkejä tähän liittyen. Näissä esimerkeissä on oletettu, että auton sisäisen energiansiirron hävikki on 3 prosenttiyksikköä. Lisäksi on hyvä ymmärtää, että akkuun ladattavan energian tehokkuus riippuu myös monesta muusta tekijästä (esim. akun lämpötila, akun varaustaso, vastaanottimen jäähdytys jne.). Oletetaan tämän hävikin olevan laskelmissa keskimäärin 10 % ja käytetään siitä seuraavissa esimerkeissä nimitystä lataamisen kokonaishyötysuhde.

4.2.1 Langasta lataaminen

Mikäli langasta lataamisen maksimi energiamäärä on 400 kWh ja oletetaan että langasta lataamisen kokonaishyötysuhde on 86 %, niin ajoneuvon akkuun tuleva energiamäärä latauksen aikana on 344 kWh.

Oletetaan, että raskaan liikenteen ajoneuvon kulutus on 2 kWh/km. Valtaväylillä raskas liikenne kulkee noin 80 km/h, jolloin tarvittava energiamäärä tunnin ajomatkalle on 160 kWh.

Näillä olettamilla langasta lataamisen lataustehoilla pystytään liikuttamaan ajoneuvoa 80 km/h nopeudella ja lisäksi lataamaan ajoneuvon akkua 184 kWh tunnissa.

4.2.2 Kiskosta lataaminen

Mikäli kiskosta lataamisen maksimi energiamäärä on 300 kWh ja oletetaan että langasta lataamisen kokonaishyötysuhde on 84 %, niin ajoneuvon akkuun tuleva energiamäärä latauksen aikana on 252 kWh.

Oletetaan, että raskaan liikenteen ajoneuvon kulutus on 2 kWh/km. Valtaväylillä raskas liikenne kulkee noin 80 km/h, jolloin tarvittava energiamäärä tunnin ajomatkalle on 160 kWh.

Näillä olettamilla kiskosta lataamisen lataustehoilla pystytään liikuttamaan ajoneuvoa 80 km/h nopeudella ja lisäksi lataamaan ajoneuvon akkua 92 kWh tunnissa.

4.2.3 Langaton lataaminen

Mikäli langattoman lataamisen maksimienergiamäärä on 70 kWh ja lataamisen kokonaishyötysuhde on 84 %, niin ajoneuvon akkuun tuleva energiamäärä latauksen aikana on noin 59 kWh.

Oletetaan, että raskaan liikenteen ajoneuvon kulutus on 2 kWh/km. Valtaväylillä raskas liikenne kulkee noin 80 km tunnissa, jolloin tarvittava energiamäärä tunnin ajomatkalle on 160 kWh.

Näillä olettamilla langattoman lataamisen lataustehoilla tulee ajoneuvoa liikuttaakseen 80 km/h nopeudella, ottaa akusta energiaa 101 kWh tunnissa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että mikäli raskasta ajoneuvoa ajetaan 2 tuntia kerrallaan, tulisi ajoneuvossa olla vähintään 202 kWh:n akku, joka pitäisi pystyä lataamaan tauon (15 min) aikana. Tällöin paikallaan tapahtuvan lataustehon tulisi olla vähintään 808 kW.

Tämänhetkisillä CCS (peak 125 kW) tai CCS 2.0 (peak 500 kW) -latauslaitteilla tällaiset lataustehot eivät vielä toteudu, mutta tulevalla MCS-megawattilatauksella lataus onnistuu vaadittavassa ajassa. Elokuussa 2021 prototyyppilaturilla on ladattu 3 750 kW teholla.

4.3 Standardit

Eri latausteknologioita ei ole vielä standardoitu, mutta EU:n tavoitteena on saada standardit ajon aikana tapahtuvaan lataamiseen vuoden 2024 ja 2025 aikana.

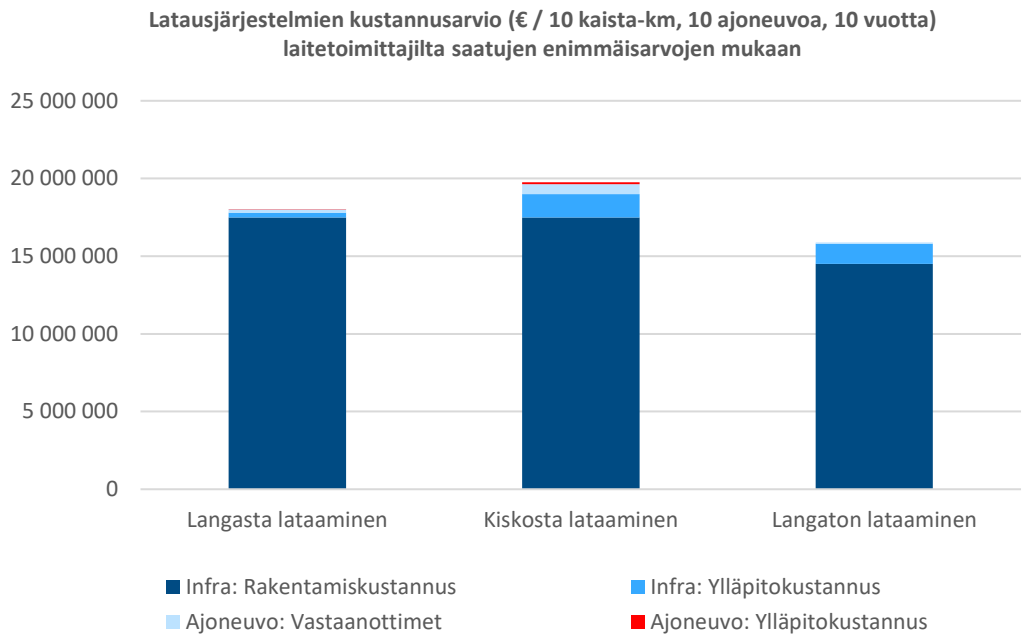
Latausteknologioiden valmistajat hyödyntävät kehityksessään jo mm. seuraavia standardeja

- IEC 62233
- IEC 62331
- EN 50119
- TS 50712

Standardointiin liittyen EU-tasolla on menossa Assured -projekti, jonka tavoitteena on standardoida raskaan ajoneuvon ja latauslaitteiden yhteensopivuutta. Tässä projektissa on testattu ainoastaan paikallaan tapahtuvaa latausta (pantografi, kiskosta lataaminen ja langaton lataaminen). Työ antaa kuitenkin hyvän pohjan myös ajon aikana tapahtuvan lataamisen standardoinnille. Suomesta VTT on ollut vahvasti mukana Assured -projektissa.

4.4 Kustannukset

Latausteknologioiden kustannusten arvioinnissa on hyvä ottaa huomioon sekä järjestelmän rakentamisesta johtuvat kustannukset, että järjestelmän ylläpitokustannukset. Alla mainittuja kustannuksia on saatu pilottikohteiden toteuttajilta (Trafikverket ja VDI VDE), sekä latausteknologioiden toimittajilta (Siemens, Electreon ja Elonroad). Infrastruktuurin rakentamisen kustannusten arvioinnissa on käytetty apuna Saksan Liikenneministeriön raporttia erityisesti sähköinfrastruktuurin rakentamisen suhteen. Sähköinfrastruktuurin rakentamisen kulut on tässä vertailussa arvioitu kaikille teknologioille samalle tasolle. Sähköinfrastruktuurilla tarkoitetaan sähköliittymää, kaapelointi liittymästä muuntajalle ja pienjännitemuuntaja, josta energia voidaan ottaa teknologialle. Sähköinfrastruktuuri on laskettu niin, että tehoa on saatavilla 1 MVA/km/kaista. Teknologian omien laitteistojen kustannukset on saatu teknologioiden valmistajilta. Ylläpidon kustannuksissa otetaan käytännössä huomioon laitteiston vuosihuollot, eli kustannuksissa ei ole otettu huomioon hälytyskorjauksia/hälytysvalmiudesta johtuvia kustannuksia. On hyvä huomioida, että kustannukset ovat tapauskohtaisia ja näin ollen arvioita.



Kuva 10. Ajonaikaisten latausjärjestelmien kustannukset 10 vuoden ajalle. Laadittu eri laitetoimittajien arviot yhdistäen.

Kaaviosta voidaan havaita, että infran rakentamis- ja ylläpitokustannukset muodostavat merkittävän osan hankkeen kokonaiskustannuksista. Ajoneuvoon asennettavat vastaanottimet ja ylläpitokustannukset eivät kasva kokonaisuuden kannalta merkittäväksi, mikä on hyvä huomioida mahdollisen pilottikohteen reunaehtoja määrittäessä teollisuuden ja kuljetusalan toimijoiden kanssa. Tässä laskelmassa ei ole huomioitu diesel- ja sähköauton hintaerotusta tai jälleenmyyntiarvoa selvitystä tehdessä, vaan oletusarvona on, että hankintakohteena on sähköauto joka tapauksessa.

Alla on kaavion laskenta-arvot tarkemmin. Eri teknologioiden kustannusten arvioinnissa on hyvä huomioida se, että langasta lataamisen teknologiasta on saatavilla tarkempaa tietoa, kuin muista teknologioista, koska langasta lataamisen teknologia on ollut käytössä jo vuosikymmeniä. On siis tärkeää ottaa huomioon, että kiskosta lataamisen ja langattoman lataamisen kustannukset ovat enemmän valmistajien antamia arvioita, kuin käytännössä todennettuja kustannuksia. Langattomasta lataamisesta saatava latausteho on myös toistaiseksi merkittävästi pienempi, kuin muissa teknologioissa. Tehojen tasaantuessa myös kustannukset todennäköisesti tasaantuvat.

4.4.1 Langasta lataamisen kustannukset

Langasta lataamisen rakentamiskustannukset ovat noin 1,8 M€/km/kaista pilottihankkeissa. Kustannusarvio sisältää kokonaiskustannukset, eli mm. projektihallinnan, sähköinfrastruktuurin rakentamisen, teknologian johdinrakenteiden laitteet, sekä tarvittavat asennukset, kytkennät ja maaurakointityöt. Oletus on, että kustannus laskee noin 1,25 M€/km/kaista, kun järjestelmää rakennetaan laajemmassa mittakaavassa.

Taulukko 2. Ajolankalaitteiston kustannusten arviointi.

Kustannus EUR per km		Teholuokka: MW / km (molemmat suunnat yhteensä)		
	Lisätietoja	1	2	8,3
Parhaimmillaan	Kantaverkkoyhteys 3 km välein, yhteyspituus 500 m, kaapelin hinta 50 EUR per metri. Ei suojausta.	€ 1 463 000	€ 1 763 000	€ 3 883 300
Huonoimmillaan	Kantaverkkoyhteys 3 km välein, yhteyspituus 2500 m, kaapelin hinta 100 EUR per metri, 200.000 EUR per km suojaukseen (kaiteet ym.)	€ 1 930 000	€ 2 260 000	€ 4 350 000
Keskiarvokustannus		€ 1 696 500	€ 2 011 500	€ 4 116 650
Keskiarvokustannus/MW		€ 1 696 500	€ 1 005 750	€ 493 998

Langasta latauksen verkoston ylläpito ja huollot ovat Destian ratapalvelut -liiketoiminnan kokemusten mukaan luokkaa 2 000–3 000 €/km/vuosi. Tästä kustannuksesta puuttuu sähköasemien vuosihuollot, joiden kustannusarvio on vain muutamia satoja euroja/km/vuosi, eli tämä ei ole merkittävä kulu kokonaisuudessa. Latausjärjestelmään liittyvien kulujen lisäksi on hyvä huomioida vielä ajoneuvojen vastaanottolaitteen (pantografi) kustannukset. Pantografissa olevat vastaanottimet (hiilet) kuluvat nopeammin, kuin itse lataamiseen käytettävä lanka, mutta myöskään näiden hiilien kustannukset eivät ole merkittäviä, verrattuna esim. itse pantografin kustannukseen. Latausalueen pituus vaikuttaa merkittävästi myös ylläpito- ja huoltokustannuksiin. Käytännössä tässä kommentoidut kustannukset tulevat pitkien latausalueiden kokemuksista (Suomen nykyinen rautatieverkko).

Yhteenvetona langasta lataamisen kustannusarviot (alv 0 %):

- **Investoinnit**
  - Rakennuskustannukset langasta lataamisen teknologialle (valmiiseen tiepohjaan) on noin 1 750 000 €/km/kaista. (Sähköinfrastruktuurin ja projektihallinnan osuus noin 790 000 €.)
  - Vastaanottimet ajoneuvoon, noin 10 000–20 000 €/ajoneuvo
- **Ylläpito ja huolto**
  - Latausinfrastruktuuri 5–10 vuotta: 2 000–3 000 €/kaista-km/vuosi
  - Ajoneuvon vastaanotin 5–10 vuotta: 500 €/ajoneuvo/vuosi
- **Kokonaiskustannukset** (10 km, 10 ajoneuvoa ja 10 vuotta)
  - 10 km langasta ladattavan sähkötien
    - Rakentamiskustannukset noin 17 500 000 €
    - Ylläpitokustannukset noin 200 000–300 000 €
  - 10 ajoneuvon kustannukset
    - Vastaanottimet 100 000–200 000 €
    - Ylläpitokustannukset noin 5 000 €
- **Kustannusarvio yhteensä:** 17 805 000 €–18 005 000 €

Teiden normaalin ylläpidon kannalta langasta lataaminen ei aiheuta ylimääräisiä kustannuksia. /26/ /27/ /28/ /29/ /30/

4.4.2 Kiskosta lataamisen kustannukset

Kiskosta lataamisen rakentamiskustannukset ovat noin 1,8 M€/km/kaista. Kustannusarvio sisältää kokonaiskustannukset, eli mm. projektihallinnan, sähköinfrastruk-

tuurin rakentamisen, teknologian maa-asennuslaitteet, sekä tarvittavat asennukset, kytkennät ja maaurakointityöt. Kiskosta lataamisessa ajoneuvoon tulee kaksi laitetta, autoon asennettava laturi (on-board charger) ja kiskolle laskettavat vastaanottimet. Näiden yhteishinta on ajoneuvosta riippuen 5 000–32 000 €/kpl.

Kiskosta lataamisen verkoston ylläpito ja huolto -kustannukset ovat valmistajan arvion mukaan noin 2 %/vuosi investointikulusta, eli noin 15 000 €/km/kaista. Näiden kulujen lisäksi on hyvä huomioida vielä ajoneuvojen vastaanottimien huoltokustannukset, jotka ovat arvioiden (ei riittävästi historiatietoa) mukaan kuormaautoissa noin 1 200 €/vuosi. Käytännössä kuluva osa on ajoneuvossa oleva vastaanottimen pää, jonka voi vaihtaa erikseen (koko vastaanotinta ei tarvitse vaihtaa).

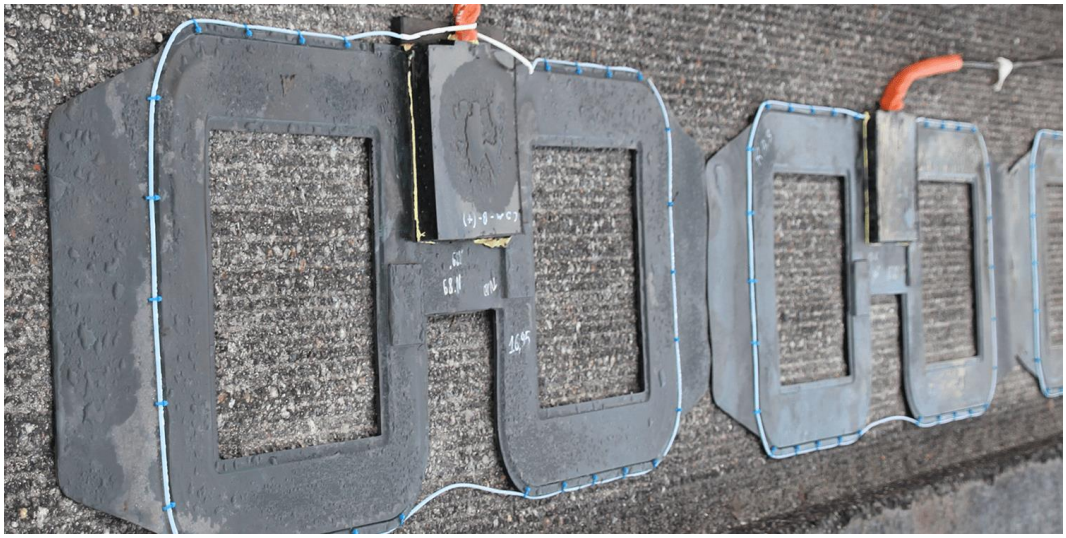
Yhteenvetona kiskosta lataamisen kustannukset:

- **Investoinnit**
  - Rakennuskustannukset kiskosta lataamisen teknologialle (valmiiseen tiepohjaan) on noin 1 750 000 €/km/kaista. (Sähköinfrastruktuurin ja projektihallinnan osuus noin 790 000 €)
  - Vastaanottimet ajoneuvoon (yhteensä 6 kontaktia), max 64 000 €/ajoneuvo
- **Ylläpito ja huolto**
  - Latausinfrastruktuuri 5–10 vuotta: 15 000 €/kaista-km/vuosi
  - Ajoneuvon vastaanotin 5–10 vuotta: 1 200 €/ajoneuvo/vuosi
- **Kokonaiskustannukset** (10 km, 10 ajoneuvoa ja 10 vuotta)
  - 10 km kiskosta ladattavan sähkötien
    - Rakentamiskustannukset noin 17 500 000 €
    - Ylläpitokustannukset noin 1 500 000 €
  - 10 ajoneuvon kustannukset
    - Vastaanottimet (max) 640 000 €
    - Ylläpitokustannukset noin 120 000 €
- **Kustannusarvio yhteensä:** 19 760 000 €

Teiden normaalin ylläpidon kannalta kiskosta lataaminen ei aiheuta ylimääräisiä kustannuksia, olettaen että kisko on upotettu tiehen. /5/

4.4.3 Langattoman lataamisen kustannukset

Langattoman lataamisen kustannukset ovat noin 1 400 000 €/km/kaista. Kustannusarvio sisältää kokonaiskustannukset, eli mm. projektihallinnan, sähköinfrastruktuurin rakentamisen, teknologian maa-asennuslaitteet, sekä tarvittavat asennukset, kytkennät ja maaurakointityöt. Tämän lisäksi kustannusta tulee ajoneuvoon asennettavasta vastaanottimesta, jonka kustannus on noin 2 000 €/kpl. Tässä kustannuslaskelmassa voidaan käyttää oletuksena määrää 4 vastaanotinta/ajoneuvo.



Kuva 11. Smartroad Gotland, tiehen upotettavia induktiivisen lataamisen käämejä. /30/

Langattoman lataamisen ylläpidossa pitää ottaa huomioon lähinnä lataamisen kontrollointia hoitavan "Management Unitin" huollot. Valmistaja arvioi, että tämän huoltokustannukset ovat noin 2 % kaistakilometrikustannuksista, eli noin 13 000 €/km. Management Unitin käyttöikä on 5–10 vuotta.

Ajoneuvon vastaanottimet ovat rakenteeltaan melko yksinkertaiset. Ne ovat joko neste- tai ilmajäähdytteisiä ja käytännössä huoltovapaita.

Yhteenvetona langattoman lataamisen kustannukset:

- **Investoinnit**
  - Rakennuskustannukset langattoman lataamisen teknologialle (valmiiseen tiepohjaan) on noin 1 450 000 €/km/kaista. (Sähköinfrastruktuurin ja projektihallinnan osuus noin 790 000 €)
  - Vastaanottimet ajoneuvoon, noin 8 000 €/ajoneuvo
- **Ylläpito ja huolto**
  - Latausinfrastruktuuri 5–10 vuotta: 13 000 €/kaista-km/vuosi
  - Ajoneuvon vastaanotin 5–10 vuotta: Visuaalinen tarkastus normaalin ajoneuvo -huollon yhteydessä.
- **Kokonaiskustannukset** (10 km, 10 ajoneuvoa ja 10 vuotta)
  - 10 km langattomasti lataavan sähkötien
    - Rakentamiskustannukset noin 14 500 000 €
    - Ylläpitokustannukset noin 1 300 000 €
  - 10 ajoneuvon kustannukset
    - Vastaanottimet 80 000 €
    - Ylläpitokustannukset noin 0 €
- **Kustannusarvio yhteensä:** 15 880 000 €

Teiden normaalin ylläpidon kannalta langaton lataaminen ei aiheuta ylimääräisiä kustannuksia. /7/

4.5 Arvio sähkötien ja paikallaan tapahtuvan lataamisen eroista

Paikallaan tapahtuvan perinteisten kuparijohtimien ja -liittimien kautta tapahtuva lataus on energiahäviöiltään pienin ja toimintavarmuudeltaan sekä turvallisuudeltaan toistaiseksi suurin. Ajonaikainen lataus kuitenkin tukee, tai parhaimmillaan tulevaisuudessa korvaa kokonaan paikallaan tapahtuvan lataustarpeen. Tämä taas tuo tullessaan erilaisia hyötyjä yritystoiminnan taloudellista kannattavuutta (vähemmän seisonta-aikaa) ja akuston kokoa, painoa sekä hintaa ajatellen.

Sähkötien teknologioista kaksi perustuu mekaaniseen kontaktiin. Seuraavassa verrataan tarkemmin langatonta latausta paikalla tapahtuvaan lataamiseen. Induktiivinen lataustekniikka, eli tien pintaan integroitu sähkömagneettinen lataus tuo tekniikkana tullessaan erilaisia haasteita. Latauskohde on jatkuvassa liikkeessä ja virta siirtyy ilman fyysistä kosketusta latauskäämistä sähkömagneettisesti auton vastaanottimeen. Latauksen siirtymisen rajoitteena on silloin:

1. Käämien latausteho
2. Auton vastaanottimien kapasiteetti
3. Siirtoaika – eli kuinka pitkään sähkölatauksen piirissä ollaan.

Käämien latausteho ja vastaanottimien kapasiteetti kehittyy jatkuvasti, mutta siirtoaikaa voidaan kasvattaa tekniikasta riippumatta joko pidentämällä lataavaa tieosuutta, tai vaihtoehtoisesti hidastamalla ajoneuvoa latauksen ajaksi.

Liikenneviraston selvityksen "*HCT- ja normaaliajoneuvojen energiankäyttö, hiilidioksidipäästöt ja tiekuormitus*" mukaan, kun tien pituuskaltevuus on 0 %, on tehontarve vähäinen ja määräytyy massan ja ajonopeuden mukaan. Tehontarve riippuu voimakkaasti yhdistelmän massasta ja ajonopeudesta. Kuormatuilla ajoneuvoyhdistelmillä tehontarve vaihteli yhdistelmästä toiseen ja oli välillä 75–150 kW ajonopeudella 70 km/h ja välillä 125–250 kW ajonopeudella 90 km/h. Kuormaamattomilla ajoneuvoyhdistelmillä tehontarve oli välillä 50–100 kW ajonopeudella 70 km/h ja välillä 85–175 kW ajonopeudella 90 km/h. /32/

Tarkoituksenmukaisinta liikennevirran sujuvuuden ja tekniikan yleisen hyväksyttävyyden kannalta on loppuvaiheessa operoida raskaan kaluston rakenteellisella enimmäisnopeudella 80 km/h, mutta ensivaiheessa latauksen pilotointi voisi tapahtua pienemmälläkin ajonopeudella: Ajonopeutta 25 % laskemalla laskevat ajovastukset teoreettisesti noin 50 %. Eli käytännössä laskemalla ajonopeutta 80 km/h → 60 km/h, laskee saman yhdistelmän ja ajotilanteen aikainen energiatarve 160 kWh → 80 kWh. Samalla ajoneuvo viettää aikaa 25 % kauemmin latauksen siirtoajan piirissä.

Seuraavat esimerkit on laskettu tasaisessa ajotilanteessa siten, että latausta on tarjolla jatkuvasti. Siinä ei ole huomioitu ajotapaa, eli kiihdytyksen ja jarrutuksen luomia virrankulutukseen merkittävästi vaikuttavia piikkejä.

4.5.1 Induktiivisen latauksen esimerkki

Mikäli yhdistelmä ajaa 80 km/h ja kuluttaa 2 kWh/km, niin kulutus olisi 160 kW tunnissa. Käytännössä tarkoittaa, että pitääkseen varaustason samalla tasolla, on lataustehon oltava 160 kWh.

Jatkuva lataus nopeutta alentamalla: Jos yhdistelmässä on 4 kappaletta 25 kWh vastaanottimia, on teoreettinen latausteho (ilman hävikkiä) 100 kW. Tämä latausteho riittää ajovastusten voittamiseen lataushäviöineen nopeudella 60 km/h, mutta ei enää nopeudella 80 km/h. Korkeammalla ajonopeudella tarvittaisiin siten lisäksi myös paikallaan tapahtuvaa latausta.

Ylläpitävä lataus nopeus säilyttäen: Mikäli yhdistelmän akkukapasiteetti on 400 kWh ja kulutus 2 kWh/km, on ajoneuvon teoreettinen kantama (ns. range) 200 km. 80 km/h vauhdilla akustolla voi ajaa tasaisella kulutuksella enintään 2,5 h. Mikäli koko matkan ajan ladataan akustoa 80 kWh -teholla, saadaan 2,5 tunnin aikana lisäkilometrejä 100.

4.5.2 Paikallaan tapahtuvan latauksen esimerkki

Mikäli yhdistelmän kulutus on 2 kWh/km ja se ajaa 80 km/h kahden tunnin pätkissä, on yhdistelmän kulutus yhteensä 320 kWh/2 tuntia.

Kahden tunnin jälkeen pidettävä 15 min tauko tulisi toteuttaa niin, että yhdistelmä ehtii lataamaan vähintään 320 kWh, mikä tarkoittaa vähintään 1 280 kWh:n lataustehoa. 800 V jännitteellä tarvitaan virtaa siis noin 1 600 A (varmuudeksi noin 2 000 A) per yhdistelmä.

4.5.3 Kustannukset paikallaan tapahtuvalle lataukselle

Tässä kustannusarviossa paikallaan tapahtuvalle lataamiselle on käytetty Saksan VDI - VDE:n arviota megawatti -tason lataamisen investointikustannuksista, mikä on 0,4 M€/latauspiste. Paikallaan tapahtuvan lataamisen oletuksina on, että ajoneuvot liikkuvat 800 km/päivä ja kahdelle ajoneuvolle riittää yksi 1 MW -latauslaite. Lisäksi ylläpitokustannukseksi on arvioitu 10 % latauslaitteen investointikustannuksista per vuosi. Muuten kustannukset lasketaan samalla periaatteella kuin aikaisemmin ajon aikana tapahtuvalla lataamisella, eli 10 ajoneuvoa ja 10 vuotta. Näillä oletuksilla saadaan seuraavanlaiset laskelmat.

- Paikallaan tapahtuvan lataamisen kustannukset 10:lle ajoneuvolle
  - Rakentamiskustannukset viidelle 1 MW:n -latauslaitteelle noin 2 000 000 € (VDI-VDE)
  - Ylläpitokustannukset noin 200 000 €/vuosi
- 10 ajoneuvon kustannukset
  - Vastaanottimet 0 €
  - Ylläpitokustannukset 0 €
  - **Kustannusarvio yhteensä (10 vuotta, 10 ajoneuvoa): 4 000 000 €**

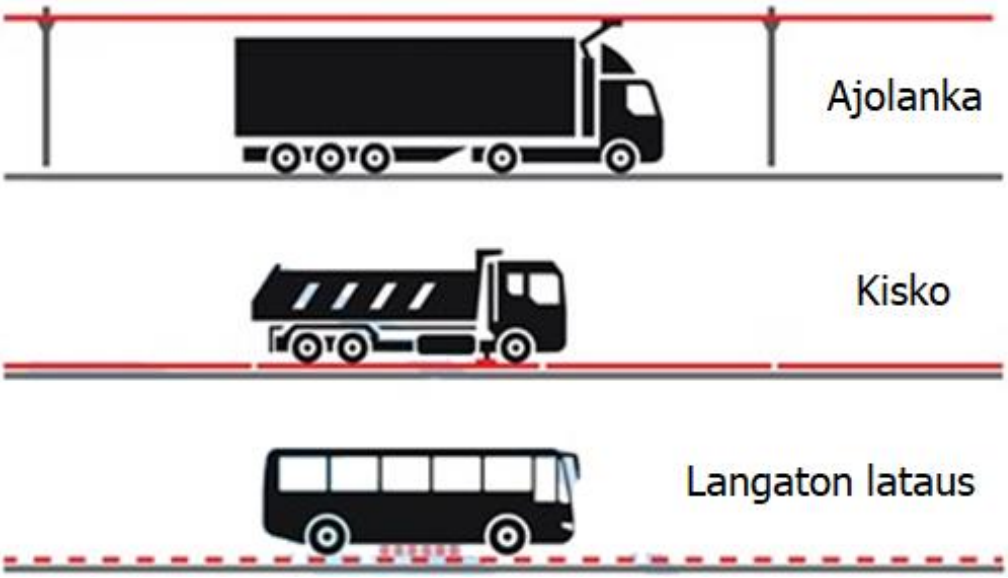
On hyvä huomioida, että matkan varrella suoritettava, paikallaan tapahtuva lataaminen tapahtuu pääsääntöisesti korkealla latausteholla, koska latausaika on lyhyt. Latausteho vaikuttaa sekä latauslaitteiden, että akkujen kestoon ja ylläpitokuluihin.

Lisäksi paikallaan tapahtuvan lataamisen mallissa on hyväksyttävä se tosiasia, että ajoneuvojen akkujen koko tulee olla tässä toimintamallissa suuri. Nykyisen akkuteknologian ympäristövaikutus on merkittävä ja tämä on suoraan suhteessa ajoneuvossa olevan akun kokoon. Mitä suurempi akku, sitä suurempi ympäristövaikutus.

4.6 Yhteenveto

Edellä mainittujen ajon aikana tapahtuvien latausteknologioiden välillä on merkittäviäkin eroja, mikäli arvioidaan kunkin teknologian nykytilaa ja tulevaisuuden näkymiä. Jokaisen teknologian osalta on hyvä tiedostaa se, että energian vastaanottamiseen tarvitaan ajoneuvoon vastaanotin, jota ei ole vielä standardoitu tai hyväksytty eri automerkkeihin/-malleihin. Tästä syystä piloteissa tulee ottaa huomioon myös ajoneuvokohtaiset kustannukset. Mahdollisen pilottikohteen yhteydessä on hyvä arvioida myös tarkemmin pidemmän ajan energian tarvetta ja kustannusta per sähkötien kilometri.

Tässä yhteydessä ei arvioitu tarkemmin eri teknologioiden mahdollisuuksia liittyen ajoneuvojen energian seurantaan tai maksatusmahdollisuuksiin. Kukin teknologia on kuitenkin rakennettu niin, että energian kohdentaminen on mahdollista ja näin ollen emme näe näissä asioissa merkittäviä eroja eri teknologioiden välillä.



Kuva 12. Ajonaikaiset lataustekniikat yksinkertaisena havainnekuvana. /30/

Yleisesti voidaan todeta, että kaikkien ajon aikana tapahtuvan lataamisen teknologioiden kustannustasot ovat lähes samalla tasolla. Langattoman lataamisen kustannus on euromääräisesti alhaisempi kuin muilla, mutta myös lataustehon taso on alhaisempi.

Tällä hetkellä koetelluin teknologia on ehdottomasti ajolangasta lataaminen. Kyseistä tekniikkaa on käytetty jo kymmeniä vuosia raideliikenteessä ja näin ollen suurimmat haasteet toteutuksessa on jo voitettu. Langasta lataamisen teknologian arvioidut rakennuskustannukset luotettavimmat pitkän historian ansiosta. On hyvä huomioida, että muiden teknologioiden kustannukset, sekä tehokkuusarvot ovat enemmän arvioita, kun taas langasta lataamisessa käytännön tietoa on jo paljon saatavilla. Langasta lataamisen suurimpana haasteena on, että teknologiaa voidaan järkevästi käyttää ainoastaan raskaassa liikenteessä.

Kiskosta lataaminen sopii taas paremmin myös henkilöautojen lataamiseen, mutta tämäkin teknologia perustuu fyysiseen ja mekaanisen toimintaan, kuten myös langasta lataus. Fyysinen kosketus lataustapahtuman yhteydessä, sekä mekaaninen

liike sen saavuttamiseksi, ovat latausprosessin vaiheita, joista pidemmällä aikavälillä aiheutuu kulumaa ja sitä kautta toiminnan epävarmuutta. Mekaaninen liike tuo näihin teknologioihin hyvin todennäköisesti ylläpidollisia lisäkuluja, joita on tällä hetkellä vaikeaa arvioida.

Langaton lataus on taas tällä hetkellä kauempana järkevästä taloudellisesta toteutuksesta kuin kaksi muuta teknologiaa. Pääsyy tähän on saavutettava latausteho ajon aikana. Toisaalta positiivisia asioita on paljon:

- Itse lataustapahtuma ei tarvitse mekaanista toteutusta, eikä fyysistä kosketusta.
- Teknologia on toteutettavissa kaikkia ajoneuvoja palvelevaksi.
- Järjestelmän kustannukset kestävät hyvin vertailun muihin teknologioihin.
- Langattoman latauksen eduksi tulee katsoa myös sen esteettisyys. Ainoa tien ulkopuolelle näkyvä osa on käytännössä latausta kontrolloiva (MU) Management Unit -yksikkö.
- Langaton lataus ei ole harvaan asutuilla alueilla peltojen ympäröimänä niin herkkä ulkoisille vaurioille ja luonnonvoimille, kuin esimerkiksi ajolangat ovat. Samoista syistä myös yleissähkönjakelun runkoverkkoa on siirretty maan alle haja-asutusalueilla lähivuosina.

Kokonaisuudesta todetaan, että mahdollisessa pilottikohteessa on hyödyllistä kokeilla paikallaan tapahtuvan lataamisen ja ajon aikana tapahtuvan lataamisen kombinaatiota. Tätä kokonaisuutta tukee myös kuljetusalan toimijoiden keskuudessa tekemiemme haastattelujen tulokset. Nämä tavat tukevat hyvin toisiaan ja saa kokonaisjärjestelmän toimintavarmemmaksi kuin, että käytettäisiin ainoastaan toista näistä lataustavoista.

Mikäli pilottikohde on teknologiapainotteinen, suosituksemme on, että ajon aikana tapahtuvasta latauksesta pilotoitaisiin langatonta lataamista ja kiskosta lataamista. Perustelemme suositusta sillä, että langasta lataamisen ominaisuudet ja toimintavarmuus pääasiassa tiedetään jo ratapuolelta ja siksi kyseistä teknologiaa ei tarvitse enää erikseen pilotoida. Langattoman lataamisen etu on se, että mekaanista toimintoa tai fyysistä kosketusta ei tarvita lataustapahtuman suorittamiseen ja kiskosta lataamisen etu on korkeammat lataustehot.

Samaan aikaan pilotista saatavien kokemusten kanssa on kuitenkin syytä seurata tarkasti, mikä latausteknologia saavuttaa suosiota ulkomailla ja minkä standardin ajoneuvoja markkinoille tulee saataville. Kansallisen latausverkostomme harmonisointi muiden maiden kanssa on välttämätöntä teollisuutemme kilpailukyvyn säilyttämiseksi.

5 Pilottikohteen valinta ja toteutuksen esisuunnittelu

Tähän kappaleeseen on kerätty muutamia askelmerkkejä, jotka on huomioitava pilottikohteen teknologian valinnassa ja esisuunnitteluvaiheessa yhteistyökumppaneiden kanssa.

Merkittävä osa kustannuksista pilotin osalta muodostuu infran rakentamiskustannuksista. Pilottivaiheen kustannusjako on selvitettävä tarkasti jo pilotin suunnitteluvaiheessa, sillä haastatteluissakin todettiin kuljetusalan toimijoiden suhtautuvan varsin nihkeästi ylimääräisiin kustannuksiin kokeilumielessä – vaikka toisessa vaakakupissa painaakin yritysten ympäristötavoitteet. Vaikka kuljetusyhteistyökumppani vastaisi ajoneuvon hankintaan ja varusteluun (esim. vastaanottimet) liittyvistä kustannuksista, on kuitenkin hyödyllistä pyrkiä neuvottelemaan yritysten kanssa energian käyttöön ja käytön kohdistukseen liittyvät seikat.

Jos pilottiin ryhdytään viipymättä, sen painotus voisi olla enemmän teknologiassa. Jos pilottia päädytään tekemään myöhemmin, niin on järkevää hyödyntää muualla saatuja kokemuksia ja kokeilla esimerkiksi enemmän teknologian operatiivista toimintaa ja sen tehokkuutta - sekä selvittää teknologian toimivuutta kaupallisessa käytössä.

5.1 Pilotoitavan teknologian arviointia

Mahdollisessa tulevaisuuden pilottikohteen teknologian arvioinnissa on hyvä ottaa huomioon ainakin seuraavia asioita:

- Miten paljon tietoa teknologiasta on tällä hetkellä saatavilla?
- Miten pitkän aikavälin tähtäimellä pilottia tehdään?
- Miten laajaan käyttöön teknologiaa halutaan arvioida?

Kun näitä kysymyksiä mietitään tässä selvitystyössä oleviin teknologioihin, on hyvä huomioida seuraavia asioita:

- Langasta lataamisesta on tietoa ja kokemusta jo vuosikymmenten ajalta. Tästä johtuen langasta lataamisen teknologiasta on merkittävästi tarkempaa käytännön tietoa verrattuna kahteen muuhun tässä selvitystyössä arvioituun teknologiaan.
- Kiskosta lataamisesta ei ole merkittävästi tietoa ja käyttökokemuksia saatavilla. Teknologian etuna on korkeat lataustehot ajon aikana, sekä mahdollisuus hyödyntää teknologiaa niin raskaassa liikenteessä, kuin henkilöautoissa.
- Langattomasta lataamisesta ei ole merkittävästi tietoa ja käyttökokemuksia saatavilla. Teknologian etuna on lataamisen toteutus ilman mekaanista liikettä/kulumaa, sekä mahdollisuus hyödyntää teknologiaa niin raskaassa liikenteessä, kuin henkilöautoissa.

Näillä pohjatiedoilla langasta lataamisen pilotointia suositellaan harkittavan tarkkaan tässä vaiheessa, koska pilotointitarve on olemassa olevien tietojen perusteella pieni. Käytännössä on oletettavaa, että pilotti ei tuo merkittävää lisätietoa tekno-

logian toimivuudesta tai kustannuksista. Tämä teknologia on kuitenkin tärkeää ottaa mukaan, mikäli pilotin tavoitteena on kokeilla teknologian toimivuutta kaupallisessa käytössä ja kun mietitään pilotin jälkeistä aikaa ja laajempaa toteutusta sähkötien suhteen.

Kiskosta lataaminen ja langaton lataaminen ovat molemmat teknologioita, joista on vähemmän tietoa saatavilla ja olisivat näin ollen hyviä teknologioita pilotointiin. Näiden teknologioiden erot ovat käytännössä merkittäviä, eli mikäli molempia teknologioita ei voida pilotoida, on arviointi tehtävä tarkasti perustuen tulevaisuuden suunnitelmiin ja tavoitteisiin.

5.2 Pilotin toteutuksen esisuunnittelu

Mahdollisen pilotin toteutuksen suunnittelu on merkittävässä roolissa projektin toteutuksen kannalta ja siinä on hyvä ottaa huomioon mm. seuraavia asioita:

- Pilottikohteen tarkempi arviointi (huomioiden mahdolliset tiesaneeraukset) ja alueellisen ELY-keskuksen tai kunnan/kaupungin sitouttaminen projektiin
- Pilottikohdetta käyttävän kaupallisen toimijan sitouttaminen pilottiin
- Pilottikohdetta käyttävien mahdollisten ulkomaisten toimijoiden kiinnostus projektiin, sekä mahdollinen kustannustenjako
- Viestintä, riskienhallinta- ja koulutussuunnitelma: Sähköteiden turvallisuus- ja koulutussuunnitelmien selvitys muille tienkäyttäjille ja viranomaisille hankkeen edetessä. Varaudutaan mm. Miten tieosuus vaikuttaa pelastustöihin, millaista keskustelua sähkötie tulee todennäköisesti aiheuttamaan julkisuudessa jne.
- Yhteistyö toimijan kanssa, joka on vastaavia projekteja toteuttanut (mm. Trafikverket). Mahdollisuus saada kokemuspohjaista tietoa vastaavista projekteista
- Latausteknologian ja pilotin toteutuksesta (rakentaminen ja ylläpito) vastaavien toimijoiden valitseminen, sekä vastuualueiden sopiminen (mukaan lukien kustannusjako, toteutusaikataulut, jne.)
- Arviointi siitä, mitä asioita pilotilla halutaan saavuttaa ja raportointi näille asioille. Suosituksina mm: teknologian toteutuvat tehohäviöt eri latausteholla, kustannukset rakennusvaiheesta ja kustannukset ylläpitovaiheesta.

Mahdollisen pilotin toteutukseen osallistuvan yrityksen on hyvä ottaa huomioon seuraavia asioita:

- Millaista yhteensopivaa kalustoa markkinoilla on tarjolla ajonaikaista sähkölataamista varten.
- Millaisen paikallaan tapahtuvan latauspisteen kalusto vaatii ajonaikaisen lataamisen ohella.
- Minkälainen markkinointi- ja viestintähyöty saadaan osallistumalla pilottiin ennen muita toimijoita.
- Millaisia taloudellisia vaikutuksia pilotilla on: Välittömät ja välilliset. Saadaanko pitkällä aikavälillä säästöjä, vaikka kaluston hankintahinta olisi suurempi.
- Mitä odotuksia yrityksellä on pilottia koskien. Mitkä ovat sellaiset tavoitteet, joita voidaan mitata ja todentaa pilotin onnistuminen.

6 Sähkötien kannattavuuden arviointia

Sähkötien kannattavuuden arvioinnissa on muuttuvia ja vielä tuntemattomia tekijöitä, jotka vaikuttavat arvioinnin tarkkuuteen. Näitä tekijöitä ovat mm. sähköteiden teknologioiden kustannukset laajemmissa kohteissa, sähkön hinta verrattuna muiden energiamuotojen hintaan, sekä automatisoidun liikenteen yleistyminen. Haluamme erityisesti painottaa, että tässä kappaleessa oleva esimerkki on hyvin teoreettinen ja perustuu niihin oletuksiin mitä selvitystä tekeillä on tiedossa.

6.1 Oletuksia

Koska sähkötien kannattavuutta voi arvioida monella eri tavalla, tulemme käyttämään tässä arvioinnissa muutamia oletuksia. Näiden oletusten lisäksi on varmasti myös muita kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä, mutta olemme tässä pyrkineet käyttämään merkittävimpiä tekijöitä mahdollisimman tarkan arvion saavuttamiseksi.

- Sähkötien pituus on 600 km (esim. Pääkaupunkiseutu – Oulu)
- Ajoneuvon
  - Akun koko on 400 kWh.
  - Kulutus on keskimäärin 2 kWh/km.
  - Lataustehon vastaanotto on 320 kWh/tunti.
  - Akku on täynnä (400 kWh), kun lähtee matkalle.
  - Keskinopeus on 80 km/h.
  - Kokonaismassa noin 60 tn. Kuorman massa 40 tn.
- Sähkötien latausteho on 400 kWh/tunti, kokonaiskapasiteetti 1 200 kWh/tunti/km.
  - Keskimääräinen hävikkiarvio huomioiden, on ajoneuvon akkuun menevä energia: 320 kWh/tunti. Kokonaiskapasiteetti hävikkeineen: 960 kWh/tunti/km.
- Ajoneuvo pitää 15 minuutin tauon 160 km:n välein (yhteensä 3 taukoa matkan aikana→45 minuuttia)
- Taukopaikan latausteho on 400 kWh/tunti
  - Keskimääräinen hävikkiarvio huomioiden ajoneuvon akkuun menevä energia: 320 kWh/tunti.

6.2. Energian kulutus ja tarve esimerkkimatkalla

Edellä mainittujen oletusten perusteella voidaan kuvailla matka energian kulutuksen ja energian tarpeen näkökulmasta seuraavasti:

Ajoneuvo lähtee liikkeelle täydellä akulla, eli energiaa on käytössä 400 kWh:n verran, joka mahdollistaa yhteensä 200 km ajon. Ajoneuvo pääsee siis ensimmäiselle taukopaikalle ilman ajonaikaista lataustarvetta.

Taukopaikka 1: Matkaa on ajettu 150 km ja akussa on energiaa jäljellä 100 kWh. Tauon lataaminen tapahtuu 400 kWh:n teholaturilla, jolloin 15 minuutissa energiaa saadaan akkuun hävikit huomioiden 80 kWh. Tauon jälkeen akussa on energiaa yhteensä 180 kWh, eli se riittää 80 km:n ajoon.

Taukopaikka 1:n ja taukopaikka 2:n väli: Kun taukopaikka 1:n jälkeen on ajettu 35 km, tulee käyttöön sähkötie (pituus 80 km). Sähkötielle saavuttaessa ajoneuvon akussa on energiaa 90 kWh. Sähkötien aikana saadaan energiaa hävikit huomioiden 320 kWh ja lataamisen aikana kuluu ajoon yhteensä 160 kWh. Akkuun saadaan siis varastoitua 160 kWh, jolloin energiamäärä ajoneuvon akussa sähkötien jälkeen on 250 kWh. Sähkötien jälkeen ajetaan vielä 35 km, jolloin saavutaan taukopaikka 2:lle.

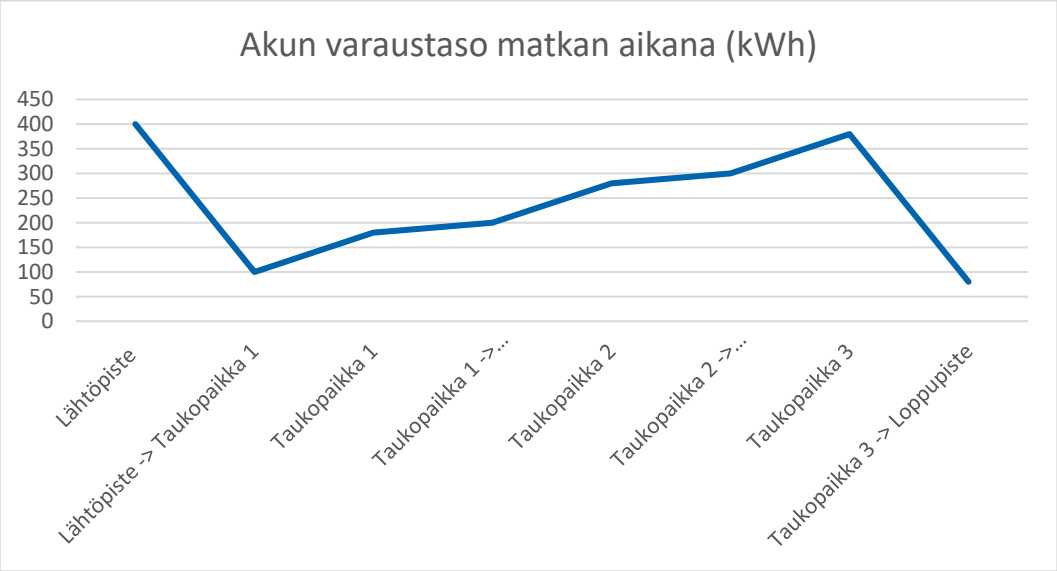
Taukopaikka 2: Taukopaikalle saavuttaessa ajoneuvon akussa on energiaa jäljellä 180 kWh. Tauon lataaminen tapahtuu 400 kWh:n teholaturilla, jolloin 15 minuutissa energiaa saadaan akkuun hävikit huomioiden 80 kWh. Tauon jälkeen akussa on energiaa yhteensä 260 kWh, eli se riittää 130 km:n ajoon.

Taukopaikka 2:n ja taukopaikka 3:n väli: Kun taukopaikka 2:n jälkeen on ajettu 35 km, tulee käyttöön sähkötie (pituus 80 km). Sähkötielle saavuttaessa ajoneuvon akussa on energiaa 190 kWh. Sähkötien aikana saadaan energiaa hävikit huomioiden 320 kWh ja lataamisen aikana kuluu ajoon yhteensä 160 kWh. Akkuun saadaan siis varastoitua 160 kWh, jolloin energiamäärä ajoneuvon akussa sähkötien jälkeen on 350 kWh. Sähkötien jälkeen ajetaan vielä 35 km, jolloin saavutaan taukopaikka 3:lle.

Taukopaikka 3: Taukopaikalle saavuttaessa ajoneuvon akussa on energiaa jäljellä 280 kWh. Tauon lataaminen tapahtuu 400 kWh:n teholaturilla, jolloin 15 minuutissa energiaa saadaan akkuun hävikit huomioiden 80 kWh. Tauon jälkeen akussa on energiaa yhteensä 360 kWh, eli se riittää 190 km:n ajoon.

Taukopaikka 3:n ja päätepisteen väli: Tälle välille ei tarvita sähkötietä, koska ajoneuvon akussa oleva energia riittää päätepisteeseen asti.

Tästä esimerkistä voidaan tehdä sellainen johtopäätös, että mikäli aikaisemmin mainitut oletukset ovat voimassa, sähkötietä tarvitaan esimerkkimatkalle yhteensä 160 km. Käytännössä sähkötien voi laittaa näillä oletuksilla myös jokaiselle ajovälille, jolloin ne olisivat aina 40 km pituisia.



Kuva 13. Viitteellinen matkan, akun varauksen ja latauspaikkojen sijainti 600 km mittaisella Helsinki-Oulu -matkalla.

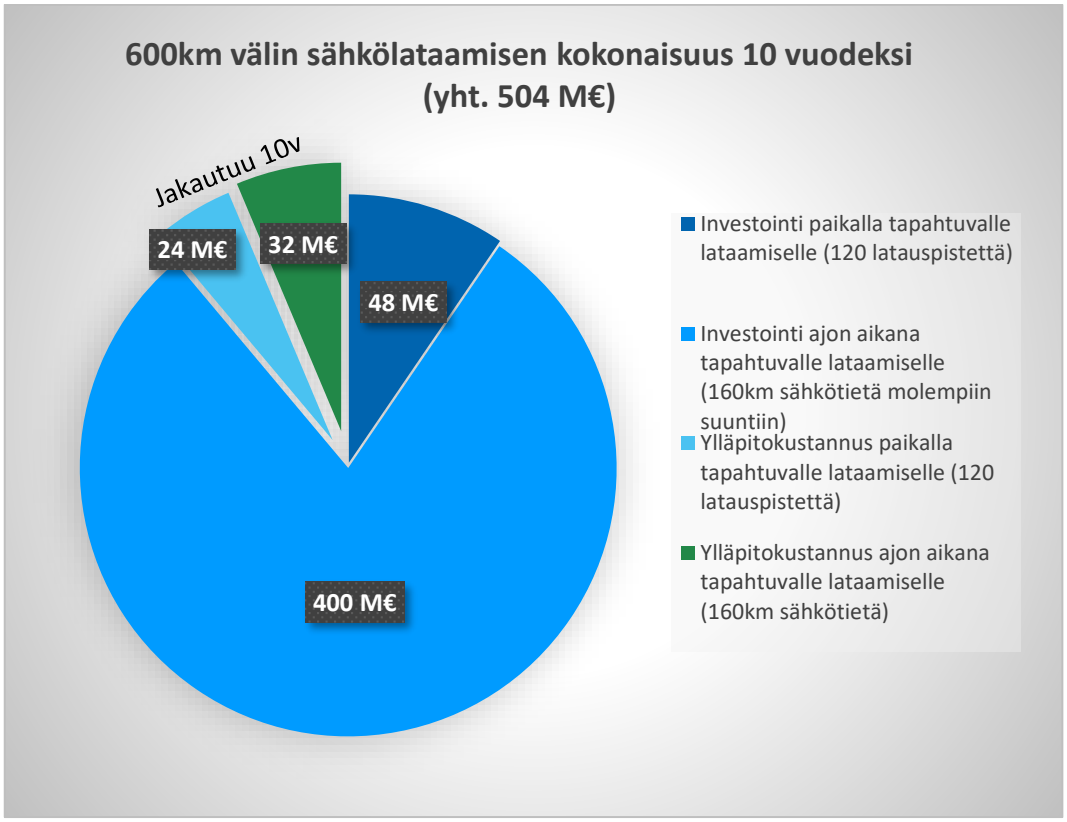
6.3 Kustannusarvioita

Aiemmin tässä selvitystyössä on todettu, että esimerkiksi langasta lataamisen kustannukseksi/kaista-km on arvioitu olevan noin 1,25 M€, kun rakennetaan laajempia kokonaisuuksia. Arvioidaan, että ylläpitokulut tulevat laajemmalla kokonaisuudella olemaan 20 000 €/km/vuosi. Tämän lisäksi on arvioitu, että megawatti-tason paikallaan olevien latauslaitteiden investointikustannus per latauspistoke on noin 0,4 M€. Edellä on arvioitu paikallaan tapahtuvan lataamisen laitteiden vuotuiseksi ylläpitokustannukseksi 20 000 €/latauspistoke. Käytetään näitä oletuksia myös tässä kustannusarviossa.

Teoreettinen kapasiteetti yhdelle paikallaan tapahtuvan lataamisen laitteelle tässä kokonaisuudessa on 96 autoa/vrk/latauspiste (15 min/ajoneuvo). Yhden latauspisteen taukopaikkoja on esimerkissä 3, joten silloin vuorokauden aikana pystytään palvelemaan yhteensä 288 ajoneuvoa. Sähkötiellä voi olla yhtä aikaa 3 ajoneuvoa täydessä latauksessa/km. Tämä tarkoittaa, että yhdellä sähkötiellä voi olla yhteensä 240 ajoneuvoa latauksessa samanaikaisesti. Koska kukin auto on aina tunnin latauksessa, on vuorokauden kokonaiskapasiteetti 5 760 ajoneuvoa/sähkötie. Tässä esimerkissä teitä on 2 kpl, jolloin esimerkin teoreettinen kokonaiskapasiteetti sähkötielle on 11 520 ajoneuvoa vuorokauden aikana.

Jotta sähkötien teoreettisen kapasiteetin ajoneuvoja pystyttäisiin täysimääräisesti palvelemaan paikallaan tapahtuvalla lataamisella, tulisi latauspisteitä olla jokaisella kolmella taukopaikalla 40 kpl.

Edellä arvioidussa esimerkissä tuli 600 km:n matkalle yhteensä 3 taukopaikkaa ja 160 km sähkötietä. Kun arvioidaan kustannusta täydelle teoreettiselle kapasiteetille (11 520 ajoneuvoa), tulee paikallaan olevaan lataamiseen investoida yhteensä 120 latauslaitetta (40 kpl/taukopaikka). Aikaisemmin mainituilla kustannusoletuksilla tämä tarkoittaa, että paikallaan tapahtuvaan lataamiseen tulisi investoida 48 M€ ja ajon aikana tapahtuvaan lataamiseen (kahteen suuntaan) 400 M€. Kokonaisinvestointi -arvio on näillä oletuksilla 11 520 ajoneuvon teoreettiselle kapasiteetille 448 M€. Ylläpito tälle kokonaisuudelle tulisi kymmenessä vuodessa olemaan paikallaan tapahtuvalle lataamiselle 24 M€ ja sähkötielle 32 M€. Kokonaiskustannus kokonaisuudelle kymmeneksi vuodeksi on siis 504 M€.



Kuva 14. 600 km tieosuuden sähkölataamisen kustannusarvio 10 vuodeksi.

6.4 Takaisinmaksu-arvio

Tässä selvitystyössä ei oteta kantaa ajoneuvojen hankintahintaan, koska hintaero kaventuu koko ajan ja on oletus, että hinnat tulevat olemaan samalla tasolla tulevaisuudessa. Keskitytään siis tässä selvitystyössä enemmän energiakustannukseen. Oletukset tähän liittyen seuraavat.

Diesel: Energian hinta 1,6 €/litra. 60 tn ajoneuvoyhdistelmän kulutus 30 l/100 km.

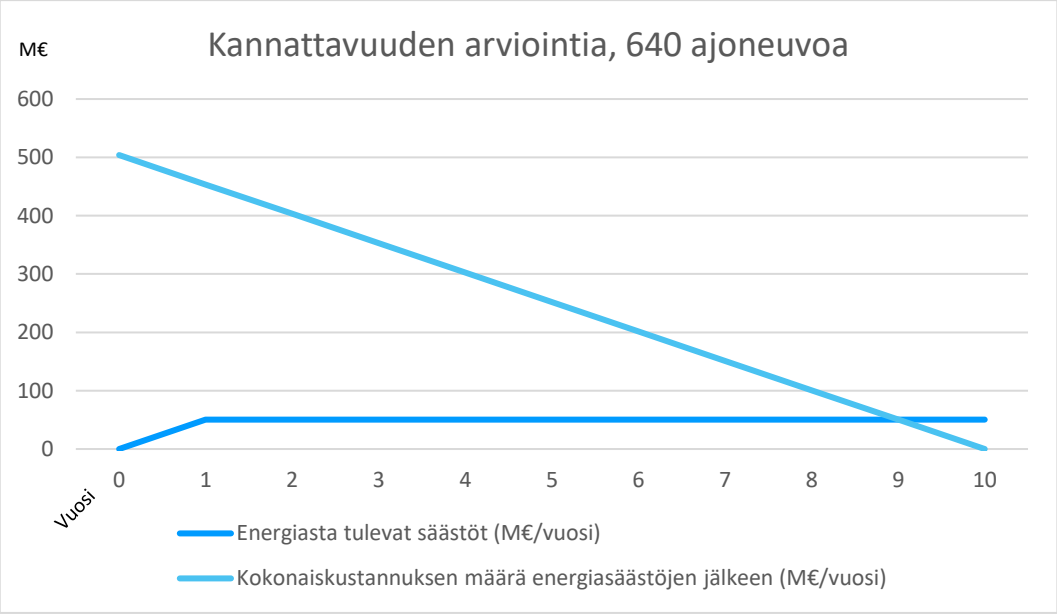
Sähkö: Energian hinta: 0,15 €/kWh. 60 tn ajoneuvoyhdistelmän kulutus 200 kWh/100 km.

Mikäli tämän luvun esimerkin ajoneuvo ajaa kyseisen 600 km:n matkan kaksi kertaa vuorokaudessa, eli ajomatka on 1200 km/vuorokausi, niin pääsemme seuraavanlaisiin energiakustannuksiin. Oletusten mukaan, dieselkäyttöinen ajoneuvo käyttää 1200 km:n matkalla yhteensä 360 litraa dieseliä ja se tarkoittaa euroissa 576 €. Sähkökäyttöinen ajoneuvo käyttää samalla matkalla yhteensä 2 400 kWh ja se tarkoittaa euroissa 360 €. Vuorokausikohtainen energiakustannusten säästö sähköisellä ajoneuvolla on siis yhteensä 216 €. Tämä tekee vuodessa yhteensä 78 840 €/ajoneuvo.

Aikaisemmin mainittiin kohdassa 6.3., että esimerkissä käytetyn sähkötien kokonaiskustannusarvio on 504 M€. Jos laskemme kyseiselle tieosuudelle takaisinmaksuajaksi 10 vuotta, niin poisto ilman korkokuluja on 50,4 M€/vuosi. Kun ajoneuvon energiakustannusten säästö oli 78 840 €/ajoneuvo/vuosi, voidaan todeta, että ajomatkalle tarvittaisiin yhteensä noin 640 esimerkin mukaista ajoneuvoa ajamaan

päivittäin kymmenen vuoden ajan, jotta energiakustannusten säästö kattaisi koko investoinnin.

/36/ /37/



Kuva 15. Kannattavuusarviointi.

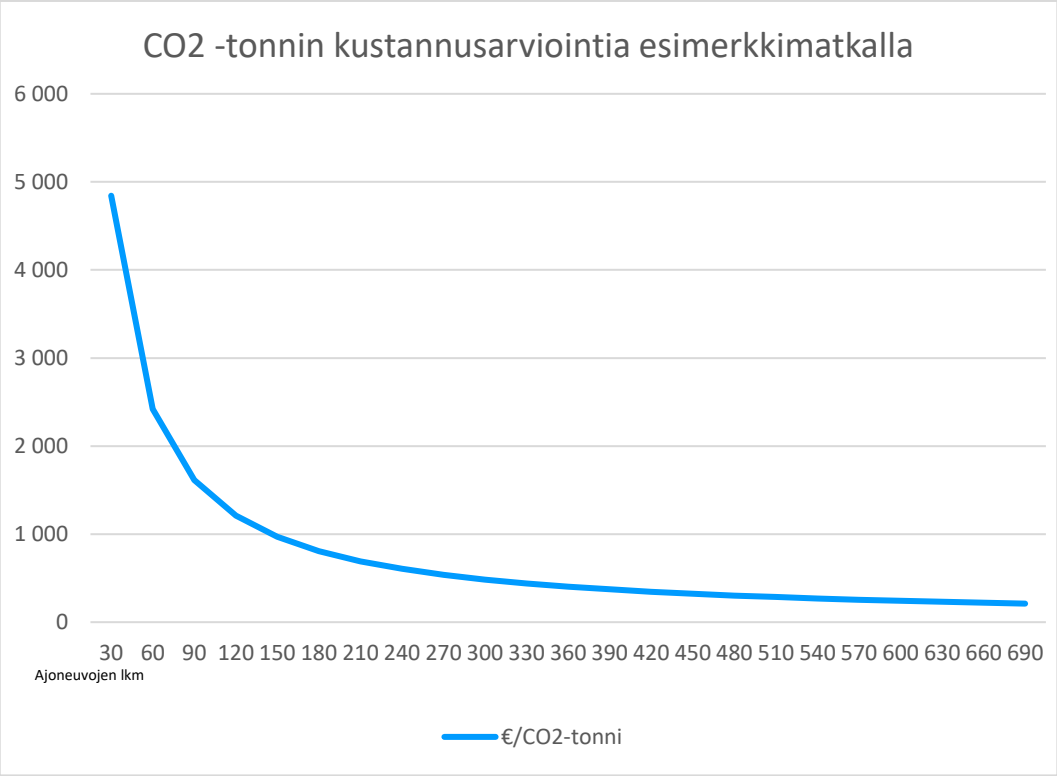
6.5 CO2-hiilidioksidipäästöt

Dieselautojen ongelmana on perinteisesti pidetty hiukkaspäästöjä sekä typen oksidipäästöjä. Näitä päästöjä on onnistuttu leikkaaman tehokkaasti uusissa dieselmoottoreissa, mutta CO2-kasvihuonekaasua syntyy polttoaineen palamistuotteena aina, kehittyvistä puhdistusteknologioista huolimatta.

Oulusta pääkaupunkiseudulle (Helsinki, Vantaa, Hyvinkää, Sipoo, Riihimäki) liikkui vuonna 2020 Tilastokeskuksen tieliikenteen tavarankuljetustilaston mukaan tavaraa yhteensä noin 427 000 tonnia. Tämä on yhteensä 1 171 tonnia per päivä. Mikäli oletetaan, että raskaan liikenteen ajoneuvo vie aina 40 tonnia tavaraa kerralla, saadaan kappalemääräisesti 30 ajoneuvoa per päivä. Kun esimerkkikohteen tiellä ajaa 30 ajoneuvoa päivittäin, 1 200 km matkan käyttäen dieseliä polttoaineenaan, kuluu dieseliä noin 10 800 litraa. Kun yhden poltetun diesel-litran CO2-päästöt ovat 2,64 kg, tulee kokonaispäästöiksi näillä oletuksilla noin 28,5 tn CO2-paikallispäästöjä päivittäin. Vuodessa CO2-päästöt ovat noin 10 400 tn ja kymmenessä vuodessa noin 104 000 tn. Sähköisellä liikenteellä nämä paikallispäästöt putoavat nollaan.

Mikäli esimerkkikohteen tiellä ajaa 640 ajoneuvoa päivittäin 1 200 km matkan käyttäen dieseliä polttoaineenaan, kuluu dieseliä yhteensä 230 400 litraa. Kun yhden diesel-litran CO2-päästöt ovat 2,64 kg, tulee kokonaispäästöiksi näillä oletuksilla noin 608 tn CO2-paikallispäästöjä päivittäin. Vuodessa CO2-päästöt ovat noin 222 000 tn ja kymmenessä vuodessa noin 2 220 000 tn. Sähköisellä liikenteellä nämä paikallispäästöt putoavat nollaan.

Näillä oletuksilla voidaan laskea, että mikäli esimerkkimatkan reitillä kulkee 30 ajoneuvoa päivittäin, on CO2-tonnin vähentämisen hinta kymmenen vuoden investoinnilla noin 4 900 €. Mikäli esimerkkimatkan reitillä kulkee 640 ajoneuvoa päivittäin, on CO2-tonnin vähentämisen hinta kymmenen vuoden investoinnilla noin 230 €. /38/



Kuva 16. CO2-tonnin kustannusarviointia esimerkkimatkalla.

6.6 Yhteenveto kannattavuuden arvioinnista

On hyvä huomioida, että tässä arvioinnissa on käytetty hyvin karkeita oletuksia, joita on peilattu tämän hetken teknologioiden mahdollisuuksiin, sekä viimeaikojen kustannustasoihin.

Yhteenvetona voidaan todeta, että mikäli esimerkiksi energiakustannusten säästöt saadaan täysimääräisesti ohjattua sähkötien investoinnin maksamiseen ja teknologian elinkaari on pitkä, päästään tällaiselle infrastruktuurille järkeviin takaisinmaksuaikoihin. On hyvä huomioida, että tässä esimerkissä käytettiin 10 vuoden poistoaikaa. Esimerkin lopputulemista voi päätellä, että pidemmissä sähköteissä on tärkeää, että sitä pystytään hyödyntämään mahdollisimman monella eri ajoneuvomallilla.

Pelkkä raskas liikenne ei Suomessa riitä tällä hetkellä kattamaan pidempien ajomatkojen sähkötiekustannuksia. Toki pienemmät ajoneuvot käyttävät vähemmän sähköä, mutta niitä on myös määrällisesti merkittävästi enemmän. Näiden asioiden lisäksi on hyvä huomioida se, että tässä arviossa ei ole huomioitu ajoneuvojen hankintakustannuseroja. Eli käytännössä edellä mainitut arviot toteutuvat edellä mainituilla oletuksilla, mikäli diesel- ja sähköajoneuvon investointikustannukset ovat samat.

7 Johtopäätökset

Raskaan kaluston ajonaikainen lataaminen on tarpeellinen teknologia tulevaisuutta ajatellen, joko paikallaan tapahtuvan lataamisen lisänä tai myöhemmin itsenäisenä käyttövoimaa ylläpitävänä teknologiana. Paikallaan tapahtuva lataaminen todennäköisesti säilyttää osansa kokonaisuudesta, vaikka sähköteitä tulevaisuudessa toteutetaankin.

Kuljetusten kokonaispäästöjen vähentämiseen on sähköteiden ohella myös nykyisiä ja uusia käyttövoimia hyödyntäviä vaihtoehtoja, kuten uusiutuvan dieselin ja biokaasun tehokkaampi käyttö, sekä yhdistelmien kapasiteetin kasvattaminen - josta teknologian kehittyessä hyötyisivät toki myös sähköiset ajoneuvot. Vaikka lataamisinfran kustannukset ovat merkittävät, on siirtymä kohti nollapäästöistä liikennettä väistämätön ja ensivaiheessa ennen latausteknologian vakiintumista on hyödyllistä kokeilla monia erilaisia sähköiseen liikenteeseen siirtymisen vaihtoehtoja paikalliset olosuhteet huomioiden.

Mikäli pilotti tulee olemaan teknologiapainotteinen, tämän selvityksen suosituksena on lähteä tekemään suomalaista ajonaikaisen lataamisen pilottia induktiivisen lataamisen ja kiskosta lataamisen ympärille. Näistä teknologioista ei ole vielä saatavilla merkittävästi käytännön kokemuksia. Mikäli vain toisen teknologian pilotointi on mahdollista, tulee tutkia tulevaisuuden tavoitteita ja tahtotiloja tarkemmin ennen pilottiteknologian valintaa. Langasta lataamisen -teknologia suositellaan kuitenkin otettavaksi arviointiin mukaan, mikäli pilotin pääpaino on kaupallisessa käytössä.

Koska pilotti on hyvä toteuttaa mahdollisen tiesaneerauksen yhteydessä, kannattaa jo neuvottelun alkuvaiheessa ottaa mukaan elinkeinoelämän potentiaalisten käyttäjien ohella myös alueellinen ELY-keskus tienpitäjänä päällystysohjelman kartoittamiseksi ja yhteydenpidon ylläpitämiseksi koko kokeilun ajan.

Suositeltavana ensivaiheen kohteena voisi pitää vilkkaimman tieverkon ulkopuolella olevaa maantietä, jossa pilotin toteutusvaiheen aikaiset liikennejärjestelyt olisi helpompi toteuttaa.

Laajemmassa mittakaavassa toteutettava sähkötie tulee olemaan suuri investointi ja mikäli sen käyttö on mahdollista kaikille sähköajoneuvoille, sen voi olla mahdollista saavuttaa nopeampi takaisinmaksuaika. Käytännössä myös teknologian elinkaarella ja sitä kautta poistoajalla on erittäin suuri merkitys kokonaisuuteen.

Jatkoselvityksen aiheeksi tunnistettiin sähköteiden kysynnän arviointi esimerkiksi laajemman kyselytutkimuksen avulla ja sen pohjalta kannattavuuden ja päästöjen vähentämispotentiaalin tarkempi arviointi. Sähkötiet osana kasvihuonepäästöjen vähentämistavoitteita vaativat laajempaa tutkimusta. Lisäksi ennen pilottia on hyvä suorittaa pilottikohteiden tarkempi arviointi (esimerkiksi maastokäynnit, suunnitelmat ja tarjouspyynnöt).

Lähdeluettelo

/1/ Euroopan Komissio. 2020. Future and Emerging Technologies. Saatavilla: Future and Emerging Technologies | Horizon 2020 (europa.eu), tiedot haettu 10.12.2021.

/2/ Trafikverket, Jan Pettersson. Baltic road conference 24.08.2021.

/3/ Trafikverket, Jan Petterson. 2021. Puhelinkeskustelu ja sähköpostit.

/4/ Elonroad. 2021. Solutions. Saatavilla: Our Solution – Elonroad, tiedot haettu 10.12.2021.

/5/ Elonroad, Karin Ebbinghaus. 2021. Puhelinkeskustelu ja sähköpostit.

/6/ Electreon. 2021. Technology. Saatavilla: Technology | Electreon, tiedot haettu 10.12.2021.

/7/ Electreon, Stefan Tongur. 2021. Puhelinkeskustelu ja sähköpostit.

/8/ CollERS. 2021. Key Messages on Electric Roads, Executive Summary from the CollERS Project. Saatavilla: FULLTEXT01.pdf (diva-portal.org), tiedot haettu 10.12.2021.

/9/ BMVI, Innovationscluster. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2021/104-scheuer-innovationscluster-strassennutzverkehr.html, tiedot haettu 10.12.2021

/10/ IKEM. 2021. AMELIE. Saatavilla: AMELIE – Project of the Institute for Climate Protection, Energy and Mobility (ikem.de), tiedot haettu 10.12.2021.

/11/ ERS. 2021. Système de route électrique. Saatavilla: GT2 rapport final.pdf (ecologie.gouv.fr), tiedot haettu 10.12.2021.

/12/ THE ICCT. 2021. Charging infrastructure to support the electric mobility transition in France. Saatavilla: Charging infrastructure to support the electric mobility transition in France (theicct.org), tiedot haettu 10.12.2021.

/13/ The Connexion. 2017. Electric car-charging road tested in France. Saatavilla: Electric car-charging road tested in France (connexionfrance.com), tiedot haettu 10.12.2021.

/14/ Statens vegvesen. 2018. Vil elveg fungere for tungtransport på norske veger?. Saatavilla: Vil elveg fungere for tungtransport på norske veger? | Statens vegvesen, tiedot haettu 10.12.2021.

/15/ Sintef. 2018. Electric roads in Norway?. Saatavilla: 18-0733-engelsk-sluttrapport.pdf (sintef.no), tiedot haettu 10.12.2021.

/16/ The Guardian. 2021. UK government backs scheme for motorway cables to power lorries. Saatavilla: UK government backs scheme for motorway cables to power lorries | Travel and transport | The Guardian, tiedot haettu 10.12.2021.

/17/ Aju Business Daily. 2021. S. Korea steps up international campaign to lead standardization of EV wireless charging. Saatavilla: [FOCUS] S. Korea steps up international campaign to lead standardization of EV wireless charging (ajudaily.com), tiedot haettu 10.12.2021.

/18/ The Korea Herald. 2021. Bus of the future could charge itself while moving. Saatavilla: [Feature] Bus of the future could charge itself while moving (koreaherald.com), tiedot haettu 10.12.2021.

/19/ Moottori.fi. 2021. Jopa 400 kilometriä sähkörekalla – Mercedes-Benz eActros on jo tuotannossa. Saatavilla: Jopa 400 kilometriä sähkörekalla – Mercedes-Benz eActros on jo tuotannossa (moottori.fi), tiedot haettu 10.12.2021.

/20/ Scania. 2021. Scania's commitment to battery electric vehicles. Saatavilla: Scania's commitment to battery electric vehicles, tiedot haettu 10.12.2021.

/21/ Electrek. 2021. Tesla Semi electric truck is finally nearing production. Saatavilla: Tesla Semi electric truck is finally nearing production - Electrek, tiedot haettu 10.12.2021.

/22/ Mercedes-Benz. 2021. The long-haul truck of the future. Saatavilla: The long-haul truck of the future. (mercedes-benz.com), tiedot haettu 10.12.2021.

/23/ Hannoverche Allegemeine. 2019. Erste Elektro-Autobahn für Lastwagen – eine ökologische Alternative?. Saatavilla: E-Highways: Erste Elektro-Autobahn für Lastwagen – eine ökologische Alternative? (haz.de), tiedot haettu 10.12.2021.

/24/ Hutchinson. 2021. Hutchinson And Electreon: A Winning Partnership for Sustainable Mobility. Saatavilla: Hutchinson and Electreon: a winning partnership for sustainable mobility | Hutchinson, tiedot haettu 10.12.2021.

/25/ Siemens, Patrik Akermann. 2021. Puhelinkeskustelu ja sähköpostit.

/26/ Trafikverket, Jan Petterson. 2021. Puhelinkeskustelu ja sähköpostit.

/27/ Destia, Mikko Mäkelä. 2021. Puhelinkeskustelu ja sähköpostit.

/28/ Unweltbundesamt. 2016. Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050. Saatavilla: Klimaschutzbeitrag des Verkehrs bis 2050 (umweltbundesamt.de), tiedot haettu 10.12.2021.

/29/ IEA. 2017. The Future of Trucks. Saatavilla: The Future of Trucks - Implications for Energy and the Environment (windows.net), tiedot haettu 10.12.2021.

/30/ Electrive.com. 2021. First fully operational bus running on Smartroad Gotland. Saatavilla: First fully operational bus running on Smartroad Gotland - electrive.com, tiedot haettu 10.12.2021.

/31/ Liikennevirasto. 2018. HCT- ja normaaliajoneuvojen energiankäyttö, hiilidioksidipäästöt ja tiekuormitus. Saatavilla: HCT- ja normaaliajoneuvojen energiankäyttö, hiilidioksidipäästöt ja tiekuormitus (doria.fi), tiedot haettu 10.12.2021.

/32/ Mukaillen: f3. 2021. Electric Road Systems. Saatavilla: Electric-Road-Systems-fact-sheet_Misc-4_210510.pdf (f3centre.se), tiedot haettu 10.12.2021.

/34/ VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Britta Sommer. 2021. Puhelinkeskustelu ja sähköpostit.

/35/ Ifeu.de. 2021. Infrastruktur für Elektro-Lkw im Fernverkehr Hochleistungsschnelllader und Oberleitung im Vergleich – ein Diskussionspapier. Saatavilla: https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/BOLD_Truck_charging_discussion_paper.pdf, tiedot haettu 10.12.2021

/36/ Yle. 2021. https://yle.fi/uutiset/3-11710093, tiedot haettu 16.12.2021

/37/ Nordpool. 2021. https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/#/nordic/table, tiedot haettu 16.12.2021

/38/ CO2-päästöt. 2021. Kg CO2 per litre of diesel vehicles | Comcar, tiedot haettu 16.12.2021

Kohdekortti: Pietarsaari – Pedersören kunta

Pietarsaari – Pedersören kunta

Väylävirasto
Trafikledsverket

Liikennemäärä (painotettu ka.)	Raskas liikenne (painotettu ka.)	Tavaralajit	SEKV-verkko	Data	Haastattelu
n. 7200 ajon. / vrk	n. 700 ajon. / vrk	Puu Metalli Liha	Kaide-SEKV	Tukee	Ei noussut esille

- **Reitti-informaatio**
  - Pituus n. 8 km
  - Kulkee kantatiellä 68, joka melko vilkkaasti liikennöity

Kohdekortti: Rauma – Eurajoki

Rauma - Eurajoki

Väylävirasto
Trafikledsverket

Liikennemäärä (painotettu ka.)	Raskas liikenne (painotettu ka.)	Tavaralajit	SEKV-verkko	Data	Haastattelu
n. 11000 ajon. / vrk	n. 1000 ajon. / vrk	Kierrätysmateriaalit Puu Metalli	SEKV	Tukee	Ei noussut esille

- **Reitti-informaatio**
  - Pituus n. 12 km
  - Kulkee valtatiellä 8, joka melko vilkkaasti liikennöity

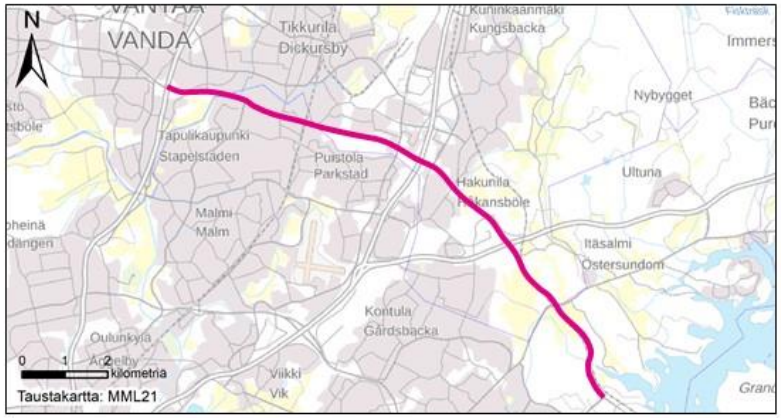
Kohdekortti: Helsinki (Vuosaari) – Vantaa

Helsinki (Vuosaari) – Vantaa

Väylävirasto
Trafikledsverket

Liikennemäärä (painotettu ka.)	Raskas liikenne (painotettu ka.)	Tavaralajit	SEKV-verkko	Data	Haastattelu
n. 40000 ajon. / vrk	n. 4500 ajon. / vrk	Kappaletavara Elintarvikkeet	Pieni osa reitistä kuuluu SEKV-verkkoon	Tukee	Nousi esille

- **Reitti-informaatio**
  - Pituus n. 13 km
  - Kulkee kantatietä 50 ja seututietä 103, jotka molemmat erittäin vilkkaasti liikennöityjä
  - Mahdollisuus myös jatkoketjuihin esimerkiksi nelosteille ja kantatielle 45



Kohdekortti: Kotka – Hamina

Kotka - Hamina

Väylävirasto
Trafikledsverket

Liikennemäärä (painotettu ka.)	Raskas liikenne (painotettu ka.)	Tavaralajit	SEKV-verkko	Data	Haastattelu
n. 17500 ajon. / vrk	n. 1600 ajon. / vrk	Hake & Paperi Kontit Polttoaine Koneet	Ei kuulu SEKV-verkkoon	Tukee	Osittain nousi esille

- **Reitti-informaatio**
  - Pituus n. 14 km
  - Kulkee valtatiellä 7, joka varsin vilkkaasti liikennöity

Kohdekortti: Pori (Mäntyluoto) – Harjavalta

Pori (Mäntyluoto) - Harjavalta

Väylävirasto
Trafikledsverket

Liikennemäärä (painotettu ka.)	Raskas liikenne (painotettu ka.)	Tavaralajit	SEKV-verkko	Data	Haastattelu
n. 11700 ajon. / vrk	n. 900 ajon. / vrk	Kemikaalit	SEKV	Tukee	Ei noussut esille

- **Reitti-informaatio**
  - Pituus n. 44 km
  - Kulkee valtatiellä 2, joka melko vilkkaasti liikennöity

Väylävirasto
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-317-959-2
www.vayla.fi