

ÄLYLIIKENTEN MAHDOLLISUUDET MORE-TEOLLISUUSALUEELLA



Ylemmän ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Tietojohtaminen ja älykkäät palvelut, Visamäki

2023

Hannu Riikonen

TIIVISTELMÄ

Liikenneonnettomuudet ja ilmastonmuutoksen pysäyttäminen vaativat muutoksia ihmisten liikkumistottumuksissa. Liikennetelematiikan avulla pystytään vähentämään liikenteen aiheuttamia päästöjä, parantamaan liikenneturvallisuutta sekä tehostamaan liikennettä ja kuljetuksia.

Tutkimuksella oli kaksi tavoitetta. Ensimmäisenä tavoitteena oli tutkia miten MORE-teollisuusalueen infrastruktuuria tulisi kehittää, jotta se mahdollistaisi hiilineutraalin älykkään liikenteen palvelut alueen yrityksille. Toisena tavoitteena oli löytää potentiaalisimmat älyliikenteen palvelut, jotka tehostavat MORE-alueen yritysten toimintaa ja samalla edistävät liikenteen vihreää siirtymää.

Työ oli luonteeltaan tutkimuksellinen kehittämistyö. Sitä tutkittiin kvalitatiivisella tutkimusotteella ja tutkimusmenetelmäksi valittiin tapaustutkimus. Aineiston keruussa hyödynnettiin aineistotriangulaatiota ja aineisto analysoitiin käyttäen teema-analyysia.

Tutkimuksen lopputuloksena MORE-teollisuusalueen yritykset saivat konkreettisen selvityksen tarvittavista infrastruktuuri muutoksista ja parhaista älyliikenteen käyttökohteista. Näitä olivat tieliikenteen sähköistyminen, sensoriteknologia, V2X-viestintä, nopeat tietoliikenneyhteydet, sekä monet autonomiset ratkaisut. Monilla työssä tutkituilla älyliikenteen innovaatiolla on potentiaalia tuoda hyötyä alueen yrityksille jo nyt.

Author	Hannu Riikonen	Year 2023
Subject	Possibilities of intelligent transport systems in the MORE Industrial Park	
Supervisors	Markus Sihvonen	

ABSTRACT

Traffic accidents and suspending climate change require changes in people's mobility routines. With the help of intelligent transport systems, it is possible to reduce emissions caused by traffic, improve traffic safety and make traffic and transportation more efficient.

The research had two purposes. The first purpose was to study how the infrastructure of the MORE Industrial Park should be developed to enable carbon neutral intelligent transport systems services for companies in the area. The second purpose was to find the most potential intelligent transport systems services that enhance the operations of companies in the MORE Industrial Park and at the same time promote the green transition of transport.

This thesis represent a research-based development study and the thesis was conducted using qualitative approach. Triangulation of data sources utilized in the research.

As a result of the research, the companies in the MORE Industrial Park received a concrete explanation of the necessary infrastructure changes and the best uses for intelligent transport systems. The best identified uses for intelligent transport systems were electrification of transportation, highspeed telecommunication connections, sensor technology, V2X-communication and various autonomous solutions. Several of the intelligent transport systems innovations studied in this paper already have the potential to bring benefits to companies in the MORE Industrial Park immediately.

Keywords MORE Industrial Park, intelligent transport systems, electric cars

Pages 107 pages and appendices 4 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Liikennealan haasteet ja mahdollisuudet	1
1.2	Globaalit kehittämistrendit	2
1.3	Toimeksiantajan esittely	3
1.4	Tutkimuksen kohteen esittely	3
1.5	Tutkimuksen tavoite	4
1.6	Tutkimuksen rajaus	5
2	Tietoperusta	5
2.1	Liikenteen automaatio	5
2.1.1	Automaation tasot	6
2.1.2	Robottitaksit	7
2.1.3	Robottitaksipalvelu Waymo One	8
2.1.4	Robottitaksipalvelu Cruise	11
2.1.5	Robottibussit	14
2.1.6	Robottibussipilotointi SOHJOA	15
2.1.7	Robottibussipilotointi FABULOS	16
2.1.8	Robottibussipilotointi CAVForth	19
2.1.9	Robottirekat	20
2.1.10	Puoliperävaunun pilotointi ilman kuljettajaa - TuSimple	20
2.1.11	Robottirekkapilotointi Einride Pod	22
2.1.12	Suomalaisten suhtautuminen autonomisiin ajoneuvoihin	25
2.2	Kuljetusrobotit	26
2.2.1	HOK-Elannon kuljetusrobotti-pilotointi	26
2.2.2	LMAD-pilotti Jätkäsaarella	28
2.3	Verkottuneet ajoneuvot	30
2.3.1	Lyhyen kantaman tiedonsiirto DSRC	32
2.3.2	Mobiiliverkkotiedonsiirto C-V2X	32
2.3.3	V2X-järjestelmän pääluokat	34
2.3.4	Green4TransPORT – V2X-pilotointi	36
2.4	Mobility As A Service	38
2.4.1	MaaS Global	39
2.4.2	Whim-sovelluksen käyttö Helsingissä	40
2.4.3	MaaS Globalin tulevaisuuden näkymät	42

2.4.4	Suomalaisten suhtautuminen MaaS-palveluihin	43
2.5	Sähköautojen langaton lataus	44
2.5.1	Staattinen järjestelmä	45
2.5.2	Sähkötaksien langaton latausinfrastruktuuri	47
2.5.3	Dynaaminen järjestelmä	49
2.5.4	Smartroad Gotland.....	52
2.6	Konduktioon perustuva ajonaikainen lataus	54
2.6.1	Siemens eHighway-järjestelmä	55
2.6.2	Siemens eHighway E16-pilotointi	56
2.7	Hampurin älykäs satama.....	57
2.8	Sensoriteknologia kuljetuksissa – case Audin tehdas.....	59
2.9	Wattway-aurinkopaneelitie	60
2.9.1	Colas	61
2.9.2	Wattway	61
2.10	Cargo sous terrain	63
3	Tutkimusmenetelmät	64
3.1	Metodologian ja menetelmien valinta	64
3.2	Aineiston keruu	65
3.2.1	Asiantuntijahaastattelu	65
3.2.2	Työpaja	66
3.2.3	Paneelikeskustelu.....	67
3.3	Analyysin toteutus	68
3.3.1	Anonymisointi	68
3.3.2	Litterointi.....	68
3.3.3	Teema-analyysi.....	69
3.4	Tutkimuksen luotettavuus ja siirrettävyys.....	69
4	Tulokset	70
4.1	MORE-teollisuusalueen liikenteen infrastruktuurin kehittämiskohteet	70
4.1.1	Tieliikenteen sähköistyminen	71
4.1.2	Sähköautojen langaton lataus.....	71
4.1.3	Julkisen liikenteen kehittäminen	72
4.1.4	Sensoriteknologian hyödyntäminen	74
4.1.5	V2I-viestintä	74
4.1.6	Nopeat tietoliikenneyhteydet	74

4.1.7	Sisäisen logistiikka	75
4.1.8	Robottitaksit.....	75
4.1.9	Aurinkopaneelitie.....	76
4.1.10	Cargo sous terrain	76
4.2	Potentiaalisimmat teollisuuden älyliikenteen palvelut MORE-alueella	76
4.2.1	Sensortechnologian ja data-analytiikan hyödyntäminen	77
4.2.2	Digitaalinen alusta.....	77
4.2.3	V2V-viestintä	78
4.2.4	Sähkörekkojen tukeminen	78
4.2.5	Kuljetusrobotit	80
4.2.6	Pitkän matkan robottirekat.....	80
4.2.7	HCT-center	80
5	Pohdinta	81
5.1	Tutkimuksen tulokset.....	82
5.1.1	MORE-teollisuusalueen liikenteen infrastruktuurin kehittämiskohteet	82
5.1.2	Potentiaalisimmat teollisuuden älyliikenteen palvelut MORE-alueella	83
5.1.3	Yhteenveto	83
5.1.4	Kehitysehdotuksia	85
5.2	Valittujen menetelmien aiheuttamat rajoitukset ja jatkotutkimuksia	86
5.3	Tulosten merkittävyys ja hyödynnettävyys	87
	Lähteet.....	88

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1: J3016-standardin mukaiset automaationtasot (Hannu Riikonen, 2022) (SAE International, 2021, ss. 25–26).....	7
Kuva 2: Chrysler Pacifica Hybrid ja Jaguar I-Space (Waymo, n.d. -e).....	9
Kuva 3: Poppy (Cruise, n.d. -b).	12
Kuva 4: Origin (Cruise, n.d. -c).	12
Kuva 5: GACHA-robottibussi (Forum Virium Helsinki, n.d. -c).....	17
Kuva 6: Robottibussin reitti Pasilassa (Forum Virium Helsinki, n.d. -c).....	18
Kuva 7: Enviro200 (CAVForth, 2022 -e).	19
Kuva 8: Einride Pod (Einride, n.d. -a).....	23

Kuva 9: Starship Technologiesin robottikuljetin (HOK-Elanto, 2022b).	26
Kuva 10: LMAD-pakettirobotti Helsingin Jätkäsaarella (LMAD, 2022).	29
Kuva 11: V2X-päälakat (Hannu Riikonen, muokattu kuvasta Mahmood, 2019, s. 3) ...	34
Kuva 12: Tienvarsiyksikkö (Hamburg Port Authority, 2021).	37
Kuva 13: Sisäinen yksikkö (Hamburg Port Authority, 2021).....	37
Kuva 14: Induktiolataus (Hannu Riikonen, muokattu kuvasta Fang, ym., 2021, s. 3)....	47
Kuva 15: Jaguar I-PACE-taksi (Nyland, 2021).....	48
Kuva 16: Useita lähettämiä asennettuna tien alle (Smartroad Gotland, 2022b).....	49
Kuva 17: Hallintayksikkö (Electreon, n.d- e).....	50
Kuva 18: Magneettiresonanssilataus (Hannu Riikonen, muokattu kuvasta Fang, ym., 2021, s. 4).....	51
Kuva 19: Lähettimien puoliautomaattinen asennustapa (Smartroad Gotland, 2022b). 53	
Kuva 20: Siemens e-Highway (Hannu Riikonen, muokattu kuvasta Siemens, n.d. -a)....	56
Kuva 21: Geofencing-tekniikka (Hannu Riikonen, muokattu kuvasta Jarich, ym., 2015).60	
Kuva 22: Colasin valmistama aurinkokenno (Wattway, n.d. -b).	61
Kuva 23: Halkeillut Wattway (Passley, 2019).	62
Kuva 24: Cargo sous terrain-järjestelmä (Cargo Sous Terrain, n.d. -c).	63
Taulukko 1: Podin AET-tasot.....	24

Liitteet

Liite 1	Asiantuntijahaastattelun kysymykset
Liite 2	Asiantuntijahaastattelun lisäkysymys
Liite 3	Työpajan teemat
Liite 4	Paneelikeskustelun teemat

1 Johdanto

Liikkuminen on ihmisten perusedellytys yhteiskunnassa toimimiselle. Nykyiset liikkumismuodot ovat kuitenkin tulossa tien päähänsä, sillä ilmastonmuutoksen pysäyttäminen ja liikenneonnettomuudet vaativat muutoksia ihmisten liikkumistottumuksissa. (Karls & Mueck, 2018, s. 27) Maailmanlaajuiset megatrendit vaikuttavat myös merkittävästi liikennejärjestelmään, joita ovat ilmastonmuutoksen lisäksi esimerkiksi kaupungistuminen ja digitalisaatio (Traficom, 2020, s.6 ; Hiltunen 2019, s. 16; Finnish Government, 2022, s. 23). Valtioneuvoston (Finnish Government, 2022, s. 14) julkaisun mukaan osa megatrendeistä tuo haasteita liikennealalle, mutta samalla teknologian kehittymien luo uusia mahdollisuuksia.

1.1 Liikennealan haasteet ja mahdollisuudet

Kaupungistuminen aiheuttaa liikennemäärien jatkuvaa kasvua kaupungeissa (Pöllänen & Utriainen, 2018, s. 1). Siemensin (Siemens, n.d. -b) mukaan kaupunkien asukasluku kasvaa joka viikko noin 1,5 miljoonalla asukkaalla ja niissä asuu vuonna 2050 yli kaksi kolmasosaa kaikista maailman asukkaista. Hiltunen (2019, ss. 80–81) kuvaa monien kaupunkien käyttävän ruuhkien vähentämiseksi esimerkiksi . Jotkut kaupungit saattavat jopa kieltää autoilun kokonaan kaupunkialueilla, esimerkiksi Pariisin keskustassa on kiellettyä ajaa ennen vuotta 1997 valmistetuilla autoilla, jonka lisäksi aina kuukauden ensimmäisen sunnuntai Pariisin keskusta on täysin autoton. Näiden kaikkien toimenpiteiden tarkoituksena on vähentää yksityisautoilua.

Suomen kaikista kasvihuonepäästöistä 20 prosenttia tulee liikenteestä ja tieliikenteen osuus näistä päästöistä on 95 % (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020). Suomessa onkin käytössä fossiilittoman liikenteen tiekartta, jonka tavoitteena on puolittaa liikenteen päästöt vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 2005 päästöihin. Vuonna 2030 liikenteen päästöt saavat olla siis enää 6,25 megatonnia, kun ne vuonna 2005 olivat 12,5 megatonnia. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2020) Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisun mukaan päästöt vähenisivät nykyisillä toimenpiteillä noin 3,4 megatonnia (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021b).

Kansainvälisistä sopimuksista Pariisin sopimus oli ensimmäinen, oikeudellisesti sitova ilmastomuutossopimus. Se hyväksyttiin Pariisin ilmastokonferenssissa joulukuussa 2015 ja se astui voimaan marraskuussa 2016. (European Commission, n.d.) Sopimuksen kirjoitti yhteensä 196 maata, mukaan lukien EU. Sen tarkoituksena on rajoittaa ilmaston lämpenemistä 1.5 celsiusasteeseen verrattuna esiteolliseen aikaan. (United Nations Climate Change, n.d) Pariisin sopimuksessa EU sitoutui vähentämään kasvihuonepäästöjä vähintään 40 % vuoteen 2030 mennessä, verrattuna vuoden 1990 päästöihin (European Commission, n.d.). EU:n uuden vuonna 2021 tehdyn ilmastolain mukaan päästövähennystavoite kasvoi kuitenkin 40 prosentista 55 prosenttiin. Lisäksi EU:n uuden ilmastolain tavoitteena on hiilineutraalisuus koko EU:n alueella vuoteen 2050 mennessä. (Euroopan parlamentti, 2021.)

Yksi keino tieliikenteestä koituvien hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi on käyttövoimien muuttaminen ja tämän hetken trendinä on liikenteen sähköistyminen (Brase & Erickson, 2020, s. 39). Keronen ja Pantsar (2019, s. 175) kuvaavat sähköautojen olevan kilpailukykyisiä ja kiinnostavia polttomoottoriautoihin verrattuna, erityisesti Teslan. He kertovat kirjassaan myös muiden autonvalmistajien lähteneen yhä kasvavissa määrin mukaan sähköautomarkkinoille, hyvänä esimerkkinä VW-konsernin ilmoitus lopettaa kokonaan polttomoottoriautojen kehitys vuoden 2025 jälkeen. Sähköautoilun trendiä tukee myös esimerkiksi Liikenne- ja viestintäviraston (Liikenne- ja viestintävirasto, 2021b) ennuste, jonka mukaan Suomessa olisi vuonna 2030 noin 600 000 sähkökäyttöistä henkilöautoa. Syyskuun 2022 lopussa sähkökäyttöisiä henkilöautoja oli Suomen tieliikenteessä yhteensä 137 664 kappaletta, joista täyssähköautoja oli 39 074 kappaletta ja loput hybridejä (Liikennefakta, 2022). Lisäksi monien lähteiden mukaan autonomisten ajoneuvon odotetaan toimivan tulevaisuudessa sähköllä (Sjafrie, 2020, s. 38).

1.2 Globaalit kehittämistrendit

Teknologian kehittymisen ja digitalisaation seurauksena syntynyt älyliikenteeksi kutsuttu liikennetelematiikka on käsitteenä laaja, mutta sen perusajatus on kuitenkin yksinkertainen. Tapaninen (2018, s. 81) tiivistää tuon perusajatuksen hyvin kirjassaan, sillä hän kuvaa älyliikenteen tarkoittavan ”älykästä liikennejärjestelmää, joka hyödyntää tieto- ja viestintäteknologiaa tarkoituksenaan parantaa liikennejärjestelmän toimivuutta”. Tapaninen

kuvaa digitalisaation muokanneen jo monia toimialoja, mutta hänen mukaansa digitalisaation aiheuttamat muutokset ovat vielä alussa liikennealan osalta.

Älyliikenne voikin olla ratkaisu moniin tieliikenteen ongelmiin. Zulkarnain (2016, s. 15) kuvaa väitöskirjassaan liikennealan hyötyvän älykkäistä liikennejärjestelmistä, sillä se parantaa liikennejärjestelmien tehokkuutta ja mahdollistaa päästöjen, tieliikenneonnettomuuksien ja ruuhkien vähenemisen. Panu Sainion mukaan älyliikenteen taustalla on myös ihmisten pyrkimys helppouteen, mukavuuteen ja käytettävyyteen (Ahtiainen, 2018).

Tapaninen (2018, s. 81) kuvaa älyliikenteen jaettavan yleisesti kolmeen eri kategoriaan, joita ovat liikenteen automaatio, liikenteen ohjauksen optimointi sekä liikenne palveluistutuminen. Hiltunen (Hiltunen, 2019, s. 83) listaa kirjassaan erityisesti tekoälyn, sensoriteknologian, pilvipalveluiden sekä 5g-verkkojen kehityksen olevan älyliikenteen mahdollistavia tekniikoita.

1.3 Toimeksiantajan esittely

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Hämeen ammattikorkeakoulun HAMK Smart - tutkimusyksikkö, joka koostuu monien alojen asiantuntijoista. HAMK Smartin toimialaa ovat bio- ja kiertotalous, hyvinvointi, koulutus, teollisuus ja liikenne. (HAMK, n.d. -a)

Tutkimusyksikkö tekee maksullista yhteistyötä alueen liike-elämän ja julkisten organisaatioiden kanssa ja se osallistuu kansallisiin sekä kansainvälisiin hankkeisiin. HAMK Smart hyödyntää data-analytiikkaa ja digitalisaatiota tavoitteenaan parantaa kyseisten organisaatioiden kilpailukykyä. (HAMK, n.d. -a)

1.4 Tutkimuksen kohteen esittely

MORE-teollisuusalueen muodostavat yritysalueet Hämeenlinnan Moreeni sekä Janakkalan Rastikangas. MORE-yritysalue kasvaa yhteen, kun alueen keskelle on suunnitteilla uusi moottoritien eritasoliittymä. Sen yhteyteen on lisäksi suunnitteilla HCT-center, joka on raskaan liikenteen palvelualue. (Hämeenlinnan kaupunki, 2022a)

MORE-teollisuusalue on pinta-alaltaan noin 700 hehtaaria ja sillä toimii jo nyt yli 90 yritystä, jotka työllistävät noin 1500 henkilöä. (Hämeenlinnan kaupunki, 2022a) Alueella toimivien yritysten toimialaa ovat pienteollisuus, logistiikka, ympäristötekniikka ja yrityspalvelut (Hämeenlinnan kaupunki, 2022b). MORE laajenee myöhemmin vaiheittain yli 1000 hehtaarin alueelle. Uusia tontteja on tulossa tarjolle yli sata ja ne soveltuvat erilaisiin käyttötarkoituksiin. (Hämeenlinnan kaupunki, 2022a)

Hämeenlinnan kaupunki ja Janakkalan kunta ovat tehneet yhteistyössä alueen kehittämiseen liittyviä selvityksiä vuodesta 2012 lähtien ja ovat investoineet alueeseen yli 20 miljoonaa euroa. Vuoden 2012 jälkeen yritykset ovat investoineet alueeseen lisää noin 80-100 miljoonaa euroa. Vuonna 2017 solmittiin kehittämissopimus ja samalla aloitettiin koordinointi- ja pilottihankkeiden valmistelu. Vuonna 2020 alueelle otettiin käyttöön nimi MORE Industrial Park. Aluetta on ollut kehittämässä työryhmä, jonka jäsenet tulevat Hämeenlinnasta, Janakkalasta, Linnan Kehityksestä, Hämeen Liitosta sekä Hämeen Ammattikorkeakoulusta. (Hämeenlinnan kaupunki, 2022a)

1.5 Tutkimuksen tavoite

Opinnäytetyö liittyy Hämeen liiton rahoittamaan Älykäs liikenne-hankkeeseen, joka käynnistyi huhtikuussa 2022 (Sihvonen & Takala, 2022). Hankkeen tarkoituksena on selvittää älyliikenteen tuomia mahdollisuuksia MORE-teollisuusalueella ja kartoittaa älyliikenteen vaatimia infrastruktuurivaatimuksia alueen yritysten näkökulmasta. Hankkeen aikana kiinnitetään huomiota myös energiataloudellisiin- ja lainsäädännöllisiin asioihin (HAMK, n.d.-b).

Tämän tutkimuspainotteisen opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa konkreettisia kehitysideoita Älykäs liikenne-hanketta varten, joita MORE-teollisuusalueen yritykset voivat hyödyntää parantaakseen kilpailukykyään sekä vähentääkseen CO₂-päästöjään. Kanta-Hämeen tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä (Hämeen liitto, n.d.). Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Kuinka MORE teollisuusalueen liikenteen infrastruktuuria tulisi kehittää, jotta se mahdollistasi hiilineutraalin älykkään liikenteen palvelut alueen yrityksille?

2. Mitkä ovat potentiaalisimmat teollisuuden älyliikenteen palvelut, jotka tehostavat yritysten toimintaa ja edistävät liikenteen vihreää siirtymää?

1.6 Tutkimuksen rajaus

Älyliikenne on laaja kokonaisuus, joten työtä on jouduttu rajaamaan. Automaattiliikenteen osalta automaattiajamisen mahdollistavaa tekoälyä tai ajoneuvojen tekniikkaa ei juurikaan käsitellä opinnäytetyössä. Kulkuneuvojen osalta tutkimus on rajattu käsittelemään ainoastaan pyörien päällä kulkevia kulkuneuvoja, joten älykästä laiva-, juna- tai lentoliikennettä ei tutkita. Lisäksi autonomiset työkoneet on rajattu tutkimuksen piiristä pois.

2 Tietoperusta

Tässä kappaleessa käsitellään älyliikenteeseen liittyviä aihealueita tutkimuksiin ja teoksiin viitaten. Näiden aihealueiden tuntemus luo vahvan tietoperustan ja näitä teorioita sovelletaan empiriaan tutkimuksen myöhemmissä kappaleissa.

Kappale alkaa tieliikenteen automaation tarkastelulla, jonka jälkeen vuorossa ovat kuljetusrobotit, verkottuneet ajoneuvot ja Mobility as a Service. Tämän jälkeen tarkastelun kohteena on tieliikenteen sähköistyminen, joka pitää sisällään omat kappaleet langattomasta latauksesta sekä kosketukseen perustuvasta latauksesta. Kappaleen loppuun tarkastellaan data-analytiikan hyödyntämistä osana infrastruktuuria, sensoriteknologian hyödyntämistä kuljetuksissa, aurinkopaneelitietä sekä tulevaisuuden logistiikkajärjestelmää.

2.1 Liikenteen automaatio

Itseohjautuvien autojen odotetaan vaikuttavan positiivisesti esimerkiksi ruuhkautumiseen, päästöihin, infrastruktuurin hallintaan, liikuntarajoitteisten ja vanhusten liikkuvuuteen, sekä ennen kaikkea tieliikenneonnettomuuksien määrään (Hoadley, 2018, s. 2; Euroopan parlamentti, 2019). EU:ssa tapahtuu vuosittain tuhansia liikenneonnettomuuksia, jotka vaativat kuolonuhreja. Noin 95 prosentissa näissä liikenneonnettomuuksissa on osallisena inhimillinen virhe ja näitä virheitä pystytään vähentämään itseohjautuvien autojen ja

rekkojen avulla. (Euroopan parlamentti, 2019) Lappi ym. (2018, ss. 1–2) tutkimuksessaan kertovat tämän olevan mahdollista, koska autonomiset ajoneuvot pystytään esimerkiksi ohjelmoimaan kulkemaan sopivalla nopeudella liikennetilanteeseen nähden, lisäksi ne pystytään kouluttamaan pitämään riittävät turvamarginaalit.

Karls & Mueck (2018, s. 1) pohtivat kirjassaan tulevaisuuden autonomisen ajoneuvon toimivan ihanne tapauksessa siten, että se löytää tien perille itsekseen ja kuski voi esimerkiksi nukkua tai lukea kirjaa. Siihen on kuitenkin vielä paljon matkaa ja esimerkiksi Litman (2022, ss. 4–5) arvelee julkaisussaan täysin autonomisten ajoneuvojen voivan olla optimistisesti katsottuna riittävän turvallisia vuoteen 2025 mennessä, mutta samalla toteaa niiden olevan todennäköisesti vielä 2030- ja 2040- luvulla kalliita ja suoristuskyvyltään rajoitettuja. Hän toteaaakin, että täysin autonomisten ajoneuvojen yleistymiseen voi mennä vielä vuosikymmeniä. Myös Lappi ym. (2018, ss. 1–2) arvelet tutkimuksessaan tieliikenteen automaation lisääntyvän asteittain, vaikka optimistit ennustavatkin autonomisten autojen vallankumousta lähitulevaisuuteen. Litman (2022, ss. 4–5) kuitenkin arvelee, että robottitaksit ja mikroliikenteen robottibussit voivat yleistyä laajemmin jo 2030-luvulla. Lisäksi pitkän matkan robottibussit ja robottirekat voivat hänen mukaansa yleistyä laajemmin 2030- ja 2040-luvuilla ennakoitavien reittiensä vuoksi.

2.1.1 Automaation tasot

Ajoneuvojen automaation tasot on määritelty vuonna 2014. Määrittelyn tekivät SAE, eli Society of Automotive Engineers, sekä VDA, eli German Association of the Automotive Industry. Standardi on nimeltään J3016, joka kattaa 6 automaation tasoa alkaen tasosta 0, missä ajoneuvolla ei ole lainkaan automaatiota ja päättyen tasoon 5, missä ajoneuvo on täysin automaattinen. (Karls & Mueck, 2022, s. 3–4) Standardin sisältöä on päivitetty useampaan otteeseen SAE:n toimesta ja uusin versio standardista on julkaistu vuonna 2021 (SAE International, 2021, s. 1). Vuonna 2021 julkaistun päivityksen mukaiset automaatiotasot on esitetty kuvassa 1. Listauksessa ei oteta huomioon aktiivisia turvajärjestelmiä, eikä tiettyjä kuljettajaa avustavia järjestelmiä, sillä ne eivät poista kokonaan kuljettajan roolia ja näin ollen niitä ei pidetä automaationa. (SAE International, 2021, s. 4).

TASO	NIMI	TASON MÄÄRITELMÄ	ESIMERKKEJÄ
Ihminen monitoroi ajoympäristöä, sekä suorittaa ajamisen kokonaan tai osittain.			
TASO 0	Ei automaatiota	Ihminen suorittaa tällä tasolla kaikki ajamisen osa-alueet, vaikka ajamista tuetaan ajamiseen puuttuvilla turvallisuusjärjestelmillä.	-kaistavahti -automaattinen häätäjarrutusjärjestelmä
TASO 1	Kuljettajan tuki	Ihminen vastaa tällä tasolla kaikista muista ajamisen osa-alueista, paitsi käyttöympäristökohtaisista kuljettajan tukijärjestelmistä. Ne liittyvät joko ajoneuvon ohjaamiseen tai sen kiihdyttämiseen ja jarruttamiseen, mutta eivät samanaikaisesti.	-kaistallapitoavustin TAI automaattisesti mukautuva vakionopeudensäädin
TASO 2	Osittainen automaatio	Käyttöympäristökohtainen automaatiojärjestelmä. Tällä tasolla automaatio kattaa ohjaamisen sekä kiihdyttämisen ja jarruttamisen, mutta ihmisen täytyy valvoa jatkuvasti ajamista ja vastata kaikista muista ajamisen osa-alueista.	-kaistallapitoavustin JA automaattisesti mukautuva vakionopeudensäädin saman aikaisesti
Järjestelmä monitoroi ajoympäristöä, sekä suorittaa ajamisen.			
TASO 3	Ehdollinen automaatio	Käyttöympäristökohtainen automaatiojärjestelmä, joka kattaa kaikki dynaamisen ajamisen osa-alueet. Ihmisen rooli on valvoa ajamista ja olla valmiina ottamaan auto hallintaansa ongelmatilanteissa.	-ruuhka-avustin
TASO 4	Korkea automaatio	Käyttökohtainen automaatiojärjestelmä. Tällä tasolla automaatio huolehtii kaikista ajamisen osa-alueista tietyissä tilanteissa. Kuljettajan ei pitäisi puuttua ajamiseen, mutta tietyissä tilanteissa se voi olla tarvittavaa.	-paikallinen robottitaksi -ratti sekä polkimet voivat joko olla ajoneuvossa tai ne voivat puuttua
TASO 5	Täysi automaatio	Täysi automaatiojärjestelmä. Tällä tasolla automaatio huolehtii kaikista ajamisen osa-alueista. Ihmisen ei tarvitse valvoa ajamista, eikä ottaa ajoneuvoa hallintaansa.	-sama kuin tasolla 4, mutta autonominen ajaminen voi tapahtua missä vain ja kaikissa olosuhteissa

Kuva 1: J3016-standardin mukaiset automaatio- ja tasot (Hannu Riikonen, 2022) (SAE International, 2021, ss. 25–26).

2.1.2 Robottitaksit

Robottitaksit voivat olla yksityisiä tai jaettuja. Yksityinen robottitaksi toimii ilman kuljettajaa kuten perinteinenkin taksi, jaetussa automaattitaksissa kyydissä voi olla entuudestaan tuntemattomia ihmisiä matkaseurana. (Liljamo, 2020, s. 25) Litman (2022, s. 9) arvelee robottitaksien käytön olevan halvempaa kuin nykyisten taksipalveluiden, mutta tarjoavan heikompaa palvelua, koska kuljettaja ei ole avustamassa matkustajia, tarjoamassa turvallisuutta, kantamassa matkatavaroita tai siivoamassa ajoneuvoja.

Kappaleessa 2.1.3 käsitellään robottitaksipalvelu Waymo Onea ja kappaleessa 2.1.4 robottitaksipalvelu Cruisea. Näiden lisäksi maailmalla on viimeaikoina tapahtunut paljonkin robottitaksien keskuudessa. Esimerkiksi TechCrunch (Bellan, 2022) uutisoi hiljattain Lyftin ja Argo AI:n tarjoavan julkista robottitaksi-palvelua Austinissa, jossa käyttäjät voivat valita autonomisen vaihtoehdon Lyft-sovelluksesta samaan hintaan. Sovelluksen avulla asiakkaat

voivat myös avata ajoneuvojen lukituksen ja aloittaa kyydin. Kyydeissä on kuitenkin mukana 2 henkilöä varmistamassa kyytien turvallisuudesta. Lyft, Argo AI ja Ford ovat uutisen mukaan ilmoittaneet tuovansa yhdessä vähintään 1000 autonomista ajoneuvoa useisiin kaupunkeihin seuraavien 5 vuoden aikana. Tätä ennen joulukuussa 2021 Lyft ja Argo AI aloittivat robottitaksi-palvelun Miamissa. Toinen esimerkki, josta Electrek (Doll, 2022) uutisoi lokakuussa 2022 on palveluntarjoaja Uberin ja robottitaksien kehittäjä Motionin välinen 10-vuotinen sopimus, jonka mukaan Uber ottaa aluksi käyttöönsä 5 kappaletta Hyundain IONIQ 5-robottitaksia. Ennen uutta sopimusta Uber ja Motion tekivät yhteistyötä autonomissa ruokatoimituksissa Los Angelesissa. Myös esimerkiksi Kiinassa testataan robottitakseja. CNN Business (Thorbecke, 2022) uutisoi elokuussa 2022 Baidun Apollo Go:n saaneen luvan käyttää 10 autonomista taksia Kiinan Chongqingissa ja Wuhanissa, joissa molemmissa kaupungeissa sallitaan 5 ajoneuvoa. Lisäksi Elon Musk ilmoitti TechCrunchin (Bellan & Korosec, 2022) uutisen mukaan Teslan tuovan markkinoille vuoteen 2024 mennessä oman robottitaksin, jossa ei ole ohjauspyörää tai polkimia.

2.1.3 Robottitaksipalvelu Waymo One

Waymo on saanut alkunsa Googlen projektista vuonna 2009, jolloin yhtiö rupesi kehittämään itseohjautuvaa-autoa (Waymo, n.d. -a). Vuonna 2016 Waymosta tuli itsenäinen yhtiö, joka keskittyy autonomiseen ajamiseen. Se on myös Googlen omistaman Alphabet Inc:n tytäryhtiö. (Waymo, n.d. -f) Vuonna 2017 Waymo esitteli yhteistyössä FCA:n kanssa ensimmäisen ajoneuvonsa, joka oli muunneltu versio Pacifica Hybrid-tila-autosta. Samana vuonna yritys aloitti ensimmäiset testauksensa Phoenixissa. (Waymo, n.d. -f) Todd Litmanin (Litman, 2022, s. 36) mukaan Phoenix valittiin paikaksi, koska sen ilmasto on leuto, kadut leveitä ja siellä on kohtalaisen vähän jalankulkijoita. Hänen mukaansa muutaman kuukauden testauksen jälkeen pilotointi pysäytettiin hetkelliseksi jalankulkijan kuoleman takia, mutta se käynnistettiin pian uudelleen.

Waymon autonomisen kutsukyyti-palvelun nimi on Waymo One ja se julkaistiin vuonna 2018. Yhtiö aloitti tarjoamaan robottitaksi-palveluitaan Phoenixissä valituille Waymo One-asiakkaille vuonna 2019. (Waymo, n.d. -f) Tällä hetkellä kuka Waymo One-sovelluksen ladannut henkilö voi käyttää palvelua Phoenixin keskusta-alueella tai East Valleyssa. Palvelu toimii 24 tuntia vuorokaudessa 7 päivänä viikossa. (Waymo, n.d. -b) Waymo One-

kuljetuskalustona Phoenixin metropolitan-alueella operoivat Chrysler Pacifica Hybrid tila-autot ja sähköinen Jaguar I-Space, joka on kuvassa 2 oikeanpuoleinen ajoneuvo (Waymo, n.d. -b).



Kuva 2: Chrysler Pacifica Hybrid ja Jaguar I-Space (Waymo, n.d. -e).

Waymon autonominen ajotekniikka on nimeltään Waymo Driver. Se sisältää laitteiston ja ohjelmiston, jotka yhdessä antavat ajoneuvoille 360 asteen katselukulman. Laitteisto koostuu lidarista, kameroista, tutkasta ja tehokkaasta tekoäly-alustasta. (Waymo, n.d. -a) Ohjelmisto laskee autoon asennettujen antureiden tiedot, tunnistaa erilaisia kohteita ja lopulta suunnittelee turvallisen reitin. (Waymo, n.d. -a; Waymo, n.d. -d)

Waymo One operoi SAE-tasolla 4 (Kaszas & Roberts, 2022, s. 2; Cordos ym., 2020, s. 5). Waymo One-kuljetuksissa ei ole kuljettajaa mukana, mutta asiakas saa yhdellä napin painalluksella Rider Support-agentin avukseen vuorokauden ympäri (Waymo, n.d. -e). Waymo (Waymo, n.d. -d) esittelee nettisivuillaan Waymo One-palvelun sallivan yhdelle matkalle 5 pysähdystä. Asiakas saa myös kytkettyä musiikkia suoratoistopalveluista suoraan autojen kaiutinjärjestelmistä. Lisäksi asiakas pystyy valitsemaan kaksi yksilöllistä kirjainta tilatessaan palvelua, jolloin ne näkyvät auton etuosassa sen saapuessa ja asiakkaan on helpompi tunnistaa tilattu ajoneuvo.

Waymo on laajentanut toimintaansa San Fransiscoon. Se käynnisti kaupungissa Waymon SF Trusted Tester-tutkimusohjelman Vuonna 2021, jolloin yritys alkoi tarjoamaan palveluitaan ensimmäiselle koeryhmälle. (Waymo, n.d. -f) Waymon SF Trusted Tester-tutkimusohjelmassa

on käytössä Jaguar I-Space-ajoneuvot ja tutkimusohjelman ajoissa oli aluksi turvallisuussyistä kuljettaja mukana ajoneuvoissa (Waymo, n.d. -b). The Verge (Roth, 2022) uutisoi marraskuussa 2022 Waymon saaneen California Public Utilities Commissionilta luvan suorittaa SF Trusted Tester-tutkimusohjelman ajoja San Fransiscossa ilman turvahenkilöä, mutta uutisen mukaan yhtiö ei kuitenkaan saa vielä laskuttaa robottitaksi-palveluistaan San Fransiscossa.

Waymo ilmoitti lokakuussa 2022 laajentuvansa seuraavaksi Los Angelesiin, jossa yrityksen on määrä ruveta tarjoamaan Waymo One-kutsuliikennepalveluita (The Waymo Team, 2022 -a). Marraskuusta 2022 lähtien Waymo One Trusted Tester-tutkimusohjelman testaajat voivat lisäksi matkustaa myös Phoenixissä keskustan ja Phoenix Sky Harbor-lentokentän välillä. Palvelu toimii 24 tuntia vuorokaudessa 7 päivänä viikossa, mutta matkassa on aluksi kuitenkin mukana turvallisuudesta vastaava kuljettaja. (The Waymo Team, 2022 -b).

CNBC:n toimittaja Michael Wayland (Wayland, 2022) testasi Way One-robottitaksia Phoenixissä alkuvuodesta 2022 ja kertoi omista kokemuksistaan lehden nettisivuilla. Wayland tilasi robottitaksin sovelluksen avulla ja kertoi ajoneuvon vastaanoton olevan erilaista, kuin mihin hän oli tottunut perinteisten taksien kanssa. Robottitaksin kohdalla asiakkaan on oltava täsmälleen oikeassa noutopaikassa, sillä hän itse joutui juoksemaan ajoneuvon perässä parkkipaikalla yrittäessään päästä sen kyytiin. Waylandin raportin mukaan itse matka sujui pääasiallisesti hyvin, sillä robottitaksit selvisivät esimerkiksi jarrutuksista, kiihdytyksistä ja teiden hidastekorokkeista hyvin. Robottitaksien reittivalinnat olivat kuitenkin hänen mukaansa outoja ja lisäksi matkalle sattui muutamia äkkinäisiä jarrutuksia ja ohjausliikkeitä. Lisäksi ajoneuvo pysähtyi kerran keskelle suojatietä, mistä se lopulta kuitenkin peruutti pois. Wayland kertoi, että ajoneuvo näytti ajoneuvon takana olevista näytöistä saman kuin mitä ajoneuvo itse näkee, eli esimerkiksi muut ajoneuvot, jalankulkijat ja rakennukset. Hän arvelee tämän auttavan matkustajia tuntemaan olonsa turvallisemmaksi. Wayland kertoi julkaisussaan kyydin maksaneen yhteensä 49,20 dollaria ja se koostui kahdesta matkasta. Niiden yhteenlaskettu pituus oli 26,5 mailia ja ne kestivät yhteensä tunnin ja 17 minuuttia. Hänen mukaansa hinta vastasi lähes tarkalleen normaalin taksimatkan hintaa.

2.1.4 Robottitaksipalvelu Cruise

Cruise on Kyle Vogtin vuonna 2013 perustama yritys, jonka General Motors osti vuonna 2016. Yrityksen kotipaikka on San Francisco. (Cruise, 2022 -a) The Verge (Haekings, 2021) uutisoi syyskuussa 2021 Cruisen saaneen luvan tehdä täysin autonomisia ajoja San Fransiscossa. Ensimmäisen autonomisen ajon kyydissä oli Kyle Vogt (West, 2022). Julkisille matkustajille palvelua ruvettiin tarjoamaan San Fransiscossa vuoden 2022 alussa (Cruise, 2022 -a; West, 2022) ja kesäkuussa 2022 Cruise sai vihdoon California Public Utilities Comissionilta luvan, jonka mukaan Cruise voi ruveta myös perimään maksuja robottitaksi- kyydeistään (West, 2022).

Cruise tarjoaa tällä hetkellä kyytejä ainoastaan San Fransiscossa, missä ajoneuvot operoivat kello 22.00 ja 5.30 välisenä aikana. Asiakkaan tarvitsee luoda itselleen aluksi Cruise-tilin, jotta hän voi tilata itselleen kyydin. Sitä ennen asiakas joutuu kuitenkin jonotuslistalle ja hän saa myöhemmin ilmoituksen kun hänelle aukeaa paikka. Jonotuslistan läpäistyään ja Cruise-sovelluksen ladattuaan asiakkaan tarvitsee hänen vain tilata kyyti sovelluksen kautta, jolloin ajoneuvo etsii sopivan paikan asiakkaan noutoon ja lähettää hänelle koordinaatit. Asiakas saa avattua ajoneuvon ovet sovelluksen avulla ja hän voi ottaa lisäksi kyytiin 2 matkustajaa. Matkustajien tulee kuitenkin olla 18-vuotiaita, sillä Cruise ei salli kuljetuksissaan lapsia eikä lemmikkieläimiä. (Cruise, 2022 -b)

Cruise operoi SAE-tasolla 4. Robottitakseissa ei ole kuljettajaa, mutta niitä tarkkaillaan etänä. (Kaszas & Roberts, 2022, ss. 2–3). Ajoneuvona Cruisella on käytössä Poppy, joka on kustomoitu Chevy Bolt-sähköauto, kuva 3. Ajoneuvolla on 360 asteen näkyvyys ja se sisältää yli 40 kameraa ja sensoria. Ajoneuvoissa on yksi tabletti edessä ja kaksi takana, jotka näyttävät kartan sekä päivittävät tietoa matkasta. Lisäksi takana sijaitsevilla tableteilla pystyy aloittamaan matkan. (Cruise, 2022 -b) Reutersin (Jin, 2022) syyskuussa 2022 julkaistun uutisen mukaan yrityksellä on käytössä 70 ajoneuvoa ja määrän on tarkoitus kaksin- tai kolminkertaistua vuoden 2022 loppuun mennessä.



Kuva 3: Poppy (Cruise, n.d. -b).

Vuonna 2020 Cruise julkaisi Originin, mutta sen tuotannon on määrä alkaa General Motorsin Factory Zerossa vasta vuoden 2023 alkupuolella. (Cruise, 2022 -a) Originissa on suuret ovet ja se tekee siitä helppokäyttöisen, esimerkiksi rullatuoliasiakkaille, kuva 4. Se on suunniteltu tuottamaan myös audio-visuaalista helpottavuutta näkö- ja kuulovammaisille. Originissa asiakas voi lisäksi säätää lämpötilaa, laittaa tunnelmavalaistuksen sekä kuunnella omaa musiikkiaan. (Cruise, 2022 -c)



Kuva 4: Origin (Cruise, n.d. -c).

Cruise on saanut lukuisia sijoituksia vuosien varrella, yhteensä noin 10 miljardia dollaria. Vuonna 2018 Softbank ja General Motors sijoittivat yritykseen 3.35 miljardia dollaria, jonka

lisäksi Honda investoi yritykseen 750 miljoonaa dollaria sekä sitoutui Originin kehittämiseen 2 miljardilla dollarilla. Vuonna 2019 Cruise sai jälleen sijoituksia 1.15 miljardia dollaria, kun esimerkiksi T. Rowe Price investoi yritykseen. Vuonna 2021 Microsoft, Honda, Walmart ja institutionaaliset sijoittajat investoivat vielä 2,75 miljardia dollaria yritykseen. (Cruise, 2022 - a) TechCrunch (Korosec, 2022) uutisoi marraskuussa 2022 Cruisen ostavan Softbankin vuonna 2018 ostamat osakkeet takaisin 2,1 miljardilla dollarilla, jonka lisäksi General Motors teki Cruiselle 1,35 miljardin lisäsijoituksen.

Cruise on ilmoittanut vuonna 2021 suunnitelmistaan testata itseohjautuvia ajoneuvoja Dubaissa ja Japanissa (Cruise, 2022 -1). CNET (Hyatt, 2021) uutisoi Cruisen aloittavan robottitaksi-palvelut Dubaissa jo vuonna 2023, johon Cruisen on määrä toimittaa Origin-ajoneuvoja. Uutisen mukaan Cruise ja Dubai Roads and Transport Authorityn välinen sopimus tekee Cruisesta ainoan itseohjautuvia ajoneuvoja tarjoavan yrityksen kaupungissa vuoteen 2029 saakka. Sopimus voi olla merkittävä Cruiselle, sillä Dubain kaupunki suunnittelee ottavansa 4000 robottitaksia käyttöönsä vuoteen 2030 mennessä. The Robot Report (Crowe, 2021) uutisoi Cruisen ja Hondan vuonna 2018 alkaneen autonomisten autojen kumppanuuden olevan syynä Cruisen laajentumiselle Japaniin. Uutisen mukaan Cruisen oli tarkoitus lähettää vuoden 2021 aikana ensimmäiset testiautot Japaniin, jossa Origin-autojen on tarkoitus olla mukana Hondan suunnittelemissa MaaS-palveluissa. Cruise laajentaa toimintaansa myös Yhdysvalloissa. TechCrunch (Bellan, 2022) uutisoi syyskuussa 2022 Cruisen laajentavan kutsuliikennepalveluitaan seuraavaksi Phoenixiin ja Austiniin. Uutisen mukaan Cruisen perustaja ja toimitusjohtaja Kyle Vogt kertoi sen tapahtuvan jo ennen vuoden 2022 loppua. Cruisella on jo kokemusta Arizonasta, sillä yritys on tehnyt jakelupilotin alueella yhdessä Walmartin kanssa (Cruise, 2022 -a). TechCrunchin (Bellan, 2022) uutisen mukaan Austin on yritykselle uusi tuttavuus, eikä Cruise ole vielä edes kartoittanut kaupunkia. Kyle Vogt kertoi lehden haastattelussa, että Cruiselta kesti vain 3 viikkoa saada tarvittavat luvat operoida uusissa kaupungeissa, kun San Fransiscossa Cruisella kesti 33 kuukautta saada kaikki tarvittavat luvat kaupalliseen toimintaan.

The Detroit Newsin toimittaja Henry Payne (Payne, 2022) testasi Cruisea ystävänsä kanssa San Fransiscossa syksyllä 2022. Payne tilasi robottitaksin hotellilleen sovelluksella ja sai samaisella sovelluksella aukaistua taksin ovet. Matkan sai aloitettua etuistuimen takana sijaitsevasta näytöstä ja matkustajat saivat valita näytöstä mieleistensä musiikkia. Näytössä

pyöri myös San Fransisco-aiheinen trivia matkan aikana. Payne raportoi 27 minuutin matkan Twin Peaksiin olleen mieleinen ja sujuneen ilman ongelmia, taksi jarrutti vain kerran ilman näkyvää syytä. Twin Peaksista Paine päätti palata ystävänsä kanssa takaisin hotellilleen, mutta matka katkesi yllättäen kesken. Taivaalta rupesi satamaan vettä ja robottitaksi parkkeerasi muiden autojen viereen kadun kulmaan. Auton kaiutinjärjestelmästä kuului henkilökunnan ääni, jonka mukaan matkustajat voisivat odottaa henkilökunnan saapumista paikalle tai he voisivat tilata Uberin. Paine palasikin ystävänsä kanssa hotellilleen Uberin kyydillä ja sai seuraavana päivänä Cruiselta ilmoituksen, jonka mukaan matkat keskeytyvät sateen tai sumun takia turvallisuussyistä. Paynen raportin mukaan Cruisen hinta on noin 20 prosenttia edullisempi kuin Uberin tai Lyftin.

2.1.5 Robottibussit

Robottibusseilla voi olla monia hyötyjä verrattuna perinteisiin busseihin, joita voivat olla esimerkiksi toiminta-aikojen parannus, aikataulujen luotettavuus sekä automaattinen ja interaktiivinen kalustonhallinta. Lisäksi robottibusseilla voi olla uusia käyttötapoja, esimerkiksi pandemian aikana niillä voidaan kuljettaa näytteitä tai tartunnan saaneita ihmisiä eri keskuksien välillä, jolloin pystytään välttämään ihmisten välinen vuorovaikutus. (Cordos ym., 2020, ss. 37–38)

Maailmassa on useita yrityksiä, jotka ovat tuoneet markkinoille automaattisia pienbusseja, näitä ovat esimerkiksi Apollo Baidu Kiinasta, EasyMile Ranskasta, Navya Arma Ranskasta ja Olli USA:sta. (Cordos ym., 2020, s. 4) Oscar Nissin (Nissin, n.d.) mukaan eri valmistajien robottibussit ovat alkaneet muistuttamaan toisiaan ja niissä on samoja ominaisuuksia. Tyypillisesti ne ovat sähkökäyttöisiä, niissä on 4 pyörää ja noin 6-12 istumapaikkaa, ne kykenevät liikkumaan molempiin suuntiin ja lisäksi niissä on keskellä tilaa lastenvaunuille tai pyörätuoleille.

Oscar Nissin (Nissin, n.d.) mukaan robottibussien tarkoituksena on vastata erityisesti matkaketjujen first mile- ja last mile-kuljetuksien puutteista. Tällä tarkoitetaan käytännössä matkoja kotoa bussipysäkille ja bussipysäkiltä määränpäähän. Haavisto, Nousiainen ja Ritvos (Haavisto, ym. 2018, s. 75) toteavat SOHJOA-projektin raportissa monien tutkimusten ennustavan autonomisten minibussien olevan tulevaisuuden joukkoliikenteen ensimmäisen

ja viimeisen mailin kulkumuodoista kaikkein lupaavin, jos ne yhdistetään esimerkiksi junan tai bussin kanssa. Cordos ym. (Cordos ym., 2020, ss. 6–7). toteavat julkaisussaan robottibussien soveltuvan myös hiljaisimmille tieosuuksille, kuten lentokenttien ja teollisuusalueiden reiteille. Heidän mukaansa robottibussien alhaisempi ajonopeus, pienennetty matkustajamäärä, korkea hinta, sekä ihmisoperaattorin tarve ovat esteitä niiden laajemmalle käyttöönotolle julkisessa henkilöliikenteessä.

2.1.6 Robottibussipilotointi SOHJOA

Maailman ensimmäinen yleisessä liikenteessä toteutettu automaattibussikokeilu oli nimeltään SOHJOA, joka toteutettiin Suomessa vuosien 2016 ja 2018 välisenä aikana. Projektin aikana robottibusseja testattiin pilottireiteillä Helsingissä, Espoossa ja Tampereella, joiden lisäksi niitä testattiin Vantaalla ja Hämeenlinnassa lyhyemmissä demoajoissa. (Nissin, 2018, s. 20) Pilotointien reiteistä pyrittiin tekemään erilaisia, jotta pilotointi tuottaisi erilaisia oppimiskokemuksia (Santamala, 2018, s. 11). Projektissa käytettiin kahta ranskalaisen Easymilen valmistamaa EZ10-kulkuneuvoa. Kyseisiä ajoneuvoja koskee samat säännöt kuin henkilöautojakin Suomen tieliikennelainsäädännön mukaan. (Nissin, 2018, s. 25)

Pilotoinnin ensimmäinen vaihe toteutettiin kesä-syyskuussa 2016 Helsingin Hernesaaressa. Robottibussit kulkivat suoraa reittiä 2 pysäkin välillä ja reitin molemmissa päissä oli kääntöpaikka. Reitti oli pituudeltaan 500 metriä per suunta. Vaikka reitti oli yksinkertainen, oli ensimmäinen pilottireitti vilkkaasta tieosuudesta johtuen haastavin kaikista kolmesta pilottireitistä. (Santamala, 2018, s. 13)

Pilotoinnin toinen vaihe toteutettiin syys-lokakuussa 2016 Espoon Otaniemessä. Reitti kulki Espoon Otaniemessä Aalto yliopiston kampus-alueella, jossa sen matka oli yhteen suuntaan noin 400 metriä. Se sisälsi 3 pysäkkiä. Tieosuus oli monimutkaisempi kuin Hernesaaressa, sillä reitillä oli useampia käännöksiä ja risteyksiä. Silti toinen pilotointi oli helpompi toteuttaa kuin ensimmäinen pilottireitti, johtuen vähäisemmästä liikenteestä. (Santamala, 2018, ss. 14–15)

Kolmas pilotointi toteutettiin Tampereen Hervannassa loka-marraskuussa 2016 Tampereen teknillisen yliopiston kampusalueella (Santamala, 2018, ss. 14). Talvikeli esti pilottiajojen

jatkumisen, joten kolmas pilotointi jatkui touko-kesäkuussa 2017 (Nissin, 2018, s. 22). Reitillä oli 4 pysäkkiä ja sen pituus oli noin 500 metriä yhteen suuntaan. Reitti erosi kahdesta ensimmäisestä pilottireitistä, sillä robottibussi kulki suurimman osan matkasta kevyenliikenteen seassa. (Santamala, 2018, ss. 14–15) Robottibussi joutui reitillään alittamaan tunnelin. Lisäksi reitillä oli myös useampia kohtia, joissa robottibussit eivät mahtuneet kohtaamaan toisiaan. (Nissin, 2018, s. 22)

Pilotoinnin lopputuloksena Nissin (Nissin, 2018, ss. 27–28) kertoi kyseisten robottibussien teknologisen tason olevan vielä riittämätön, jotta ne voisivat operoida osana sekaliikennettä tai julkista liikennettä. Se ei esimerkiksi pystynyt reagoimaan punaisiin liikennevaloihin tai tasa-arvoisiin risteyskohtiin ja sillä oli vaarallisen alhainen 5-12 km/h tuntinopeus. Lisäksi Nissin kertoi, ettei ihmisoperaattorin poistaminen ajoneuvostosta ollut mahdollista etävalvomon- ja hallintajärjestelmän puutteen vuoksi ja kaiken tämän lisäksi robottibussi vaati 8 tunnin latauksen pistokkeesta.

2.1.7 Robottibussipilotointi FABULOS

FABULOS (Future Automated Bus Urban Level Operation Systems) oli Euroopan Unionin Horizon 2020-ohjelman rahoittama projekti, joka kesti 1.1.2018-31.3.2021 välisen ajan. Sen tarkoituksena oli testata robottibusseja systemaattisesti osana julkista liikennettä. Ennen projektia ei ollut olemassa järjestelmää, jonka avulla voisi hallinnoida suurta joukkoa robottibusseja. Hanke toteutettiin esikaupallista hankintamenettelyä käyttäen. (Forum Virium Helsinki, n.d. -b) Kenttätestausvaiheessa robottibussien prototyypit testattiin huhtikuun 2020 ja maaliskuun 2021 välisenä aikana (Forum Virium Helsinki, n.d. -e). Pilotointia tehtiin Suomessa, Virossa, Norjassa, Hollannissa ja Kreikassa (Forum Virium Helsinki, n.d. -a).

Suomen pilotointi alkoi huhtikuussa 2020, mutta koronavirus-epidemiasta johtuen asiakkaat pääsivät robottibussien kyytiin vasta toukokuun alussa. Suomen pilotoinnista vastasivat Espanjalainen Shotl ja Suomalainen Sensible4. Shotl vastasi sovelluksesta, jonka avulla asiakkaat pystyivät tilaamaan robottibussin. Sensible4 vastasi robottibussin tekniikasta. (Forum Virium Helsinki, n.d. -c). Sensible4 on perustettu vuonna 2017 ja se työllistää yli 80 henkilöä. Sen liikevaihto vuonna 2021 oli noin 3 miljoonaa euroa ja yritys on kerännyt

rahoitusta noin 17 miljoonaa euroa. (Sensible4, n.d. -b). Vuonna 2019 Sensible4 esitteli yhdessä Japanilaisen MUJI:n kanssa maailman ensimmäinen autonomisen pienbussin GACHA:n, joka pystyy operoimaan kaikissa sääolosuhteissa (Sensible4, n.d. -a). Sensible4 vastasi GACHA:n tekniikasta, ohjelmistoista, sekä rakentamisesta ja MUJI toimi suunnittelukumppanina. (Sensible4, n.d. -a). GACHA painaa noin 2500 kg, siihen mahtuu 10 matkustajaa istumaan ja 6 seisomaan, sen huippunopeus on 80 km/h ja sen akku riittää noin päiväksi. GACHA navigoi sensoripaketin avulla, johon sisältyy tutkia, neljä Lidar-sensoria, IMU, 360-asteen kamerajärjestelmä sekä satelliittipaikannusjärjestelmä. (Forum Virium Helsinki, n.d. -c).

Suomen pilotoinnin käytössä oli kolme robottibussia, joista yksi oli GACHA, kuva 5. Busseja ohjattiin ja valvottiin kauko-ohjauskeskuksesta (Forum Virium Helsinki, n.d. -c). Busseissa oli lisäksi turvallisuudesta vastaava henkilö mukana varmistamassa, että kaikki sujui hyvin (Forum Virium Helsinki, 2021).



Kuva 5: GACHA-robottibussi (Forum Virium Helsinki, n.d. -c).

Pilottipaikaksi valittiin Pasila, sillä robottibusseja testattiin osana kaupunkien joukkoliikennejärjestelmiä ja Pasilassa sijaitseva Mall of Tripla yhdistää juna-aseman-, linja-autoaseman ja raitiovaunupysäkit (Forum Virium Helsinki, n.d. -c). Robottibussit liikkuvat Itä-Pasilassa 40 km/h tuntinopeudella osittain erillisellä kaistalla. Reitti kulki ympyräreittiä suuren korttelin ympäri, joka piti sisällään liikenneympyrän, kadunvarsipysäköintiä ja useita

risteyksiä, joissa oli liikennevalot. Reitin varrella oli kolme bussipysäkkiä. (Forum Virium Helsinki, n.d. -c) Pasilan pilotoinnin reitti on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6: Robottibussin reitti Pasilassa (Forum Virium Helsinki, n.d. -c).

Kaikki FABULOS-projektin kuusi pilottia suoritettiin suunnitelmien mukaan COVID-19-rajoituksista huolimatta ja jokainen pilotti sisälsi 2 kenttätestausta. Pilotoinnin aikana testattiin 6 erityyppistä ajoneuvoa, joista oli jälkiasennettuja tila-autoja. (Forum Virium Helsinki, n.d. -a) Robottibussien kyydissä oli kaikki pilotoinnit mukaan laskettuna yhteensä 2807 matkustajaa, ajokilometrejä niille kertyi yhteensä noin 14 000 km ja ajotunteja robottibusseille tuli yhteensä 2756 tuntia. Osa pilotoinneista tehtiin ankarissa talviolosuhteissa ja vilkkailla tieosuuksilla, lisäksi Norjan jyrkät mäet tekivät testauksesta välillä haastavaa. (Forum Virium Helsinki, n.d. -a) Pilotoinnit onnistuivat hyvin, mutta useita teknisiä ominaisuuksia olisi vielä parannettava ja lainsäädännöllisiä näkökohtia huomioitava ennen kuin FABULOUS-projektissa käytettyjä ratkaisuja voidaan täysin kaupallistaa ja ottaa käyttöön joukkoliikennejärjestelmissä. (Forum Virium Helsinki, n.d. -f) Projektin lopputuloksena Helsingin, Helmondin ja Lamian kaupungeissa on vahvistettu suunnitelmista jatkohankkeita koskien (Forum Virium Helsinki, n.d. -a).

2.1.8 Robottibussipilotointi CAVForth

Isossa-Britanniassa on käynnissä hanke, jossa viiden automaattisen linja-auton on tarkoitus kulkea 22.5 km pituista reittiä Forth Road bridgen yli Edinburgin ja Fifen välisellä matkalla. Linja-autojen odotetaan kuljettavan jopa 10 000 matkustajaa viikossa. Reitti pitää sisällään esimerkiksi liikennevalo-ohjattuja liikenneympyröitä, bussikaistoja, jalankulkijoita sisältäviä bussi- ja rautatieasemia, sekaväyliä, sekä moottoriteitä, joissa on 80 km/h nopeusrajoitus. (CAVForth, 2022f) Hankkeen odotetaan kestävän 6 kuukautta vuoden 2022 aikana ja sen tavoitteena on testata teknologiaa, joka mahdollistaa autonomisten ajoneuvojen ajamisen yleisellä tiellä muun liikenteen seassa (CAVForth, 2022a).

CAVForth on osa Ison-Britannian hallituksen 100 miljoonan punnan Intelligent Mobility Fund-hanketta (CAVForth, 2022c). Pilotointia johtaa Fusion Processing, joka on automaattiajamisen käyttöjärjestelmän toimittaja. Mukana hankkeessa on myös Iso-Britannian suurin linja-autoliikenteen harjoittaja Stagecoach Group PLC, Iso-Britannian suurin linja-autojen valmistaja Alexander Dennis Limited, Bristol Robotics Laboratory, Napier university ja Transport Scotland. (CAVForth, 2022d)

Hanke eroaa muista työssä tarkastelluista robottibussi-hankkeista, sillä projektissa käytettävät Enviro200-linja-autot ovat diesel käyttöisiä ja täysikokoisia, tarjoten istumapaikan 43 henkilölle, kuva 7 (CAVForth, 2022e).



Kuva 7: Enviro200 (CAVForth, 2022 -e).

Linja-autojen huippunopeus autonomisessa tilassa on noin 80 km/h. Linja-autot operoivat SAE-tasolla 4 ja niissä on turvallisuussyistä johtuen kuljettaja mukana, jonka ei kuitenkaan odoteta tarvitsevan koskettaa ohjaimiin ajoneuvon ollessa autonomisessa tilassa (CAVForth, 2022f). Linja-autoja ohjaa CAVstar-ajojärjestelmä, joka yhdistää optiset kamerat, LIDAR-laitteet, tutkan, GPS:n ja sisäänrakennetun kartan. Sen odotetaan säästävän jopa 20 % dieseliä verrattuna kuljettajan suorittamiin ajoihin. (CAVForth, 2022b) Ajoneuvoissa on tavallisen ohjausjärjestelmän lisäksi myös toinen järjestelmä, joka voi ohjata järjestelmää ensisijaisen järjestelmän vikaantuessa. Lisäksi normaalien jarrujen lisäksi linja-autoissa on toinen jarrujärjestelmä, jos ensisijaiseen järjestelmään tulee yllättävä vika. (CAVForth, 2022b)

2.1.9 Robottirekat

Robottirekoilla voidaan mahdollisesti estää merkittävästi tieliikenneonnettomuuksia tulvaisuudessa, sillä maanteitse rekoilla tapahtuva tavaroiden kuljetus on logistiikkamarkkinoiden keskeinen kuljetusmuoto ja rekkojen onnettomuusriski on yli kaksinkertainen henkilöauto-onnettomuuksiin verrattuna. Lisäksi kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien riski on kuusinkertainen. Tähän vaikuttaa rekkojen suuri koko ja paino, jolloin niitä on vaikeampi hallita ja pysäyttää nopeasti. (Kim, ym., 2022, s. 1) Müllerin (Müller, 2020) mukaan logistiikka-alaa vaivaavat lisäksi korkeat käyttökustannukset sekä kuljettajapula, joihin robottirekat voisivat olla ratkaisu. Rekkojen automaatio mahdollistaa tällä hetkellä automaatioajon maanteillä, jolloin kuskit voivat hoitaa muita askareita ajon aikana. Lisäksi V2V-tekniikka mahdollistaa rekkojen saattueajon, mikä säästää polttoainetta.

2.1.10 Puoliperävaunun pilotointi ilman kuljettajaa - TuSimple

Suurempien tavarankuljetuksien osalta SAE-tason 4 puoliperävaunuja on pilotoitu useiden yritysten toimesta. Niissä on pääsääntöisesti ollut mukana turvallisuudesta vastaava henkilö tai turvatiimi mukana matkassa. Esimerkiksi CNBC uutisoi (Rosevear, 2022) lokakuussa 2022 Ikean ja Kodia Roboticsin välisestä pilotti-sopimuksesta Texasissa. Sopimuksen mukaan Kodia Roboticsin puoliperävaunu kuljettaa Ikean tuotteita Ikean varastolta Houstonista Ikean myymälään Dallasiin, joiden välillä on matkaa noin 500 kilometriä. Rekat toimivat Kodiakin

automaattisella ohjausjärjestelmällä ja rekoissa on turvallisuudesta vastaava henkilö mukana.

TuSimple teki tästä poikkeuksen, sillä se omien sanojensa (TuSimple, n.d. -b) mukaan ajoi joulukuussa 2021 historiallisesti ensimmäisenä yrityksenä maailmassa täysin autonomisella puoliperävaunulla yleisillä teillä ilman kuljettaa. Yrityksen videolla (TuSimple, 2022) pilotointia kutsuttiin nimellä Ghost Rider Project, jonka aikana puoliperävaunu kulki yöaikaan yli 80 mailin matkan. Matka kesti lähes 2 tuntia. TechCrunch (Bellan, 2021) kirjoitti pilotoinnin tapahtuneen Arizonassa, jossa puoliperävaunu kulki maanteitä ja pääväyliä pitkin Arizonan Tusconista Phoenixiin ja ajojärjestelmä navigoi 100 prosenttisesti ilman ihmisen väliintuloa. Ajoneuvoa seurasi turvallisuussyistä merkitsemättömät poliisiajoneuvot sekä valvonta-ajoneuvo. Lisäksi sen edellä kulki tutkimusajoneuvo noin kahdeksan kilometrin päässä, joka tarkkaili liikennettä ja etsi mahdollisia poikkeavuuksia.

TU Simple on vuonna 2015 perustettu autonomisen ajotekniikan yritys, jonka ajoneuvoteknologia on tällä hetkellä SAE-tasolla 4. Sen pääkonttori sijaitsee San Diegossa ja sillä on lisäksi toimintaa Arizonassa, Teksasissa, Kiinassa, Japanissa ja Euroopassa. (TU Simple, n.d. -a) Yrityksen yhteistyökumppaneita ovat esimerkiksi Nvidia, Traton, Navistar, Scania, ZF, AT&T, Cummins, Verizon ja Amazon Web Services. (TU Simple, n.d. -b) Yritys käyttää ajoneuvoinaan tällä hetkellä Navistarin jälkiasennettuja rekkoja (Bellan, 2021).

TU Simplen käyttämä valvonta- ja seurantajärjestelmä on nimeltään TUSimple Connect (TU Simple, n.d. -d). Se käyttää LIDAR-, tutka ja HD-kameroita, jotka antavat ajoneuvoille 360 asteen tietoisuuden päivisin ja öin (TU Simple, n.d. -c). TUSimplen tuotepäällikkö Chuck Price kertoi IEEE Spectrumille (Ackerman 2021) Lidarin sopivan ensisijaiseksi anturiksi pienemmille autoille, sillä niiden kantama on vain noin 200 metriä. Hänen mukaansa TUSimple luottaa useisiin HD-kameroihin, jotka antavat jopa 1000 metrin kantaman. Raskaat ajoneuvot tarvitsevat pidemmän jarrutusmatkan niiden raskaasta painosta johtuen. Pricen mukaan TUSimplen järjestelmällä varustetut raskaat ajoneuvot voivat säästää 10 prosenttia polttoainetta verrattuna ihmisten ajamiin raskaisiin ajoneuvoihin, sillä TUSimplen ajotekniikka ja pitkä näkyvyys vähentää huomattavasti jarrutuksien tarvetta.

2.1.11 Robottirekkapilotointi Einride Pod

Einride ja GE Appliance uutisoivat (GE Appliances, n.d. ; Einride, 2022) lokakuussa 2022 saaneen päätökseen 2 viikkoisen pilottijakson Selmerissä, Tennesseeessä, jonka aikana Einriden valmistamat automaattiset Pod-rekat tukivat reaaliaikaista työkulkua ja kuljettivat tavaroita GE Appliancesin toimitiloista. GE Appliancesin Selmerin toimipaikka valittiin pilotointipaikaksi, koska se sopi ympäristön luonteen vuoksi toiminnan turvalliseen testaamiseen. Einride sai aiemmin samana vuonna NHTSA:lta hyväksynnän ajaa täysin autonomista sähkörekkaa ilman turvakuljettajaa yleisillä teillä Yhdysvalloissa. Uutisen mukaan lupa on ensimmäistä laatuaan USA:ssa, sillä aiemmin USA:ssa on täytynyt olla kuljettajan tai turvatiimin itseohjautuvien sähköisten robottirekkojen mukana varmistamassa ajojen turvallisuutta.

Einride otti autonomisen ja sähköisen kuljetusauton käyttöön yleisellä tiellä jo vuonna 2019 Ruotsissa (GE Appliances, n.d. ; Einride, 2022). Kyseessä oli Electriven mukaan (Hampel, 2019) Podin edellinen versio, T-Pod, jota testattiin Ruotsin Jönköpingissä yhteistyössä DB Schenkerin kanssa. Tuolloin Ruotsin viranomaiset antoivat T-Podille luvan operoida vuoden 2020 loppuun asti, mutta se sai kulkea vain 5 km/h ollessaan täyteen lastattuna.

Podit ovat yhteensopivia tavallisten merikonttien kanssa, kuva 8. (Einride n.d. -a) Podit käyttävät useita tekniikoita, esimerkiksi Lidaria, kameroita ja satelliittia, jotka antavat sille 360 asteen tietoisuuden ympäristöstään. Podeissa oleva pimeänäkö mahdollistaa Podien operoinnin myös yöllä. (Einride, n.d. -a) Podeja valvotaan etänä (Einride n.d. -f) ja Robert Falck kertoi The Robot Reportsin (Demaitre, 2020) haastattelussa etäohjauksen vaativan 5G-verkkoa. Hän kertoi myös Podien pystyvän muodostamaan yksin yhteyden latausasemiin 130-180 kilometrin etäisyydeltä.



Kuva 8: Einride Pod (Einride, n.d. -a).

Robert Falck kertoi Forbes-lehden (Garsten, 2022) haastattelussa kesäkuussa 2022 Podin olevan tekniikaltaan sopiva logistiikkateollisuuden tarpeisiin, mutta riittämätön monimutkaiseen kaupunkiajtoon. The Robot Reportsin (Demaitre, 2020) mukaan Podit onkin suunniteltu toimimaan SAE-tasolla 4. Einride (Einride, 2020) julkaisi kuitenkin lokakuussa 2020 oman tiedotteen, jossa se kertoi, ettei Podissa ole lainkaan ohjaamoja ja ei tästä syystä sovellu SAE:n määrittelemiin automaatiotasoihin. Yritys onkin keksinyt oman määritelmänsä ajoneuvoilleen, joka on nimeltään AET, eli Autonomous Electric Transport.

AET-määritelmä käsittää tasot 1-4 ja Podit eroavat käyttötarkoitukseltaan ja ominaisuuksiltaan eri AET-tasoilla. Kaikilla neljällä AET-tasolla Podien toiminnallinen käyttöaika on kuitenkin noin 20 tuntia päivässä, ne pystyvät kuljettamaan noin 15 lavaa ja niiden hyötykuorma on noin 16 000 kiloa. Kaikki Podit ovat lisäksi kaupallisia ja niiden varausmaksu on 10 000 dollaria. Muut ominaisuudet on esitelty taulukossa 1. (Einride, n.d -b ; Einride, n.d -c; Einride, n.d -e; Einride, n.d -g)

Taso	Nopeus	Hinta	Kuvaus
1	30 km/h	18 000 \$ / kk	Lyhyet kuljetukset suljetuilla alueilla, esimerkiksi satamissa. Ennalta määritellyt reitit ja aikataulut. Mahdollisuus saada useita Podeja toimimaan yhden etäoperaattorin avulla. Akun kantama: 130-180 km. Ei tarvetta viranomaishyväksynnälle. Markkina-alue: Kansainväliset markkinat. (Einride, n.d. -b)
2	30 km/h	19 000 \$ / kk	Lyhyet kuljetukset yleisellä teillä. Mahdollisuus saada useita Podeja toimimaan yhden etäoperaattorin avulla. Akun kantama: 130-180 km. Vaatii viranomaishyväksynnän. Markkina-alue: Kansainväliset markkinat. (Einride, n.d. -e)
3	45 km/h	20 000 \$ / kk	Kuljetukset sivuteillä ja ruuhkattomilla pääteillä lähitulevaisuudessa. Etäkäyttöä pystytään laajennetaan, jolloin Pod voidaan ottaa hallintaan satojen kilometrien päästä. Akun kantama: 200-300 km. Vaatii viranomaishyväksynnän. Markkina-alue: USA ja Eurooppa. (Einride, n.d. -g)
4	85 km/h	22 500 \$ / kk	Kuljetukset pääteillä ja moottoriteillä lastaus- ja purkupaikkojen välillä. Etäkäyttöä pystytään laajennetaan, jolloin Pod voidaan ottaa hallintaan satojen kilometrien päästä. Akun kantama: 200-300 km. Vaatii viranomaishyväksynnän. Markkina-alue: USA ja Eurooppa. (Einride, n.d. -c)

Taulukko 1: Podin AET-tasot.

Itse pilotointi onnistui Einriden ja GE Applianceen (GE Appliances, n.d. ; Einride, 2022) uutisen mukaan hyvin, jonka aikana Pod kuljetti turvallisesti valmiita tuotteita GE Appliancesin tuotantolaitoksen ja varaston välillä ilman kuljettajaa. Einride teki pilotoinnin aikana yhteistyötä NHTSA:n, osavaltion- ja läänin virkamiesten, GE Appliancesin henkilökunnan ja Ericssonin kanssa, joista viimeiseksi mainitun tarjoama yksityinen liitännätverkko mahdollisti ajoneuvolle etäoperaattorin etävalvonnan. Robert Falck kertoi pilotoinnin olleen merkittävä askel autonomiselle raskaalle tavaraliikenteelle Yhdysvalloissa.

2.1.12 Suomalaisten suhtautuminen autonomisiin ajoneuvoihin

Timo Liljamo tutki väitöskirjassaan 18-64 vuotiaiden Suomalaisten suhtautumista autonomisiin ajoneuvoihin (Liljamo, 2020, s. 12). Tutkimus toteutettiin kyselytutkimuksena vuonna 2017 ja siihen valittiin 10000 henkilöä satunnaisotannalla väestökisteristä (Liljamo, 2020, s.34). Kyselyn vastausprosentti oli noin 20 % (Liljamo 2020, s. 35).

Automaattiautokyselyn perusteella Suomalaiset suhtautuvat myönteisesti automaattiautoihin, sillä 23 % vastaajista suhtautui hyvin myönteisesti ja 41 % lievästi myönteisesti automaattiautoihin. Kielteisesti robottiautoihin suhtautui vain noin 25 % vastaajista. (Liljamo 2020, s. 39) Automaattiautoihin suhtautumisessa oli selviä eroja eri käyttäjäryhmien välillä. Miehet suhtautuivat selvästi myönteisemmin kuin naiset, samoin hieman nuoremmat vastaajat myönteisemmin kuin vanhemmat vastaajat. Kyselyiden perusteella myös koulutustausta vaikutti vastaajien suhtautumiseen, sillä korkeasti koulutetut suhtautuivat selvästi positiivisemmin automaattiautoihin kuin matalammin koulutetut. Samoin asuinpaikka vaikutti suhtautumiseen, sillä kaupunkialueilla asuvista vastaajista 70% suhtautui myönteisesti ja harvaan asutuilla alueilla asuvista vastaajista vain 49 % suhtautui myönteisesti automaattiautoihin. Lisäksi Liljamo havaitsi vastauksista sen, että autottomissa talouksissa asuvat ihmiset suhtautuivat automaattiautoihin keskimäärin myönteisemmin. (Liljamo 2020, ss. 39–40)

Liljamon automaattiauto-kyselyssä vastaajien piti lisäksi laittaa tärkeysjärjestykseen automaattiautoihin liittyviä huolenaiheita ja automaattiautojen liikenneturvallisuutta pidettiin suurimpana huolenaiheena kyselytutkimuksen perusteella. Suuriksi huolenaiheiksi koettiin myös moraalikysymykset onnettomuustilanteissa sekä teknologian epäluotettavuus ja toimivuus. (Liljamo, 2020, s. 41) Liljamon mukaan automaattiautotutkimuksen perusteella suurin osa Suomalaisista suhtautuu hyvin automaattiautoihin ja olisi mahdollisesti valmiita kokeilemaan automaattiautoja (Liljamo 2020, s. 58). Jaetut taksit ja kutsujoukkoliikenne voivatkin automaattikyselyn mukaan olla varteenotettavia kulkumuotoja tulevaisuudessa (Liljamo, 2020, s. 63).

2.2 Kuljetusrobotit

Kuljetusrobotit ovat maata pitkin kulkevia päästöttömiä robotteja ja ne voivat olla korvaava vaihtoehto jakeluautoille. Kuljetusrobotit on varusteltu sensori- ja navigointijärjestelmillä ja ovat näin ollen automaattiohjautuvia. Kuljetusrobotit voivat liikkua esimerkiksi jalkakäytäviä tai pyöräteitä pitkin, jonka lisäksi ne voivat kuljettaa tavaroita esimerkiksi suurien kiinteistöjen sisällä. (Tapaninen, 2018, s. 79)

2.2.1 HOK-Elannon kuljetusrobotti-pilotointi

Suomessa päivittäistavaroiden kuljetusrobotit otti ensimmäisenä käyttöönsä HOK-Elannon omistama lähikauppaketju Alepa (HOK-Elanto, 2022b). Alepa aloitti Huhtikuussa 2022 toimittamaan ruokaostoksia Starship Technologiesin valmistamilla roboteilla Espoossa, kuva 9.



Kuva 9: Starship Technologiesin robottikuljetin (HOK-Elanto, 2022b).

Starship Technologiesin perustivat vuonna 2014 virolaiset Ahti Heinla ja Janus Friis (Starship, n.d. -a). Yrityksen pääkonttori sijaitsee San Fransiscossa ja pääsuunnittelutoimisto Virossa (Starship, n.d. -a). Vuonna 2014 yritys loi ensimmäisen robottikuljettimen prototyypin ja vuonna 2018 Starship Technologies sai päätökseen maailman ensimmäisen automaatio-tason 4 ajon kaupungissa. Vuoden 2022 marraskuussa yrityksen robotit ovat toimittaneet jo

4 miljoonaa lähetystä maailmanlaajuisesti. Yritys on saanut ulkopuolista rahoitusta noin 200 miljoonaa dollaria. (Starship, n.d. -a)

Robotit painavat tyhjänä noin 38 kiloa ja ne pystyvät kuljettamaan noin 10 kilon painosta tavaraa. Ne pystyvät toimittamaan mitä tahansa tavaratilan sisälle mahtuvaa tavaraa, esimerkiksi ruokaa ja paketteja. Lisäksi niissä voi olla omat tilat kylmille ja kuumille ruuille. Robotit osaavat liikkua itsenäisesti tietokonenäön ja GPS:n avulla (Starship, n.d. -c). Robotit havaitsevat esteitä, kuten kävelijöitä ja pyöräilijöitä 12 kameran, ultraääniantureiden, tutkan ja neuroverkkojen avulla. Niiden huippunopeus on 6 km/h ja ne pystyvät liikkumaan vesi- ja lumisateessa. (Starship, n.d. -c) Roboteissa on lisäksi ääniominaisuus kommunikointia varten (Starship, n.d. -e). Vaikka Robotit liikkuvat itsenäisesti, niitä tarkkaillaan etänä ja ihminen pystyy ottamaan ne hallintaansa koska vain (Starship, n.d. -b). Starshipin mukaan (Starship, n.d. -e) ne pystyvät kulkemaan itsenäisesti noin 99 prosenttia ajasta.

Alepa otti käyttöönsä 60 robottikuljetinta. (HOK-Elanto, 2022a) Pilotoinnin alkaessa robotit toimittivat ostoksia asiakkaille 6 Alepan myymälästä, joita olivat Alepa Otaniemi, Alepa Mankkaa, Alepa Jousenpuisto, Alepa Laajalahti, Alepa Leppävaara ja Alepa Matinkylä (HOK-Elanto, 2022b ; Starship, n.d. -e). Helsingin Sanomien (Väliaho, 2022) uutisen mukaan pilotoinnissa oli mukana 7 kauppa, sillä robotit liikkuvat myöhemmin myös Munkkiniemessä Helsingissä. Robottien reitit kulkivat jalankulkijoille tarkoitettuja väyliä pitkin. (HOK-Elanto, 2022b) Hannu Kontola Länsi-Uudenmaan poliisilaitokselta kertoi Moottori-lehden (Jokela, 2022) julkaisussa, että robotteihin sovellettiin jalankulkijoiden liikennesääntöjä.

Yksi robottien toimittama tilaus maksoi 99 senttiä. Itse tilaaminen tapahtui siten, että asiakas teki tilauksen haluamaansa osoitteeseen ja maksoi sen mobiilisovelluksella, jonka sai ladattua Apple- tai Google-storesta. Alepan henkilökunta pakkasi tilaukset ja lastasi ne robottien kyytiin. Yhteen robottiin mahtui kerrallaan jopa 3 ostoskassia. Robotti pyrki valitsemaan parhaan ja nopeimman reitin asiakkaan luo ja asiakas pystyi seuraamaan kuljetusta reaaliaikaisesti sovelluksen avulla. Kun robotti oli perillä, ilmoitti se saapumisestaan asiakkaan puhelimeen ja asiakas sai matkan ajan lukittuna olleen tavaratilan kannen auki sovelluksen avulla. (HOK-Elanto, 2022b ; Starship, n.d. -e)

Lokakuun lopussa 2022 HOK-Elanto uutisoi Alepan ja Starship Technologiesin pilotin tulleen päätökseen, joten pilottijakso oli puolen vuoden mittainen. (HOK-Elanto, 2022b) Pilotoinnin aikana robotit toimittivat ruuhka-aikoina tuhansia tilauksia viikossa. HOK-Elannon verkkokaupan kehitysjohtaja Jukka Ranua kertoi HOK-Elannon uutisessa yrityksen olevan tyytyväinen Starship-robotteihin. Julkaisun mukaan HOK-Elanto käy Starshipin kanssa seuraavaksi läpi kokemuksia onnistuneesta pilotti-jaksosta ja laajemmista kehitysmahdollisuuksista ensi vuotta koskien. (HOK-Elanto, 2022b) Helsingin Sanomien (Väliaho, 2022) haastattelussa Ranua kertoi robottipilotoinnin ylittäneen odotukset, mutta samalla hän kertoi tämän olleen vain puolen vuoden kokeilu ja HOK-Elanto tutkii myös erilaisia kuljetusvaihtoehtoja. Ranua kertoi lehden haastattelussa robottien tekniikan olleen hyvällä tasolla, vaikka pilotoinnin alussa robotit jäivätkin seisomaan liikennevaloihin. Vika saatiin korjattua Espoon kaupungin ja Starshipin yhteistyöllä, jonka jälkeen robotit osasivat kommunikoida liikennevalojärjestelmän kanssa ja robotit osasivat tilata itselleen vihreän valon.

2.2.2 LMAD-pilotti Jätkäsaassa

LMAD ja DB Schenker järjestivät 7 viikkoisen pilotoinnin Helsingin Jätkäsaassa marraskuun ja joulukuun 2021 välisenä aikana, jonka tarkoituksena oli testata pakettirobottien kykyä toimittaa paketteja alueen asukkaille, kuva 10. DB Schenker oli kiinnostunut kokeilemaan uutta toimitusvaihtoehtoa, koska alueella sijaitsee vain yksi kioski, josta pystyy noutamaan DB Schenkerin toimituksia. (LMAD, 2022) Jätkäsaaren pilottijakso oli osa EIT-digitalin (European Institute of Innovation and Technology) rahoittamaa Last Mile Autonomous Delivery-projektia, joka toteutettiin vuosina 2019-2022. Projektin kokonaisrahoitus oli noin 1,8 miljoonaa euroa ja sen puitteissa pilotoitiin myös Pariisissa ja Baanalla Helsingissä. (Forum Virium Helsinki, n.d. -d)



Kuva 10: LMAD-pakettirobotti Helsingin Jätkäsaassa (LMAD, 2022).

Robotin operoinnista vastasi LMAD (LMAD, 2022), joka on Ranskalainen vuonna 2020 perustettu startup-yritys (EU-Startups, n.d.). LMAD kuvaa (LMAD, n.d.) auttavansa yrityksiä suorittamaan pilottikokeita, löytämään yrityksille sopivia robottitoimittajia ja auttamaan yrityksiä autonomisten robottien käyttöönotossa. Pilotoinnissa olivat mukana lisäksi Forum Virium Helsinki ja GIM Robotics (Jokiniemi, 2021). GIM Robotics on suomalainen vuonna 2014 perustettu yritys, jonka erikoisalaa ovat robottijärjestelmien suunnittelu, -tutkimus, -kehittäminen ja -integrointi (GIM Robotics, n.d.). Se vastasikin pilotoinnissa robotin rakentamisesta ja sen ohjelmistosta (LMAD, 2022).

LMAD ilmestyi yhdeksi toimitustavaksi, kun asiakkaat tilasivat tuotteita verkkokaupoista. Mukana oli yli 10 verkkokauppaa, joita olivat esimerkiksi H&M, Adlibris ja Makia. Toimitusajaksi sai valita keskipäivän, iltapäivän tai alkuillan, joka oli kaikista suosituin aika. Jakelurobotti toimi samalla periaatteella kuten pakettiautomaatit, mutta se vain tuli lähemmäs asiakkaiden koteja ja täsmällisesti asiakkaan valitsemaan aikaan. Jokainen toimituspysäkki sijaitsi 300-400 metrin päässä toisistaan ja robotti pysähtyi noin 15 minuutiksi kullekin pysäkille, ennen kuin siirtyi seuraavalle. Asiakkaat saivat tekstiviestillä PIN-koodin hetki ennen robotin saapumista, jonka avulla he saivat avattua lukossa olevan lokeron. (LMAD, 2022)

Robotissa oli 13 lokeroa ja se pystyi navigoimaan turvallisesti kaupunkiympäristössä Lidar- ja ultraääniantureiden, 4G/5G-verkkoyhteyden, RTK-paikannuksen ja SLAM-

navigointimenetelmän ansiosta. Pilotoinnin aikana robotin mukana kulki henkilö, jonka tehtävänä oli varmistaa robotin turvallisuus ja toiminta. Sen ei kuitenkaan tarvinnut puuttua toimitustilanteisiin. (LMAD, 2022) Gergely Horváth, joka on LMAD:n tuotevastaava ja yksi perustajista kertoi DB Schenkerin blogissa robotin kulkeneen noin 4-6 kilometrin tuntivauhtia jalkakäytäviä pitkin. Robotti ei hänen mukaansa häirinnyt muita ihmisiä, vaikka oli kooltaan iso. Horváth kertoi 7-viikon pilotoinnin aikana olleen 3 todella liukasta päivää, jolloin jakelurobotin käyttö piti perua. Muutoin vesi- eikä lumisade haitanneet robotin toimintaa. (Pulse/fi, 2022)

Jakelurobotti suoritti 7 viikon pilottijakson aikana 27 toimituskierrosta, kulki 40 kilometriä ja toimitti yli 100 pakettia asiakkaille Jätkäsaarella (LMAD, 2022). Pilotoinnin aikana vain pari asiakasta jätti kokonaan pakettinsa noutamatta ja tällöin paketti toimitettiin paikallisen kioskin noutopisteeseen. Suurin osa asiakkaista kuitenkin haki pakettinsa oikeaan aikaan, jonka lisäksi muutama asiakas haki pakettinsa seuraavalta robotin pysähdyspaikalta, kun oli hieman myöhästynyt sovitusta noutoajasta. (Pulse/fi, 2022)

Horváth kertoi DB Schenkerin blogissa jo uudesta EU-rahoitteisesta hankkeesta, jossa on mukana Helsingin kaupunki ja DB Schenker. Sen on määrä kestää kaksi vuotta ja itse pakettiroboti kuljettaa tänä aikana paketteja 12 kuukauden ajan Jätkäsaarella ja sen lähialueilla. (Pulse/fi, 2022)

2.3 Verkottuneet ajoneuvot

Verkottuneet ajoneuvot, joista on käytössä myös nimitykset Vehicle to Everything, Vehicle-to-X, V2X ja Car2X, tarkoittavat älykästä liikennejärjestelmää, joka mahdollistaa ajoneuvojen kommunikoinnin ympäristönsä, muiden ajoneuvojen, jalankulkijoiden, pyöräilijöiden, tiensarvilaitteiden ja internetin kanssa (Ahmadi, 2019, s. 789). Karls ja Mueck (Karls & Mueck, 2018, s. 9) kuvaavat kirjassaan V2X-viestinnän olevan ”tietojen siirtämistä ajoneuvosta mihin tahansa yksikköön, joka voi vaikuttaa ajoneuvoon, ja päinvastoin”. Khan (2020, s. 22) kertoo väitöskirjassaan, että arvioiden mukaan maailmalla on jo yli 100 miljoonaa yhdistettyä ajoneuvoa ja niitä yhdistetään kolmanneksi eniten heti kännyköiden ja tablettien jälkeen kaikista yhdistettävistä laitteista.

V2X-viestintä voidaan jakaa kolmeen ryhmään käyttötarkoitusten mukaan, joita ovat liikenteen optimointi, turvallisuuspalvelut ja mukavuuspalvelut (Alalewi, ym., 2021, s. 107711). V2X-tekniikan mahdollistaman liitettävyyden ansiosta liikennevirtoja pystytään optimoimaan, jonka seurauksena ruuhkia ja ajoneuvojen päästöjä pystytään vähentämään (Choudhury, ym., 2019, s. 70169; Ahmadi, 2019, s. 789). Turvallisuuspalveluiden tarkoituksena on tieliikenneonnettomuuksien sekä niiden riskien minimointi (Alalewi, ym., 2021, s. 107711). Tekniikan avulla onkin mahdollista paljastaa piilevät tieliikennevaarat, joita ei voi muutoin huomata (Karls & Mueck, 2018, s. 7). Bennis ym. (2018, s.203) kertovat julkaisussaan merkittävän osan kuolemaan johtavista liikenneonnettomuuksista tapahtuvan risteyksissä ja liikenneympyröissä, joihin ajoneuvojen välistä viestintää erityisesti tarvitaan. Karls ja Mueck (2018, s. 13) kuvaavat kirjassaan V2X-viestinnän tekevän myös autonomisista ja automatisoiduista ajoneuvoista turvallisempia, antamalla laajemman katselu- ja näkyvyys alueen ajoneuvoille. Mukavuuspalveluiksi luokitellaan infotainment-palvelut, joiden avulla käyttäjä pääsee internetiin ja pystyy katsomaan esimerkiksi elokuvia. (Alalewi, ym., 2021, s. 107711)

V2X-järjestelmä koostuu lähetin vastaanottimista, jotka sijaitsevat ajoneuvoissa, infrastruktuurissa sekä jälkimarkkinoilla olevissa laitteissa, kuten älypuhelimissa (Karls & Mueck, 2018, s. 9). Ajoneuvossa sijaitseva langaton viestintälaitte on nimeltään sisäinen yksikkö. Se on suomennos englannin kielen termistä On Board Unit ja se lyhennetään yleisesti OBU. (Hua, ym., 2021, s. 5) Tie-infrastruktuurissa sijaitsevaa osaa kutsutaan yleisesti termillä tienvarsiyksikkö. Nimitys tulee englannin kielen termistä Road Side Unit ja se lyhennetään RSU. (& Mueck, 2018, s. 138; Sjafrie, 2020, s. 185)

V2X-viestinnän mahdollistavia tiedonsiirto-standardeja on olemassa kaksi. Näitä ovat lyhyen kantaman tiedonsiirto DSRC, eli Dedicated Short Range Communications, joka perustuu langattomaan lähiverkkoon ja mobiiliverkkoteknologiaan perustuva tiedonsiirto C-V2X, eli Cellular-V2X (Sjafrie, 2020, s. 186; Ali, ym., 2021, s.89555; Choudhury, ym., 2019, s. 70169; Alalewi, ym., 2021, s. 107711).

2.3.1 Lyhyen kantaman tiedonsiirto DSRC

DSRC kuuluu langattomaan IEEE 802.11 tuoteperheeseen (Khan, 2020, s. 23), jonka ensimmäinen versio IEEE 802.11p julkaistiin vuonna 2010 (Bazzi, ym., 2019, s. 3). IEEE 802.11p-standardin vaatimukset olivat noin 100 millisekunnin vasteaika, noin 1000 metrin kantama ja suhteellisten nopeuksien tukeminen 200 km/h asti (Abbasi, ym. 2019, s. 110). Yhdysvalloissa IEEE-802.11.p yhdistyi myöhemmin IEEE 1609-tuoteperheen sekä SAE J2735-standardin kanssa. (Domínguez & Sanguino, 2019, s. 6; Abbasi, ym. 2019, s. 110 Bazzi, s. 3;). Euroopassa DSRC-standardina julkaistiin vuonna 2014 ETSI-organisaation määrittelemä ITS-G5, joka perustuu IEEE 802.11p-standardiin. (Abbasi, ym. 2019, s. 110 Bazzi 3; Domínguez & Sanguino, 2019, s. 6). DSRC luottaa IEEE 802.11p-standardin määrittelemiin PHY- ja MAC-kerrosten protokollaan (Bazzi, 2019, s. 3; Choudhury, ym., 2019, s. 70169). Sille on varattu Euroopassa 70 MHz:n lisensoitu taajuus 5,855-5,925 GHz:n kaistalla ja Yhdysvalloissa 75 MHz:n lisensoitu taajuus 5,850-5,925 GHz:n kaistalla (Karls & Mueck, 2018, s. 74). 5,9 GHz taajuus on varattu monissa maissa juuri liikennetelematiikalle (Choudhury, ym., 2019, s. 70169).

DSRC-tekniikka tarjoaa vaaditun luotettavuuden, mutta sen suorituskyky heikkenee kun käyttäjämäärät ja liikenteen kuormitus ovat korkeat (Mahmood ym., 2019, s. 3; Khan, 2020, s. 23; Abbasi, ym., 2019, s. 110). DSRC-standardiin onkin tällä hetkellä kehitteillä uusi versio IEEE 802.11bd. (Hua ym., 2020, s. 3; Alalewi ym., 2021, s. 107712), jota varten perustettiin työryhmä nimeltään IEEE 802.11bd Task Group tammikuussa 2019 (Choudhury, ym., 2019, s. 70173). Uuden standardin on tarkoitus olla yhteensopiva IEEE 802.11p-standardin kanssa (Choudhury, ym., 2019, s. 70170). Sen odotetaan parantavan luotettavuutta, pienentävän päästä-päähän viivettä ja tukevan suurta suorituskykyä vaativia sovelluksia. Lisäksi sen on tarkoitus tukea suhteellisia nopeuksia aina 500 km/h saakka sekä tarjota kaksinkertaisen kantaman verrattuna IEEE 802.11p-standardiin, eli 2000 metrin asti. (Choudhury, ym., 2019, s. 70173; Ahmed, ym., 2020, s. 3)

2.3.2 Mobiiliverkkotiedonsiirto C-V2X

C-V2X käyttää kahta lähetystilaa (Hua ym., 2020, s. 2). Ensimmäiseksi, C-V2X voi toimia nimensä mukaisesti matkapuhelinverkossa, jossa se toimii lisensoiduilla kantoaalloilla alle 6

GHz taajuuksilla (Ali, ym., 2021, s.89555). Tällöin C-V2X käyttää 4G- tai 5G-yhteyksiä käyttäen uu-rajapintaa (Hua ym., 2020, s. 2). Toiseksi, se voi toimia matkapuhelinverkosta riippumatta 5,9 GHz:n kaistalla, samoin kuin DSRC (Choudhury, ym., 2019, s. 70169; Ali, ym., 2021, s.89555). Tässä tapauksessa se käyttää PC5-käyttöliittymää. (Hua ym., 2020, s. 2).

C-V2X kehityksestä vastaa 3GPP, eli the Third Generation Partnership Project. (Mahmood ym., 2019, s. 4; Domínguez & Sanguino, 2019, s. 6). 3GPP on määritellyt C-V2X-standardin kehityksen kolmeen vaiheeseen, jotka keskittyvät erilaisiin käyttötapauksiin. Vaihe 1 keskittyy perusturvallisuuteen, vaihe 2 tehostettuun turvallisuuteen ja vaihe 3 autonomiseen ajamiseen (Abbasi, ym. 2019, s. 105). Ensimmäinen vaihe tuli päätökseen vuonna 2017, kun Release 14 julkaistiin. Sen yhteydessä 4G-verkkoa käyttävä LTE-V2X näki päivän valon. LTE on lyhenne sanoista Long Term Evolution. (Karls & Mueck, 2018, s. 74; Hua ym., 2020, ss. 2–4)

Toinen vaihe oli valmis vuonna 2018, jolloin lanseerattiin Release 15-julkaisu (Hua ym., 2020, s. 4). Sen yhteydessä julkaistiin ensimmäinen 5G-standardi nimeltään 5G New Radio, joka on suunniteltu täydentämään edellistä LTE-versiota eikä korvaamaan sitä. Se tukee edistyneitä käyttötapauksia ja korkeampia automaattitasoja kuin edeltäjänsä. (Abbasi, ym. 2019, s. 108; Soon & Vannithamby, 2020, s. 5). Release 15-julkaisun uusia ominaisuuksia olivat esimerkiksi saattueajo, ajoneuvojen etäohjaus ja edistynyt ajaminen, joka tarkoittaa puoliautomaattista tai täysautomaattista ajoa (Hua ym., 2020, s. 4).

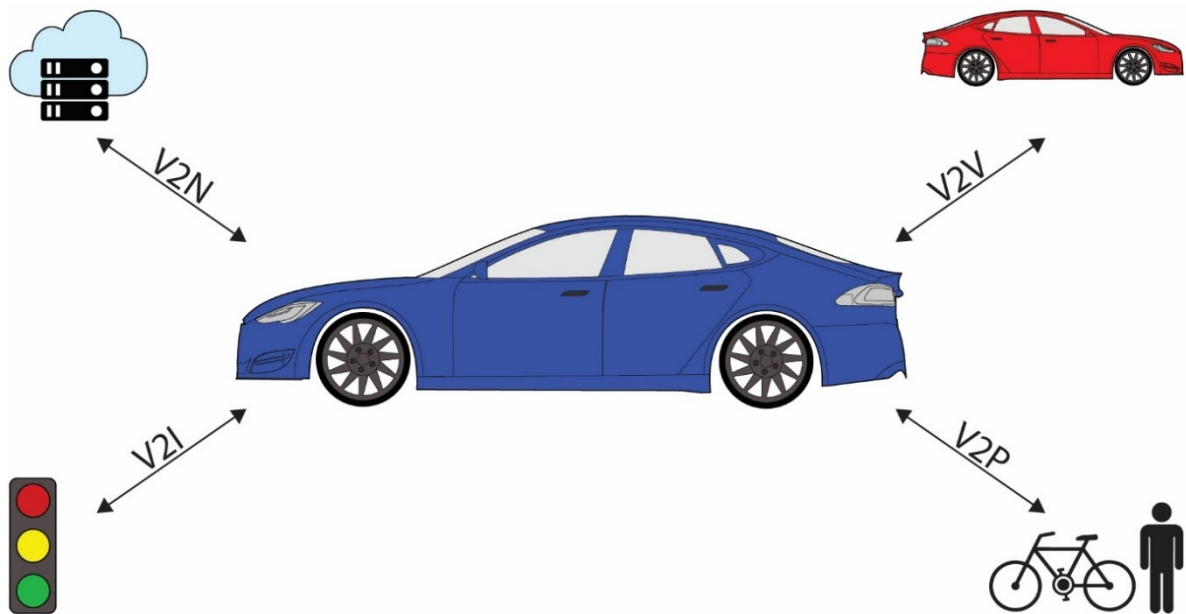
Vaiheeseen kolme kuuluvat julkaisut 16 ja 17. (Hua ym., 2020, s. 4). Julkaisu 16 valmistui heinäkuussa 2020 (3GPP, n.d. -a) ja julkaisu 17 on tällä hetkellä työn alla (3GPP, n.d. -b). Release-16 julkaisu on parannus 5G NR-standardiin ja pitää sisällään esimerkiksi uu-käyttöliittymän parannukset ja edistyneiden V2X-sovelluksien tuen. 5G NR-standardin pitäisi pystyä julkaisun 16 jälkeen tukemaan jopa 1 millisekunnin vasteaikoihin ja 99,999 prosentin luotettavuutta joissakin käyttötapauksissa. (Alalewi, ym., 2021, s. 107722; Choudhury, ym., 2019, s. 70176).

C-V2X-tiedonsiirron avulla lähestyvät vaarat ja tietilanteet voidaan havaita pidemmiltä matkoilta verrattuna lyhyen kantaman tiedonsiirtoon. (Hua ym., 2020, s. 2) Sen miinuspuolena on kuitenkin mobiiliverkon osalta se tosiasia, että verkko joudutaan jakamaan muiden mobiilikäyttäjien kanssa (Abbasi, ym. 2019, s. 104). 5G-yhteydet kuitenkin

mahdollistavat verkon viipaloinnin, joka tarkoittaa 5G-verkon mukautumisen erilaisia tarpeita varten. (Khan, 2020, s. 21). Bennis , Khan, Latva-aho ja Luoto (Bennis, ym., 2018, s. 1) ehdottavat artikkelissaan 5G-verkon viipalointia siten, että autonominen ajo ja infotainment saisivat omat osansa 5G-verkosta. Tällöin autonomiseen ajoon käytettäisiin PC5-käyttöliittymää ja infotainment toimisi uu-käyttöliittymän kautta. (khan, s. 59).

2.3.3 V2X-järjestelmän pääluokat

V2X-järjestelmä koostuu 4 pääluokasta, jotka on esitelty kuvassa 11. Näitä ovat Vehicle-to-Vehicle (V2V), Vehicle-to-Infrastructure (V2I), Vehicle-to-Pedestrian (V2P) sekä Vehicle-to-Network (V2N). (Sjafrie, 2020, s. 185; Soon & Vannithamby, 2020, s. 144; Mahmood, ym., 2019, s. 3; Hua, ym., 2021, s. 1)



Kuva 11: V2X-pääluokat (Hannu Riikonen, muokattu kuvasta Mahmood, 2019, s. 3).

V2V-viestinnän avulla ajoneuvot voivat kommunikoida suoraan keskenään langattomasti, kun ne ovat lähellä toisiaan (Sjafrie, 2020, s. 185). Sitä pidetään yhtenä tärkeimmistä viestintätavoista ajoneuvoviestinnässä (Karls & Mueck, 2018, s. 137). V2V-viestintä mahdollistaa monien tietojen vaihtamisen ajoneuvojen välillä, kuten ajoneuvon sijainnin, nopeuden ja suunnan (Alalewi, ym., 2021, s. 107715). Ajoneuvojen välisellä viestinnällä pystytään pitämään esimerkiksi turvallinen ajonopeus sekä turvallinen etäisyys edellä

ajavaan ajoneuvoon (Hua, ym., 2021, s. 1). Lisäksi sen avulla ajoneuvot pystyvät vaihtamaan tärkeitä tietoja, kuten liikennehälytyksiä, hätäajoneuvojen ilmoituksia, sekä havaintoja tievaaroista. (Karls & Mueck, 2018, ss. 6–7) Karls & Mueck (Karls & Mueck, 2018, s. 9) toteavat ajoneuvojen välisessä keskinäisessä viestinnässä olevan pienempi viive kuin V2I-viestinnässä, jolloin se voi olla hyvä vaihtoehto esimerkiksi törmäyksenestojärjestelmissä.

V2I-viestintä tarkoittaa suoraa tiedonsiirtoa ajoneuvojen ja älykkään tieinfrastruktuurin välillä. (Ahmadi, 2019, s. 791 ; Karls & Mueck, 2018, s. 138; Sjafrie, 2020, s. 185). V2I-viestinnässä ajoneuvot voivat viestiä tienvarsiyksiköille ja tienvarsiyksiköt voivat viestiä ajoneuvojen suuntaan. Lisäksi tienvarsiyksiköitä voidaan käyttää linkkeinä, jolloin ajoneuvosta saadun tiedon kantamaa voidaan laajentaa. (Ahmadi, 2019, s. 791) V2I-viestinnän avulla pystytään optimoimaan tieverkon käyttöä ja siten vähentämään ympäristön saastumista (Karls & Mueck, 2018, s. 8). Tekniikan avulla pystyy lisäksi antamaan varoituksia (Hua, ym., 2021, s. 2). Esimerkkejä V2I-viestinnästä ovat säähälytykset, kaarteiden nopeusvaroitukset, työmaa-alueet, sillan korkeudet, tievaarat, viestintä liikennevalojen kanssa sekä jalankulkuteitä koskevat signaalit. (Karls & Mueck, 2018, ss. 6–7; Sjafrie, 2020, ss. 188–190)

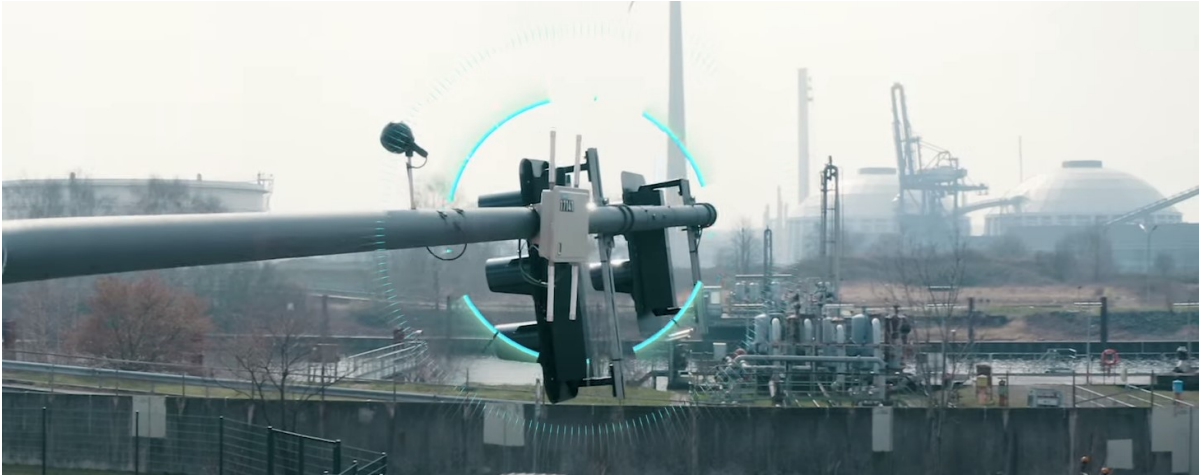
V2P-viestinnällä tarkoitetaan ajoneuvojen ja haavoittuvien tienkäyttäjien välistä viestintää. Haavoittuvia tienkäyttäjiä ovat esimerkiksi kävelijät ja pyöräilijät. (Mahmood, ym., 2019, s. 3; Hua, ym., 2021, s. 1). Viestintä tapahtuu ajoneuvon ja esimerkiksi jalankulkijan matkapuhelimen välityksellä. (Domínguez & Sanguino, 2019, s. 4) V2P-viestintä helpottaa autoilijoita antamalla hälytyksen lähestyvistä kävelijästä tai pyöräilijästä, ennen kuin riskiä on vielä kerennyt edes syntymään. (Hua, ym., 2021, ss. 1). V2P-viestintä voi pitää sisällään tietoa esimerkiksi haavoittuvan tienkäyttäjän sijainnista, nopeudesta sekä suunnasta (Ahmadi, 2019, s. 791). V2P-viestintä suojelee haavoittuvaisia tienkäyttäjiä, mutta erityisesti liikuntarajoitteiset ja aistivammaiset jalankulkijat hyötyvät V2P-viestinnästä ylittäessään tietä (Sjafrie, 2020, s. 193). V2P-viestintää pidetään nousevana teknologiana, jolla on turvallisuusominaisuuksien lisäksi potentiaalia parantaa myös liikenteen tehokkuutta. (Domínguez & Sanguino, 2019, s. 9). Sjafrien (Sjafrie, 2020, s. 193) mukaan V2P-viestintä voi auttaa tulevaisuudessa myös autonomisia ajoneuvoja havaitsemaan kävelijöitä ja pyöräilijöitä, jolloin ne eivät ole pelkästään kameroiden ja Lidarin varassa.

V2N tarkoittaa ajoneuvon ja verkon välistä kommunikaatiota. (Hua, yms. 2021, s. 1) V2N-siirto tapahtuu ajoneuvon ja pilvessä olevan V2X-sovelluspalvelimen välillä tai ajoneuvon ja liikenteenohjaimen välillä. V2N-tiedonsiirrossa käytetään 4G- tai 5G-verkkoa, joten se vaatii C-V2X-tiedonsiirtoa. (Ahmadi, S., 2019, s. 791; Alalewi, ym., 2021, s. 107715; Ali, ym., 2021, s.89555) V2N-viestinnän avulla ajoneuvoille voidaan antaa reaaliaikaista tietoa liikenteen reitityksestä. (Karls & Mueck, 2018, s. 46). Muita esimerkkejä V2N-tekniikan käytöstä ovat ajoneuvon kommunikaatio sen valmistajan kanssa sekä ajoneuvon infotainment, joka saa tietoa tekniikan välityksellä internetistä. (Hua, ym. 2021, s. 1)

2.3.4 Green4TransPORT – V2X-pilotointi

Green4TransPORT-projektin tavoitteena oli verkottaa ja digitalisoida maantieliikenteen infrastruktuuri Hampurin satamassa Saksassa. Tätä tavoitetta varten projektissa käytettiin V2X-viestintää. (HomePORT, 2021) Hamburg Port Authority teki projektissa yhteistyötä Siemensin, Technolutionin, Scanian, Ynex Trafficin ja NXP:n kanssa (Hamburg Port Authority, 2021a.). Projektin tarkoituksena oli testata niin sanottua vihreää aaltoa, joka pidentää vihreän valon palamista V2X-tekniikalla yhdistetyille ajoneuvoille (HomePORT, 2021). Tällä pyritään estämään sitä, kun ajoneuvot joutuvat pysähtymään usein liikennevaloissa turhaan, vaikka tiellä ei ole muita liikkuja (Hamburg Port Authority, n.d. -c.). Lisäksi tällä pyritään priorisoimaan liikennevalojen palamista, esimerkiksi rekkujen saattue-ajolle (Hamburg Port Authority, 2021a). Tekniikan avulla ajoneuvojen jarrutus- ja kiihdytys kerrat pienenevät, minkä johdosta polttoaineen kulutus pienenee ja CO₂-päästöt sekä renkaista ilmaan irronneiden partikkeleiden määrä vähenevät. (Hamburg Port Authority, n.d. -c.); HomePORT, 2021)

Projektin aikana ajoneuvot yhdistettiin liikennevaloihin V2I-viestinnän avulla (HomePORT, 2021). Pilotoinnin kohteena oli kaksi risteystä Kattwykin sillan alueella, joissa molemmissa oli yksi liikennevalo. Niiden ohjaimiin asennettiin tienvarsiyksiköt, joista vastasi Yunex Traffic, kuva 12. (Hamburg Port Authority, 2021a, Hamburg Port Authority, n.d. -b; Hamburg Port Authority, n.d. -d; Gu, n.d.)



Kuva 12: Tienvarsiyksikkö (Hamburg Port Authority, 2021).

Sisäisillä yksiköillä varusteltiin 60 rekkaa. Niistä vastasivat NXP sekä Technolution. (Hamburg Port Authority, 2021) Yksiköt kiinnitettiin rekkojen tuulilasien sisäpuolelle imukupilla ja kytkettiin 12 voltin pistorasiaan, kuva 13 (Hamburg Port Authority, n.d. -d).



Kuva 13: Sisäinen yksikkö (Hamburg Port Authority, 2021).

Liikennevalot tunnistivat V2I-tekniikan avulla lähestyvät rekat ja merkitsivät ne ensisijaisiksi ajoneuvoiksi. Tämän johdosta vihreää vaihetta pystyttiin pidentämään ja rekat pystyivät ajamaan liikennevaloista pysähtymättä. Liikennevalot oli ohjelmoitu myös havaitsemaan kahden tai useamman rekan saattueajon, jonka johdosta vihreä valo paloi rekoille niin kauan, kunnes kaikki rekat olivat ohittaneet risteyksen. (Hamburg Port Authority, 2021a; Hamburg Port Authority, n.d. -c; Gu, n.d.)

Pilotointi toteutettiin vuonna 2021 (Hamburg Port Authority, n.d. -c; Gu, n.d.). Se kesti viisi kuukautta, jonka aikana järjestelmää testattiin runsaasti normaaleissa kuljetustilanteissa. Pilotoinnin aikana kerätyn datan perusteella vihreää vaihetta pidennettiin 21 prosentissa tapauksissa ja tämän seurauksena matka-aika testiradalla pieneni 16 prosenttia. Pilotoinnin perusteella vuoden aikana samalla reitillä voitaisiin pienentää CO₂-päästöjä 190 tonnia. (Hamburg Port Authority, n.d. -c) Tekniikka on tarkoitus saada käyttöön kaikissa satama-alueen liikennevaloissa vuoteen 2025 mennessä (Hamburg Port Authority, 2021a).

2.4 Mobility As A Service

Traficom (Traficom, 2020, s. 4) selvityksen mukaan erityisesti henkilöautoliikenteen liikennesuoritteiden vähentyminen on avainroolissa päästöjen vähenemiselle. Se näkyy myös Fossiilittoman liikenteen tiekartassa, sillä sen yhtenä tavoitteena on estää henkilöautoilla ajettujen kilometrien kasvua 2020-luvulla (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2021a, s. 29). Auton omistamisen sijaan, liikennettä voidaan alkaa ajattelemaan palveluna (Hiltunen, 2019, s. 83). Tapaninen (2018, s. 89) arvelee liikenteen palveluistumisen muuttavan liikennettä tulevaisuudessa jopa enemmän kuin automaattiautojen lisääntyminen.

Liikenteen palveluistumisesta käytetään usein nimitystä Mobility as a Service, joka lyhennetään yleisesti MaaS (Liljamo, 2020, s. 30). MaaS-konsepti on suomalainen keksintö ja sen on kehittänyt Sampo Hietanen (Future Mobility Finland, n.d.; Whim, 2016). Sen ideana on tarjota asiakkaille tilauspalvelua, jossa eri palveluntarjoajien liikkumismuodot, kuljetusvaihtoehdot ja liikenteeseen liittyvät palvelut on koottu yhteen mobiilisovellukseen (Future Mobility Finland, n.d.; MaaS Alliance, n.d.; Liljamo, 2020, ss. 30–31). Erilaisia kuljetusmuotoja voivat olla esimerkiksi joukkoliikenne, taksit, autonvuokraus, pyöräily, kävely ja auton tai pyörän yhteiskäyttö (Future Mobility Finland, n.d.; MaaS Alliance, n.d.). Asiakkaat pystyvät MaaS-palveluiden avulla hoitamaan matkasuunnittelun, maksamisen sekä eri kuljetusmuotojen yhdistämisen yhdellä sovelluksella ja saavat samalla reaaliaikaista matkatietoa. (Future Mobility Finland, n.d.; MaaS Alliance, n.d.). MaaS-palveluntarjoajien rooli on välittää ja integroida eri palvelut asiakkaille ja myydä niiden tarvitseman matkaketjun kokonaisuudessaan (Future Mobility Finland, n.d.). Future Mobility Finlandin (Future Mobility Finland, n.d) mukaan MaaS-konseptin ympärille voidaan rakentaa erilaisia liiketoimintamalleja, mutta MaaS-palveluiden ydin tulisi kuitenkin olla julkinen liikenne.

MaaS-palveluiden idean kuvaamisessa hyvänä esimerkkinä toimivat Spotify, Uber ja Lyft. Spotify mahdollisti musiikin kuuntelun palveluna, ilman tarvetta ostaa konkreettisia levyjä. Samoin MaaS-konseptin ideana on liikuttaa ihmisiä ilman tarvetta omistaa autoa. Uber ja Lyft puolestaan keksivät uuden digitaalisen käyttöliittymän kyytien jakamiseen. MaaS-konseptin ideana on tehdä sama suuremmassa mittakaavassa, eli kaikelle liikkuvuudelle. (MaaS Global, n.d.-b, s. 4)

2.4.1 MaaS Global

Suomessa MaaS-palveluita tarjoaa MaaS Global (Whim, n.d. -a). Kyseessä on maailman ensimmäinen MaaS-operaattori ja perustettiin virallisesti vuonna 2015. Yrityksen nimi oli tuohon aikaan vielä kuitenkin MaaS Finland Oy (Maas Global, n.d. -b, ss. 6–7).

Yritys aloitti varsinaisen toimintansa vuonna 2016 toimitusjohtajanaan Sampo Hietanen, kun se esitteli käyttäjille suunnatun palvelun nimeltään Whim. Se esiteltiin yleisölle Brysselissä kesäkuussa 2016 (MaaS Global, n.d. -a, ss. 36–37). Whim-sovellus on suunniteltu yhdessä palvelumuotoilu-yritys Shape Helsingin kanssa (Whim, 2017). Sovellus toimii Suomessa Helsingissä ja Turussa, ulkomailla se on mahdollista saada käyttöönsä Antwerpenissa Belgiassa, Wienissä Australiassa, Birminghamissa Englannissa, Tokiossa Japanissa, sekä useissa kaupungeissa Sveitsissä (Whim, n.d. -a).

MaaS Global on saanut tunnustusta ja lukuisia palkintoja. Vuonna 2016 Whim-sovellus palkittiin Helsingin kaupungin vuoden Smart-City tekona sekä Nordic Smart Cities-palkinnolla (MaaS Global, n.d., -b s. 8). Vuonna 2017 Whim voitti arvostetun saksalaisen Red Dot-muotoilupalkinnon Communication Design-sarjassa (Whim, 2017). Vuonna 2019 se voitti kaksi palkintoa ja sai hehkutusta Forbes-talouslehdessä, joka vertasi Whim-sovelluksen olevan liikkumisen Netflix (Lappalainen, 2019 ; Reid, 2019). Maas Global palkittiin ensiksi helmikuussa 2019 the Future Unicorn Award-tunnustuksella. Palkinto myönnetään Eurooppalaisille yrityksille, joilla on potentiaalia kasvaa teknologiajättiläisiksi. (DigitalEurope, n.d. ; Whim, 2019 -a) Lokakuussa 2019 Whim voitti Best Mobile Service 2019-kilpailussa kestävästä kehitystä tukevien kiertotalouspalveluiden sarjan. Kilpailussa oli mukana satoja ehdokkaita, jotka ilmoitettiin mukaan yleisöäänestyksellä ja lopulta tuomaristo valitsi kategorioiden parhaat. (Whim, 2019 -b) Myös yrityksen perustaja ja toimitusjohtaja Sampo

Hietanen on saanut tunnustusta, kun Suomen presidentti Sauli Niinistö myönsi Hietaselle Suomen Valkoisen Ruusun ritarimerkin vuonna 2020. Hietasen nimitti ITS Finland, jonka tehtävänä on edistää kuljetusalan kilpailukykyä ja osaamista Suomessa. (Whim, 2020)

MaaS Global on saanut myös runsaasti ulkopuolista rahoitusta. Elokuussa 2021 Maas Global (Whim, 2021) uutisoi sen saaneen 11 miljoonan euron rahoituksen uusilta ja nykyisiltä sijoittajilta Series B-rahoituskierröksellä. Uusia sijoittajia olivat Feri ja Tesi, lisäksi vanhoista sijoittajista muun muassa NordicNinja ja Mitsui Fudosan osallistuivat rahoituskierrökseen. Helsingin Sanomat (Raeste, 2022) uutisoi maaliskuussa 2022 Maas Globalin ostaneen Quickkon, jota kutsutaan Brasilian johtavaksi liikkumista palveluna myyväksi sovellusyhtiöksi. Kaupan yhteydessä Maas Global sai 3,6 miljoonaa euroa lisärahoitusta ja Quickkon omistajat MaaS Globalin osakkeita. Uutisen mukaan Maas Global on saanut yhteensä yli 70 miljoonaa euroa rahoitusta, rahoittajia ovat olleet muun muassa Toyota Financial Services, Denso, Mitsubishi ja British Petrol.

2.4.2 Whim-sovelluksen käyttö Helsingissä

Tarkastelussa on Whim-sovelluksen käyttö Helsingissä. Sovelluksen saa ladattua käyttöönsä App Store- tai Google Play-sovelluskaupasta. Sovellukseen rekisteröidytään puhelinnumerolla ja käyttäjän tarvitsee luoda käyttäjäprofiili. (Whim, n.d. -j) Liikkumisvaihtoehtoina Helsingissä ovat julkinen liikenne, taksit, kaupunkipyörät, autonvuokraus, sähköpotkulaudat ja yhteiskäyttöpyörät (Whim, n.d. -h).

Whim-sovelluksen kautta matkat voi maksaa kerrallaan tai vaihtoehtoisesti ostaa kausitilauksen (Whim, n.d. -k). Sovelluksen latauksen jälkeen vaihtoehtoina ovat Whim Plus- ja Whim Unlimited-jäsenyydet. Whim Plus-jäsenyys on voimassa 30 päivää ja se maksaa 2,99 euroa. Jäsenyydellä saa alennettuja hintoja Sixtin, Hertzin ja Toyota Rentin vuokra-autoista. Lisäksi Plus-jäsenyys tarjoaa jopa 35 % edullisemmat hinnat Taksi Helsingin matkoista ja sääolosuhteiden salliessa 1 maksuttoman matkan Juro-yhteiskäyttöpyörällä. (Whim, n.d. -c) Whim Unlimited maksaa 699 euroa ja se on voimassa 30 päivää. Käyttäjä saa käyttöönsä rajattomasti Helsingin seudun liikenteen AB- ja BC-vyöhykkeiden kertalippuja, kaupunkipyöriä ja vuokra-autoja. Se sisältää myös 80 kappaletta taksimatkoja, joiden maksimipituus on 5 kilometriä. Whim Unlimitediin eivät kuulu kaupunkipyörät eivätkä JURO-

yhteiskäyttöpyörät. Lisäksi Helsingin seudun liikenteen muut vyöhykkeet maksavat lisää. (Whim, n.d. -d)

Sovelluksen kautta voi ostaa lipun julkisen liikenteen bussiin, junaan, metroon, raitiovaunuun sekä Suomenlinnan lauttaan (Whim, n.d. -e). Erilaisia lippuvaihtoehtoja on tarjolla useita, näitä ovat maksa matka kerrallaan, 1-13 vuorokauden vuorokausiliput, Whim kymppilippu, 30 vuorokauden kausilippu ja 30 vuorokauden opiskelijan kausilippu (Whim, n.d. -q). Whim (Whim, 2022) uutisoi syyskuussa 2022 nostaneensa Helsingin seudun liikenteen lippujen hintoja 5 prosentilla.

Taksimatkat maksetaan matka kerrallaan, ellei käytössä ole kausitilausta tai muuta Whim-etuja avaavaa tuotetta (Whim, n.d. -q). Kun asiakas asettaa sovelluksessa lähtöpaikan ja määränpään, saa hän tarjouksen Taksi Helsingin-, Lähitaksin- ja Menevän kyydeistä. Asiakas näkee eri palveluntarjoajien hinnat ja noutoajat etukäteen. Kun asiakas valitsee parhaan vaihtoehdon, kutsuu sovellus paikalle lähimmän vapaana olevan taksin ja asiakas suorittaa maksun etukäteen sovelluksen kautta. (Whim, n.d. -n) Whim (Whim, 2022) uutisoi marraskuussa 2022, että Taksi Helsingin hinnat nousevat joulukuusta 2022 lähtien.

Kaupunkipyörät ovat käytössä Helsingissä ja Espoossa ja niillä voi liikkua 1.4-31.10 välisenä aikana. Pyöräasemia on 460 kappaletta ja pyöriä 4600 kappaletta. Niiden reaaliaikaisen saatavuuden näkee Whim-sovelluksen kautta. (Whim, n.d. -g) Kaupunkipyöräkausi maksaa 35 euroa, jolla saa rajattoman käytön 30 minuutin pyörämatkoihin (Whim, n.d. -l). Käyttäjä saa käyttöönsä pyöräilijätunnuksen ja PIN-koodin, jotka pysyvät samoina koko pyöräilykauden ajan. Pidempikestoisissa pyörävuokrissa hintaan lisätään 1 euro jokaiselta 30 minuutilta ja pyörä on mahdollista lainata kerrallaan 5 tunniksi. (Whim, n.d. -g)

Vuokra-autoja voi vuokrata Whimin asiakkaana ympäri Suomea Hertzin, Sixtin, Toyota Rentin ja 24Rentin valikoimista. Auto-vuokra maksetaan matka kerrallaan-periaatteella, mutta Whim-asiakkaiden ei tarvitse tehdä erillistä sopimusta. (Whim, n.d. -q) Kausitilauksen tehdessä Whim-asiakkaat saavat edullisemmat listahinnat Hertzin ja Toyota Rentin toimipisteistä (Whim, n.d. -b).

Potkulautoja voi vuokrata Whim-sovelluksen kautta Lime- TIE- ja Voi-merkeiltä. Lime- ja TIE-potkulautoja voi vuokrata myös lukuisista muista Suomen kaupungeista. Whim helpottaa potkulautojen vuokrausta, sillä sovellus näyttää eri palveluntarjoajien potkulautojen sijainnit ja mahdollistaa niiden vuokrauksen samassa sovelluksessa. (Whim, n.d. -m) Jokaisella palveluntarjoajalla aloitushinta on yhden euron, jonka lisäksi tulee käyttömaksu jokaiselta alkavalta minuutilta (Whim, n.d. -i ; Whim, n.d. -o ; Whim, n.d. -p). Lisäksi Whim tarjoaa yksinoikeudella Voi-potkulaudoille 30 minuutin pakettia hintaan 6,99 euroa ja 60 minuutin pakettia hintaan 12,99 euroa, jolloin potkulaudan käytöstä ei tule aloitusmaksuja. (Whim, n.d -q)

Yhteiskäyttöpöyrinä käytössä ovat Juro-merkkiset polkupyörät, joita on mahdollista vuokrata vain Helsingissä. Pyörillä ei ole tarkkoja nouto- ja palautus paikkoja, mutta ne vaativat 18-vuoden ikää. Hinnoittelu määräytyy matkan pituuden tai päivälipun mukaan kiinteästi. Vaihtoehtoina ovat 1,50 euron maksu jokaiselta alkavalta 30 minuutilta tai 5 euron päivälippu, jolloin asiakas saa vuorokauden aikana rajattomasti 30 minuutin pyöräilyitä. (Wim, n.d. -f)

2.4.3 MaaS Globalin tulevaisuuden näkymät

Whim-sovelluksen alkutaival on ollut hyvä. Alle vuosi sovelluksen julkaisun jälkeen oli sen kautta tehty matkoja yli miljoona kappaletta ja vain kolme kuukautta myöhemmin määrä oli kaksi miljoonaa (MaaS Global, n.d. -b, s. 8). Vuoteen 2022 mennessä sovelluksen kautta on tehty matkoja jo yli 20 miljoonaa kappaletta (MaaS Global, n.d. -b, s. 10).

Huolimatta lupaavasta alusta ja ulkopuolisesta rahoituksesta on MaaS Global ajautunut vaikeuksiin, sillä yritys on tehnyt runsaasti tappiota perustamisestaan lähtien. Esimerkiksi vuoden 2021 liiketulos oli melkein 10 miljoonaa euroa tappiollinen ja vuonna 2019 luku oli yli 19 miljoonaa euroa. (Kauppalehti, n.d.). Helsingin Sanomien (Lappalainen, 2021) julkaisussa MaaS Globalin toimitusjohtaja Sampo Hietanen kertoi yrityksen vuoden 2019 tappioiden syntyneen markkinoinnista ja tappiollisesta hinnoittelusta, jolla yritys pyrki houkuttelemaan käyttäjiä.

Yritys on joutunut myös käymään yt-neuvotteluita, joista uutisoi Helsingin Sanomat (Lappalainen, 2022). Uutisen mukaan yt-neuvottelut olivat käynnissä lokakuussa 2022 ja sen seurauksena puolet yrityksen 50 työntekijästä lomautettiin. Helsingin Sanomien (Lappalainen, 2021) vuoden 2021 uutisen mukaan yrityksellä oli parhaimmillaan jopa 150 työntekijää, mutta keväällä 2020 henkilöstömäärä puolittui korona-pandemian aiheuttamista liikuntarajoituksista johtuen.

Tivi (Kullas, 2022) uutisoi marraskuussa 2022 lisää MaaS Globalin vaikeuksista, sillä yhtiö hakeutui yrityssaneeraukseen lokakuun 2022 lopussa. Uutisen mukaan yrityksellä on ollut vaikeuksia maksaa velkojaan useille tahoille. Sampo Hietanen kertoi Tivin haastattelussa toivovansa yrityssaneerauksen onnistumista, sillä MaaS Globalilla on menossa strategian muutos. Yrityksen tarkoituksena on hyödyntää jatkossa kumppaneita ja vähentää omia riskejään sekä pääomaa. Yrityksen tarkoituksena on siirtyä kuluttajamarkkinoille jatkossa partnereiden kautta ja ensimmäinen sopimus on kirjoitettu MaaS Globalin sekä Italialaisen vakuutusyhtiön Unipolin välillä. Hietanen uskoo haastattelussa optimisesti yrityksen olevan kannattava jo ensi vuonna.

2.4.4 Suomalaisten suhtautuminen MaaS-palveluihin

Timo Liljamo tutki väitöskirjassaan iältään 18-64 vuotiaiden Suomalaisten suhtautumista MaaS-palveluihin (Liljamo, 2020, s. 12). Tutkimus toteutettiin kyselytutkimuksena vuonna 2018 ja siihen valittiin 6000 henkilöä väestökisteristä satunnaisotannalla. Kyselyyn vastasi 1176 ihmistä, joten kyselyn vastausprosentti oli noin 20. (Liljamo, 2020, ss. 34–35)

Kyselyn perusteella yli puolet suomalaisista ei kokisi tarpeelliseksi omistaa autoa, jos käytössä olisi kaikki liikkumistarpeet kattava MaaS-palvelu (Liljamo, 2020, s. 63). Suurin osa kyselyyn vastanneista ei ollut kuitenkaan aiemmin kuullut termiä MaaS ja vain noin viidennekselle vastaajista termi oli ennestään tuttu. Ikäryhmältään 25-34-vuotiaille termi oli tutuin ja miehet tunsivat hieman paremmin termin kuin naiset. Vastaajista yli 80 % oli samaa mieltä väittämästä ”kaikkia liikennepalveluita tulisi voida yhdistellä ja käyttää yhdellä lipulla ja sovelluksella” ja Liljamon mielestä tämän perusteella MaaS-palveluiden ydinajatukselle on tarvetta. (Liljamo, 2020, s. 42)

MaaS-kyselyssä tutkittiin myös ihmisten halukkuutta maksaa MaaS-palveluista ja vastaajia pyydettiin määrittelemään sopiva hinta MaaS-palveluille, joka pitää sisällään esimerkiksi joukkoliikenteen, taksin ja yhteiskäyttöautot. Vastaajista 43 % antoi jonkin hinta-arvion kyseiselle palvelulle. Vastaajien taustatiedot vaikuttivat merkittävästi vastaushalukkuuteen, sillä mitä vähemmän vastaajilla oli käytössä autoja, sitä herkemmin vastaajat antoivat hinta-arvion. Arviot vaihtelivat 10 euron ja 700 euron välillä, antaen keskiarvoksi 137 euroa. Vastaajista 41 % oli valmiita maksamaan alle 100 euroa, noin 29 % 100-199 euroa, noin 29 % yli 200 euroa ja vain noin 6 % oli kyselyn perusteella valmis maksamaan yli 400 euroa kattavasta MaaS-palveluista. (Liljamo, 2020, ss. 42–43)

2.5 Sähköautojen langaton lataus

Sähköautojen tärkeimpänä käyttöönottoon vaikuttavana tekijänä pidetään latausinfrastruktuuria. Tästä syystä sähköautojen lataamiselle tarvitaan helpompia vaihtoehtoja (Birrel, ym., 2020, s. 2). Sähköautojen langaton lataus onkin varteenotettava vaihtoehto perinteiselle lataukselle, jossa auto tarvitsee laittaa piuhaan latauksen ajaksi (Huang & Lin 2021, s. 31). Langaton lataus on helppokäyttöisempi vaihtoehto, jonka lisäksi johtoihin koituvat haitat, kuten kompastumisvaara, ilkivalta ja sähköiskut märissä sääolosuhteissa on vältettävissä (Bagheri, ym., 2020, s. 153; Ibrahim, 2015, s. 8).

Sähköautojen langattomia latausjärjestelmiä on olemassa kahdenlaisia, staattisia ja dynaamisia (Huang & Lin, 2021, s. 84). Staattisessa latauksessa sähköautoa voi ladata vain, kun se on pysäköity, esimerkiksi kotipihaan tai liikennevaloissa. Dynaamisessa latauksessa sähköauto voi liikkua latauksen aikana. (Lu, ym., 2018, s. 923) Plugless Powerin (Plugless power, n.d.) mukaan sähköautojen langaton lataus mahdollistaa henkilöliikenteen ja joukkoliikenteen autonomisen ajamisen tulevaisuudessa, sillä sen seurauksena autonomiset ajoneuvot eivät tarvitse henkilöä laittamaan kulkuneuvoa lataukseen.

2.5.1 Staattinen järjestelmä

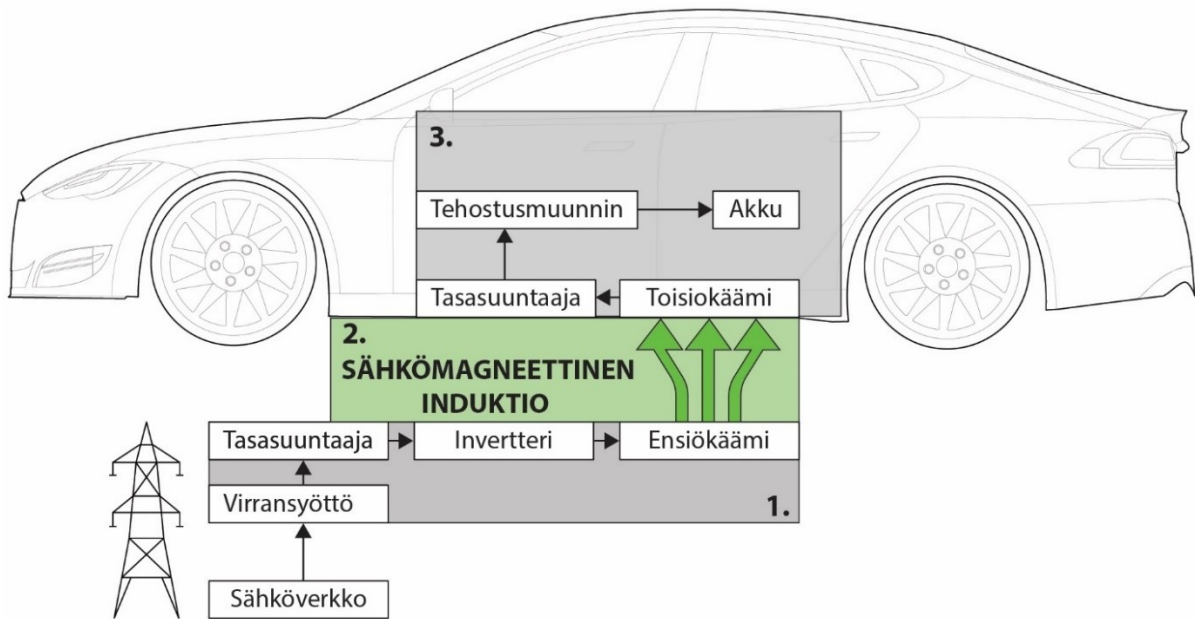
Staattista latausta varten on määritelty standardi, joka on nimeltään SAE J-2954. Se käsittää vain maanpäälle asennettavat lähettimet. Standardissa on määritelty staattisen latauksen turvallisuutta, suorituskykyä ja yhteensopivuutta koskevia vaatimuksia, sekä suosituksia sähkömagneettisten päästöjen arvioimiseksi. (SAE, 2020)

Staattinen langaton latausjärjestelmä koostuu kahdesta yksiköstä, jotka ovat lähetin ja vastaanotin. Lähetin sijaitsee maassa ja siinä sijaitsee muun muassa langattoman latauksen ensiökäämi sekä tehon muuntajat. (Huang & Lin, 2021, s. 31) Lähetin on mahdollista asentaa tien alle tai tien pinnan päälle (Aksoz, 2022, s. 2). Vastaanotin on liikkuva osa ja se sijaitsee yleensä sähköautojen pohjassa. Sen paikka auton pohjassa saattaa vaihdella ja voi sijaita edessä, takana tai keskellä. (Lu, ym., 2018, s. 931) Vastaanotimessa sijaitsevat esimerkiksi toisiokäämi ja tehonmuuntajat. (Huang & Lin, 2021, s. 31) Induktiivisen langattoman latauksen lataustekniikka perustuu suljettuun induktiosilmukkaan, joka koostuu näistä kahdesta käämistä (Bagheri, 2020, s. 155). Käämit voivat olla eri muotoisia, kuten esimerkiksi pyöreitä, neliönmallisia tai suorakaiteen muotoisia (Anvari, ym., 2019, s. 6; Lu, ym., 2018, ss. 926–927). Kun käämiä käyttää suljettuna silmukkana, luo ensiökäämi magneettikentän ja siirtää langatonta tehoa itsensä ja toisiokäämin välillä ilmarakon kautta (Shinohara, 2014, s. 31; Huang & Lin 2021, s. 71). Induktiivinen kytkentä perustuu Faradayn induktiolakiin sekä Amperen piirilakiin (Shinohara, 2014, s.31; ks. myös Inkinen, ym., 2002, s. 164). Faradayn laki kuvaa, miten ajassa muuttuva magneettikenttä ja sen indusoima jännite ovat riippuvaisia toisistaan (Shinohara, 2014, s.31; Inkinen, ym., 2002, s. 164). Amperen piirilain avulla pystytään laskemaan suljetun silmukan läpi kulkevan sähkövirran ja sen ympärille muodostuvan magneettikentän välistä suhdetta (Shinohara, 2014, s.31; Inkinen, ym., 2002, s. 140).

Ladattaessa sähköautoa langattomasti, lähettimen ja vastaanottimen täytyvät olla kohdakkain. (Fang, ym., 2021, s. 3). Lähetin ja vastaanotin koostuvat useista eri materiaalikerroksista. Useamman komponenttikerroksen tarkoituksena on saavuttaa mahdollisimman hyvä tehonsiirto sekä mahdollisimman pieni sähkömagneettinen häiriö. Pääkomponentteja on kolme, joita ovat käämi, suojamateriaali sekä tukimateriaalit. (Lu, ym., 2018, s. 926) Lähettimen ja vastaanottimen muotojen suunnittelu on tärkeä tekijä

induktiolatauksessa, sillä se määrittää myös magneettikentän muodon ja vaikuttaa lisäksi lähettimen ja vastaanottimen kohdistukseen, vuotovirtaan sekä magneettisäteilyyn (Anvari, ym., 2019, s. 6). Latausaikaan vaikuttavat tehon määrä, lähettimen ja vastaanottimen koko, niiden välinen kohdistus, sekä niiden välinen ilmarako, joka henkilöautoilla on keskimäärin noin 15-30 cm (Lu, ym., 2018, s. 931).

Kuvassa 14 on esitetty sähkömagneettisen induktiolatauksen toimintaperiaate, joka on jaettu 3 vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe kuvaa tapahtumia ennen sähkömagneettista induktiota, toinen vaihe sähkömagneettista induktiota ja kolmas vaihe tapahtumia sähkömagneettisen induktion jälkeen. Ensimmäisessä vaiheessa on kaksi muutosvaihetta, jotka mahdollistavat langattoman tehonsiirron. (Ibrahim, 2015, s. 8). Prosessi alkaa siitä, kun virransyöttö saa matalataajuista vaihtovirtaa sähköverkosta (Lu, ym., 2018, s. 923). Ensimmäinen muutos tapahtuu kun vaihtovirta kulkee tasasuuntaajan läpi ja muuttua sen tasavirraksi. Toinen muutos syntyy kun tasavirta siirtyy tämän jälkeen invertteriin, joka muuntaa tasavirran korkeataajuiseksi vaihtovirraksi. (Ibrahim, 2015, s. 8; Lu, ym., 2018, s. 923; Huang & Lin 2021, s. 71) Lähetinpuolen kaksi muunninta säätävät siis tulojännitettä ja tulotaajuutta, jotka mahdollistavat lataustehon kontrolloinnin. (Ibrahim, 2015, s. 8; Lu, ym., 2018, s. 923; Huang & Lin 2021, s. 71) Lopuksi korkeataajuuksinen vaihtovirta kulkeutuu induktiokäämin ensiöpuolelle, joka päättää sähköenergian virtausprosessin lähettimen puolella (Fang, ym., 2021, s. 3). Toisessa vaiheessa vaihtovirta siirtyy ensiökäämistä toisiokäämiin sähkömagneettisen induktion välityksellä ja kolmannessa vaiheessa vaihtovirta kulkeutuu tasasuuntaajaan, joka muuntaa vaihtovirran akun tarvitsemaksi tasavirraksi. Tehostusmuuntimen tarkoituksena on ylläpitää sopivaa jännitetasoa lataamiselle. Lopuksi tasavirta kulkeutuu akulle. (Ibrahim, 2015, s. 8; Lu, ym., 2018, s. 923; Akzos, s. 6)



Kuva 14: Induktiolataus (Hannu Riikonen, muokattu kuvasta Fang, ym., 2021, s. 3).

2.5.2 Sähkötaksien langaton latausinfrastruktuuri

Suomessa perustettu energiakonserni Fortum (Fortum, 2019) julkaisi vuonna 2019 lehdistötiedotteen, jossa se kertoi rakentavansa Osloon langattoman pikalatausinfrastruktuurin sähkökäyttöisiä takseja varten. Tiedotteen mukaan kyseessä on maailman ensimmäinen taksien pikalataukseen liittyvä hanke ja siinä ovat mukana Oslon kaupunki sekä amerikkalainen Momentum Dynamicsin. Jaguar Land Rover (Jaguar, 2020) julkaisi vuonna 2020 oman tiedotteen, jossa se kertoi tukevansa Osloa tässä ElectricCity-nimisessä hankkeessa. Se toimittaa 25 kappaletta Jaguar I-PACE sähköautoja hankkeessa mukana olevalla Cabonlinelle, joka on pohjoismaiden suurin taksiverkosto. Projektissa langattomasta lataustekniikasta vastaa Momentum Dynamics, joka on toiminut langattoman lataustekniikan parissa vuodesta 2013 lähtien. (Jaguar, 2020). Yritys on sittemmin vaihtanut nimeään ja yrityksen uusi nimi on InductEV (InductEV, n.d.).

Projektissa käytetään induktioon perustuvaa langatonta lataustekniikkaa (Fortum, 2019 ; Tech Vision, 2021; Jaguar, 2020). Jaguar Land Roverin tiedotteen mukaan (Jaguar, 2020) latauslevyjä asennetaan maahan sarjana, joista jokainen antaa tehoa 50-75 kilowattia. Fortumin (Fortum, 2019) mukaan langattomia latauspaikkoja on tarkoitus asentaa taksien odotuspaikoille, esimerkiksi päärautatieasemalle. Tällöin taksit latautuvat odottaessaan

asiakkaita sellaisissa paikoissa, missä ne muutenkin olisivat parkissa. Ne eivät myöskään saastuta tyhjäkäynnillään odottaessaan asiakkaita, vaan lataavat akkuihin vihreistä lähteistä peräisin olevaa sähköä.

Ahn & Williamson (Ahn J. & Williamson S. 2018) mukaan langattomat latausasemat sopivat juuri erityisesti takseille, sillä langaton lataustekniikka poistaa sähköautojen rajoitetusta käyttöajasta heijastuvat huolet. Taksien ei tarvitse enää etsiä vapaita latauspaikkoja, kiinnittää laturia taksiin latauksen ajaksi, eikä irroittaa latauspiuhaa kun asiakas ottaa taksin (Tech Vision, 2021). Lisäksi sähkötaksit voivat pitää ilmastoinia käynnissä odottaessaan asiakkaita (Ahn J. & Williamson S. 2018). Fortumin mukaan taksien sähköistymiselle on aiemmin ollut ongelmana juuri puutteet latausinfrastruktuurissa, sillä aiemmin latauspisteiden etsiminen ja itse lataaminen on vienyt liikaa aikaa (Fortum, 2019). Oslon kunnianhimoisena tavoitteena on tehdä kaikista takseista sähköisiä vuoden 2023 aikana. (Fortum, 2019 ; Tech Vision, 2021; Jaguar, 2020).

Bjørn Nyland vieraili Osllossa taksien langattomalla latausasemalla vuonna 2021. Hän tekee kokopäiväisesti Youtube-videoita sähköautoista ja hänellä on yli 288 000 tilaajaa. (Induct, 2021) Videolla Momentum Dynamicsin työntekijä esitteli Nylandille taksiasemaa. Siihen kuului kaksi parkkiruutua, joihin molempiin oli asennettu yksi, kooltaan noin 700*700 millimetrin kokoinen latauslevy, kuva 15. (Nyland, 2021)



Kuva 15: Jaguar I-PACE-taksi (Nyland, 2021).

Taksiaseman vieressä sijaitti sähkökeskus, joka antaa molemmille latauslevylle virtaa yhteensä 150 kilowattia. Jaguar I-PACE-taksin alle oli asennettu langattoman latauksen mahdollistama vastaanotin, sekä 2 kappaletta lämpökameroita. Ne pystyvät havaitsemaan esimerkiksi eläimen tai tölkin, jolloin langaton lataus päättyy välittömästi. Videolla Jaguar I-PACE ajoi latauslevyn päälle ja latautui onnistuneesti langattomalla lataustekniikalla noin 50 kilowatin teholla. Ajoneuvon vastaanottimen ja maahan asennetun lähettimen kohdistui onnistui myös helposti maata kuvaavan kameran ansionsta. (Nyland, 2021)

2.5.3 Dynaaminen järjestelmä

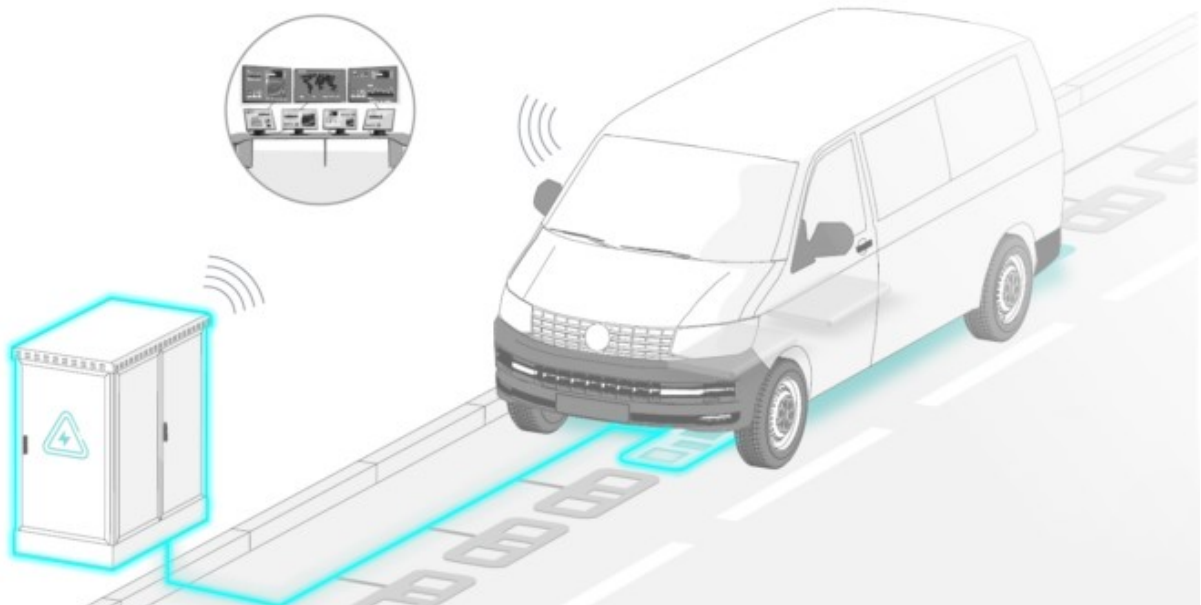
Dynaamisessa latauksessa itse energiansiirtoprosessi toimii samoin kuin staattisessakin järjestelmässä, mutta dynaaminen järjestelmä vaatii muutoksia tieinfrastruktuurin ja ajoneuvojen suhteen. (Anvari, ym., 2019, s. 6) Coban ym. (2022, s. 5) mukaan dynaaminen latausjärjestelmä koostuu 4 pääkomponentista, joita ovat:

1. Lähettimet. Toisin kuin staattisen lataus, dynaaminen lataus vaatii useita lähettämiä. Tällöin magneettikenttä syntyy useissa peräkkäisissä käämeissä, jotka tehostuvat kun ajoneuvot ajavat niiden yli. (Anvari, ym., 2019, s. 6) Dynaaminen järjestelmä vaatii lähettimien asentamista tienpinnan alle, jolloin tie joudutaan avaamaan, kuva 16 (Aksoz, 2022, s. 2). Dynaamisen latauksen suurimmat kustannukset koostuvat juuri lähettimien suuresta määrästä, sekä teiden avaamisesta. (Anvari, ym., 2019, s. 7)



Kuva 16: Useita lähettämiä asennettuna tien alle (Smartroad Gotland, 2022b).

2. Vastaanottoyksikkö tai vastaanottoyksiköt, jotka asennetaan sähköajoneuvojen alle samoin kuten staattisessa latauksessa. (Coban, ym., 2022, s.5; Lu, ym., 2018, s. 931). Tämän lisäksi ajoneuvot tarvitsevat lisäksi myös sisäisen yksikön, jonka tehtävänä on V2I-viestintä tienvarsiyksiköiden kanssa. (Anvari, ym., 2019, s. 7)
3. Hallintayksiköt, joiden tehtävänä on ohjata latausvyöhykkeitä, jotka koostuvat useamman lähettimen joukosta, kuva 17 (Anvari, ym., 2019, s. 6). Se myös siirtää energiaa sähköverkosta tieinfrastruktuuriin (Coban, ym., 2022, s.5; ks. myös Electreon, n.d- e). Hallintayksiköt voidaan asentaa maan alle tai maan päälle (Electreon, n.d- e).



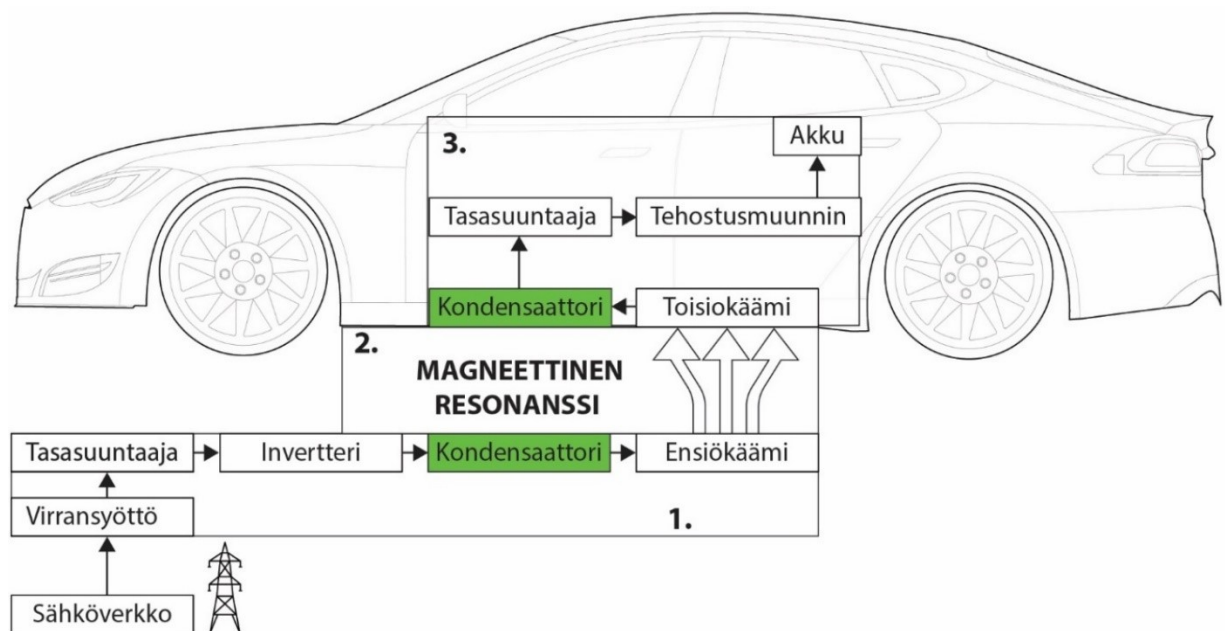
Kuva 17: Hallintayksikkö (Electreon, n.d- e).

4. Pilvipohjainen viestintäjärjestelmä, joka mahdollistaa latausjärjestelmän reaaliaikaisen monitoroinnin ja riittävän energiansiirron. (Coban, ym., 2022, s.5; Electreon, n.d- e) Sen tehtäviä ovat myös vastaanottimien kohdistaminen lähettämiin, V2I-viestintä ajoneuvojen sisäisten yksiköiden kanssa, sekä tienkäyttäjämaksuista huolehtiminen (Anvari, ym., 2019, s. 8).

Ajoneuvo aloittaa sähköisen tiedonsiirron itsensä ja tienvarsiyksikön kanssa lähestyessään lähettämiä, kun se on varusteltu langattomalla vastaanottimella sekä sisäisellä yksiköllä. Viestinnän tarkoituksena on optimoida siirtoprosessi, säilyttää korkea hyötysuhde sekä

varmistaa kelojen olevan tarvittaessa jännitteisiä tai jännitteettömiä. (Anvani, ym., 2019, s. 7) Kun ajoneuvo ajaa lähettimien yli, järjestelmä hyväksyy ajoneuvon ja energian siirto alkaa. Tunnistaminen tapahtuu metri metriltä ja jokainen osa käynnistyy ja sammuu millisekunneissa. Langattomalle sähkötielle asennetut kuparikelat aktivoituvat ainoastaan siinä tapauksessa, jos ajoneuvo on tunnistettu. (Electreon, n.d. -b)

Lisäksi, koska ajoneuvot ovat vain lyhyen aikaa vuorovaikutuksessa lähettimien kanssa ajaessaan niiden yli, vaaditaan lataustekniikalta suurempaa tehoa. (Anvari, ym., 2019, s. 6). Resonoivan latauksen periaate on muuten sama kuin induktiivisen latauksen, mutta siihen on lisätty kondensaattoreita, kuva 18. Kondensaattori on virtapiiriin passiivinen komponentti ja sillä on kykyä varastoida sähköenergiaa (Inkinen, ym., 2002, ss. 51–52). Kondensaattoreiden tarkoituksena on kompensoida järjestelmän reaktiivinen osa, jotta saadaan aikaiseksi maksimaalinen tehonsiirto (Ibrahim, 2015, ss. 8–9). Kondensaattorit sijoitetaan ensiö- ja toisiopuolille ja ne resonoivat kun virran taajuus on sama (Anvani, ym., 2019, s. 5; Fang, ym., 2021, s. 4; Huang & Lin 2021, s. 72). Resonointi tapahtuu, kun energia on kulkeutunut tasasuuntaajan ja invertterin kautta ensiökäämille. Resonoinnin seurauksena sähköenergia virtaa toisiokäämille ja kulkeutuu tasasuuntaajan kautta lopulta akulle. Fang, ym., 2021, s. 4)



Kuva 18: Magneettiresonanssilataus (Hannu Riikonen, muokattu kuvasta Fang, ym., 2021, s. 4).

Sopivan kompensointiverkkotopologian valinta, eli miten kondensaattorit sijoitetaan lähettimeen ja vastaanottimeen, riippuu järjestelmän vaatimuksista (Aksoz, 2022, s. 11).

Kompensointiverkkotopologioita on 4 perustyyppiä:

1. SS-topologia, missä molemmat kondensaattorit on kytketty sarjaan.
2. SP-topologia, missä lähettimeen kondensaattori on kytketty sarjaan ja vastaanottimen rinnan.
3. PS-topologia, missä lähettimeen kondensaattori on kytketty rinnan ja vastaanottimen sarjaan.
4. PP-topologia, missä molemmat kondensaattorit on kytketty rinnan.

Näiden lisäksi on kehitetty myös monimutkaisempia kompensointiverkkotopologioita, jotka ovat edellä mainittujen tavallisimpien verkkotopologioiden yhdistelmiä. (Bagheri, 2020, s. 157; Ibrahim, 2015, s. 19; Huang & Lin 2021, s. 72).

2.5.4 Smartroad Gotland

Smartroad Gotland on langattoman sähkötien esikaupallinen esittelyprojekti, joka toteutetaan Gotlannin saarella Ruotsissa (Electreon, n.d. -d). Gotlannin ilmasto on erinomainen tekniikan testaamiseen erilaisissa olosuhteissa, kuten lumessa ja jäässä (Smartroad Gotland, n.d. -a). Hankkeen tavoitteena on tuottaa tietoa langattomista sähköteistä ja niiden laajamittaisesta käyttöönotosta Ruotsissa. Smartroad Gotland on yksi neljästä sähköisten teiden demonstraatiohankkeista, joita rahoittaa Trafiverket, eli Ruotsin liikennehallinto. (Electreon, n.d. -d).

Smartroad Gotland-hanke on julkisten ja yksityisten tahojen välinen konsortio (Electreon, n.d. -d). Pilotointia johtaa Israelilainen yritys Electreon AB. (Smartroad Gotland, n.d. -a). Electreonin perusti Oren Ezer sekä Hanan Rumbak vuonna 2013. Yritys aloitti langattomien sähköteiden pilotoinnit Israelissa ja Euroopassa vuonna 2018 (Electreon, n.d. -a). Hankkeen kokonaisbudjetti on 116 miljoonaa kruunua, eli noin 11 miljoonaa euroa. Ruotsin liikennehallinnon osuus budjetista on 91 miljoonaa kruunua, eli noin 9 miljoonaa euroa. (Smartroad Gotland, n.d. -a)

Electreonin valmistama sähköinen ja langaton tietekniikka perustuu magneettiresonanssi-induktioon. Yrityksen mukaan lumi eikä jää vaikuta energiansiirtoon ja infrastruktuuri on täysin turvallinen tietä ylittävälle ihmisille ja eläimille. Ajoneuvoihin asennettavat vastaanottimet voidaan asentaa mihin tahansa sähköajoneuvoon ja ajoradan alle asennettavat lähettimet voidaan asentaa mille tahansa tielle. (Electreon, n.d. -b) Electreon käyttää lähettimien asennukseen puoliautomaattista asennustapaa, kuva 19 (Smartroad Gotland, 2022b). Yrityksen mukaan tämä mahdollistaa sen, että yhden yön aikana pystytään rakentamaan noin 1.6 kilometriä pitkä sähkötie (Electreon, n.d. -e).



Kuva 19: Lähettimien puoliautomaattinen asennustapa (Smartroad Gotland, 2022b).

Electreonin langaton sähkötie voi toimia esimerkiksi Charging as a Service- ja Road as A Service-liiketoimintamallin mukaan (Electreon, n.d. -b). Charging as a Service- mallissa Electreon kattaa alkuinvestoinnit ja asiakas maksaa kuukausitilauksen. (Electreon, n.d. -c). Road as a Service-mallissa kuljettajat maksavat teiden käyttämisestä käytön perusteella (Dell technologies, 2020). Electreon arvioi, että lähettimien sekä muiden laitteiden käyttöikä olisi noin 40 vuotta (Smartroad Gotland, n.d. -a).

Hankkeen aikana Visbyn kaupungin ja lentokentän yhdistävästä 4 kilometrin tieosuudesta sähköistettiin 1,65 kilometriä, noin 800 metriä molempiin suuntiin. Kyseinen tieosio valittiin, koska se soveltuu hyvin järjestelmätestaukseen. Se sijaitsee lähellä liikenneympyrää ja sisältää sekä mutkaisia että suoraa tieosuuksia, joka mahdollistaa ajoneuvojen testauksen eri tilanteissa. (Smartroad Gotland, n.d. -a)

Projektin ensimmäinen tieosuus valmistui marraskuussa 2019 ja projektin alkuperäinen käyttöönotto saatiin päätökseen vuoden syksyllä 2020. Joulukuussa 2020 aloitettiin ensimmäiset testit sähkökäyttöisellä rekalla, jossa on viisi vastaanotinta. (Smartroad Gotland, n.d. -a). Se ajoi pilotoinnin aikana onnistuneesti lentokentän ja keskustan välillä 80 km/h nopeudella ja se vastaanotti energiaa sähkötiestä keskimäärin 70 kW teholla (Electreon, n.d. -d). Vuoden 2021 syyskuussa sähkötiellä aloitti liikennöimään sähköbussi, jossa on kolme vastaanotinta (Smartroad Gotland, n.d. -a). Flygbussarna-yhtiön bussi kuljetti matkustajia lentokentän ja keskustan välillä (Electreon, n.d. -d).

Huhtikuussa 2022 Ruotsin liikennevirasto päätti jatkaa Smartroad Gotland-projektia vuodella ja sen on määrä päättyä syksyllä 2023 (Smartroad Gotland, 2022a). Projektin jatko sai Ruotsin liikevirastolta 2 miljoonan euron lisäbudjetin (Electreon, 2022). Jatkoprojektin aikana on tarkoitus parantaa latausinfrastruktuurin tehokkuutta, johon kuuluvat sähkötien päivitys 400 metrin osalta sekä ajoneuvoihin asennettavien vastaanottimien tehokkuuden parantaminen (Smartroad Gotland, 2022a; Electreon, 2022).

Smartroad Gotland julkaisi syyskuussa 2022 tiedotteen, jossa se kertoi kyseisen 400 metrin tieosuuden päivityksen olevan valmis (Smartroad Gotland, 2022c). Tämän päivityksen jälkeen jatkoprojektissa on tarkoitus jatkaa sähköisen kaukoliikennerekan ja lentokenttäbussin testausta, joista jälkimmäinen myös kaupallistetaan. Electreon ottaa käyttöön myös ohjelmiston, jotta yhtiö voi laskuttaa tienkäytöstä. Jatkoprojektin aikana tietä tullaan testaamaan Ruotsin tie- ja liikennetutkimuslaitoksen puolesta, jolla varmistetaan ettei raskaiden ajoneuvojen käyttö vaikuta Electreonin sähköiseen tietekniikkaan. (Electreon, 2022). Kun hanke on valmis, sähkötie puretaan (Smartroad Gotland, n.d. -a).

2.6 Konduktioon perustuva ajonaikainen lataus

Vanttenfallin (2021) mukaan akkujen lataaminen tien varsilla olevilla latausasemilla ei välttämättä riitä, varsinkin jos kyseessä on raskasta kuormaa kuljettava rekka. Tästä johtuen tieosuuksia voidaan sähköistää, jotta ajoneuvoja voidaan ladata ajon aikana. Näin akkujen kokoa voidaan pienentää.

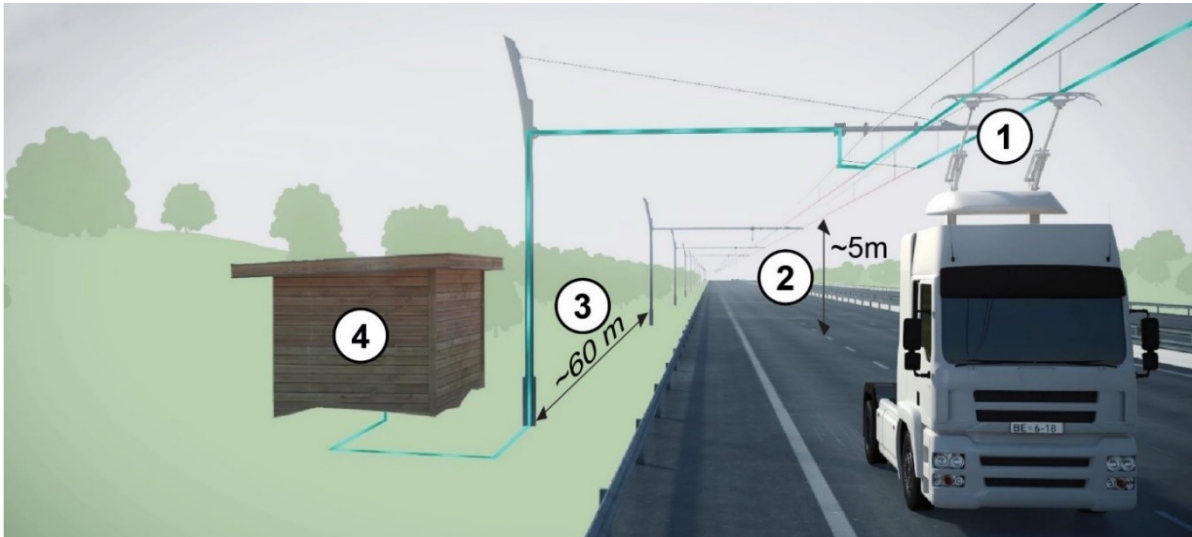
Johtuminen, eli induktio on induktion vastakohta. Siihen perustuvassa ajonaikaisessa latauksessa energiaa siirrettäessä lähteen ja vastaanottimen välillä täytyy olla fyysinen kontakti. (Coban, ym., 2022, s. 5) Johtavien latausjärjestelmien etu verrattaessa langattomiin on se, että latauksen vaatima suuri teho saavutetaan helpommin. Johtava lataus ei kuitenkaan ole yhtä turvallinen, sillä fyysiset osat ovat jännitteisiä. Lisäksi johtavissa lataustekniikoissa mekaaniset osat kuluvat fyysisestä kosketuksesta johtuen. (Coban, ym., 2022, s.7)

Konduktioon perustuvia menetelmiä on olemassa kolme erilaista: virtalähde tien päällä, virtalähde tien vieressä tai virtalähde tiellä. Yhteistä kaikille johtaville lataustekniikoille on se, että ne vaativat laitteen, joka ohjaa virran takaisin verkkoon. (Coban, ym., 2022, ss. 5–6)

2.6.1 Siemens eHighway-järjestelmä

Siemens tarjoaa eHighway-ratkaisussaan raskaille ajoneuvoille virtaa tienpäällä olevasta virtalähteestä (Siemens, n.d. -a). Siemensin eHighway-järjestelmä on esitetty kuvassa 20. Se koostuu ne 4 osasta, joista yksi sijaitsee ajoneuvossa ja 3 tieinfrastruktuurissa. Näitä ovat:

1. Virroittimet, jotka asennetaan ajoneuvojen katoille (Coban, ym., 2022, s.6). Niiden tehtävänä on välittää energiaa sähköajoneuvojen sähkömoottoreille. Virroitin kytkeytyy automaattisesti pois päältä väistöliikkeen aikana tai käytettäessä vilkkua. (Siemens, n.d. -a).
2. Ajojohtimet, jotka ovat kaksilinjaisia ja ne sijaitsevat noin 5 metrin korkeudella tien pinnasta. Niiden tehtävä on välittää energiaa virroittimille. (Coban, ym., 2022, s.6) Sensorijärjestelmä tunnistaa ajojohtimet ja virroittimet saa liitettyä sekä irrotettua ajojohtimista kun ajoneuvojen nopeus on 0-90 km/h välillä (Siemens, 2019, s. 2).
3. Pylväät, joihin ajojohtimet kiinnitetään. Ne sijaitsevat noin 60 metrin etäisyydellä toisistaan (Coban, ym., 2022, s.6).
4. Sähköasemat, jotka antavat virtaa ajojohtimille. Sähköasemilta saatu energia muunnetaan tasavirraksi (Colovic, ym., 2021, s. 141). Sähköasemat on varusteltu keskijännitekojeistolla, tehonmuuntajilla sekä tasasuuntaajilla. (Siemens, n.d.)



Kuva 20: Siemens e-Highway (Hannu Riikonen, muokattu kuvasta Siemens, n.d. -a).

Ajojohtimien korkea sijainnin takia eHighway-järjestelmä soveltuu vain suurille ajoneuvoille, kuten rekoille ja linja-autoille. Tästä syystä tekniikkaa suositellaankin tieosuuksille, joissa on säännöllistä raskasta liikennettä. (Coban, ym., 2022, s.6) Siemensin ratkaisussa raskaan liikenteen ajoneuvot ovat hybridikäyttöisiä. Ne toimivat sähköistetyillä reiteillä sähköllä ja muilla tieosuuksilla ajoneuvoista riippuen esimerkiksi polttomoottoreilla. (Siemens, n.d. -a; Siemens, 2019, s. 2) Muiden ajoneuvojen ohittaminen on mahdollista, eivätkä ajoneuvot menetä nopeuttaan ohituksien tai muiden tieosuuksien aikana, kun virroitin kytkeytyy pois päältä (Colovic, ym., 2021, s. 141; Siemens, 2019, s. 2).

2.6.2 Siemens eHighway E16-pilotointi

Ruotsissa otettiin käyttöön vuonna 2016 maailman ensimmäinen yleisellä tiellä toimiva Siemensin eHighway-järjestelmä (Siemens, 2016). Projekti oli nimeltään eHighway E16 (Berlin & Engvall, n.d., s.17). Kyseessä oli demonstraatioprojekti, jossa Ruotsin liikennehallinto Trafikverket sekä Gävleborgin lääni halusivat testata Siemens eHighway-järjestelmän soveltuvuutta tulevaa kaupallista käyttöä varten (Siemens, 2016). Se myös perustui Ruotsin hallituksen tavoitteeseen fossiilivapaasta autokannasta vuoteen 2030 mennessä (Trafikverket, 2016). Hankkeen budjetti oli 125 miljoonaa kruunua, eli noin 12 miljoonaa euroa. Se jakautui kahden sidosryhmän välille. Trafivergetin, Ruotsin energiavirasto Energimyndigheten sekä Ruotsin valtion teknologiarahoitusorganisaatio

Vinnovan osuus oli 62 % ja hankkeeseen osallistuneiden organisaatioiden osuus oli 38 %. (Berlin &Engvall, n.d., s. 17; ks myös Trafikverket, 2016)

Pilotoinnissa päävastuussa oli Region Gävleborg ja sen tehtävä oli toimia projektikoordinaattorin ja projektisuunnittelijan rooleissa. Region Gävleborg on Gävleborgin maakuntavaltuusto, joka vastaa esimerkiksi Gävleborgin läänin joukkoliikenteestä. (Berlin &Engvall, n.d., s. 18) Projektissa käytettiin kahta dieselhybridirekkaa, jotka toimitti Scania (Siemens, 2016). Se myös vastasi projektissa niiden varustamisesta, sekä yhdessä Siemensin kanssa virroittimien käytöstä. Scanian rooliin kuului myös kerätä dataa ajoneuvoista, jotka projektin jälkeen jaettiin Gävleborgin alueen kanssa. Lisäksi rekkojen kuljettamisesta vastasi kuljetusyhtiö Ernst Express, ajojohtimien asennuksesta rakennusyhtiö Peab ja sähköasennuksista sekä sähkön saamisesta paikallisesta sähköverkosta Sandviken Energi. Siemensin roolina oli toimittaa eHighway-järjestelmä ja olla vastuussa sen infrastruktuurista. (Berlin &Engvall, n.d., ss. 19–20)

Pilotointia tehtiin 2 vuoden ajan E16-moottoritieellä Sandvikenissa Tukholman pohjoispuolella (Siemens, 2016). Pilotoinnin testiosuus oli kaksi kilometriä pitkä ja se kulki Kungsgårdenin ja Sandsvikenin välillä. Ajojohtimet sijaitsivat 5,4 metriä ajoradan yläpuolella ja niitä kannattelevat pylväät oli asennettu 60 metrein välein (Trafikverket, 2016). Scanian katolla olevat virroittimet syöttivät 750 voltin tasavirtaa rekkojen hybridisähköjärjestelmään (Trafikverket, 2016) ja molempia Scanian rekkoja testattiin säännöllisesti eri sääolosuhteissa (Sandviken Purepower, n.d.). Siemensin eHighway-ratkaisu osoittautui toimivaksi ja Siemens sekä Scania sai kerättyä paljon dataa jatkoa ajatellen. EHighway purettiin pilotoinnin jälkeen, kuten oli suunniteltu. (Sandviken Purepower, n.d.)

2.7 Hampurin älykäs satama

Hyvä esimerkki data-analytiikan hyödyntämisestä on Hampurin satama Saksassa. Satama sijaitsee keskellä kaupunkia ja kattaa noin 10 % kaupungin kokonaispinta-alasta (Cisco, 2014, s. 2). Se oli vuonna 2021 Euroopan 3. suurin ja maailman 20. suurin satama (Port of Hamburg, n.d.). Sataman kautta kuljetetaan vuosittain 92 miljoonaa tonnia tavaraa, joista rekoilla kuljetettavien tavaroiden osuus on hieman yli 50 prosenttia (Hamburg Port Authority, n.d. -b). Satamassa kulkee päivittäin noin 33 000 ajoneuvoa, joista kolmasosa on

rekkoja (Hamburg Port Authority, n.d. -a). Rekat ajavat satama-alueen silloilla noin 172 000 kilometriä normaalin työpäivän aikana ja tästä seuraa ruuhkautumista (Hamburg Port Authority, n.d. -b).

Sataman infrastruktuurihankkeista on vastannut vuodesta 2005 lähtien HPA, eli Hamburg Port Authority (Cisco, 2014, s. 2). Se vastaa Hampurin satamassa noin 130 kilometriä pitkän tieverkoston ja 81 siltaa käsittävän kokonaisuuden ylläpidosta ja kehittämisestä (Hamburg Port Authority, n.d. -a). HPA vie eteenpäin digitaalista transformaatiota ja sen tavoitteena on tehdä satama-alueesta hiilineutraali vuoteen 2040 mennessä (Hamburg Port Authority, 2021b). Hampurin satamaa kutsutaankin nimellä smartPORT (Hamburg Port Authority, n.d. -d).

Satama-alueella on käytössä täysin kattava pilvipohjainen logistiikkajärjestelmä (Colin & Saarelainen, 2016, s. 125). Sen kehittäminen alkoi vuonna 2009. Aluksi HPA alkoi kehittämään tietotekniikan ydininfrastruktuuriaan, sillä organisaatiolta puuttui ydinverkko jolle rakentaa. HPA yhdisti neljä erillistä verkkoa ja kehitti valokuiturungon (Cisco, 2014, s. 3). Alkuperäistä verkkoa on sittemmin laajennettu ja se kattaa koko satama-alueen (Cisco, 2014, s. 4). Vuonna 2011 HPA hyödynsi ensimmäistä verkkopäivitystään ja rakensi liikenteenhallintajärjestelmän. HPA asensi aluksi 300 sensoria valvomaan satama-alueen liikennettä pääväylillä ja asensi niitä myöhemmin lisää eri tarkoituksiin. (Cisco, 2014, s. 3) Sensorit tuottavat dataa, joka välittyy IP-verkon kautta analytiikkajärjestelmään (Cisco, 2014, s. 4; Colin & Saarelainen, 2016, s. 125). Järjestelmää on päivitetty vuodesta 2011 lähtien ja IP-pohjaisia sensoreita on asennettu lisää. Niistä saatu data, sekä kuva-, video ja tutkadata syötetään keskitettyyn hallintajärjestelmään. (Cisco, 2014, s. 4; Colin & Saarelainen, 2016, s. 125).

Logistiikkajärjestelmä tuo satama-alueelle monia hyötyjä. Sensoreiden tuottama data analysoidaan algoritmien avulla ja ne tunnistavat tieliikenteen nopeuden, ruuhkat sekä merkittävät ongelmakohdat. Esimerkiksi vapaiden pysäköintipaikkojen etsintään kulunut aika on vähentynyt, sillä sensorit antavat tietoa vapaista pysäköintipaikoista ja niistä tiedotetaan kuljettajien GPS-sijaintitietoa hyödyntäviin älypuhelimiin. (Colin & Saarelainen, 2016, s. 126; Hamburg Port Authority, n.d. -d) Sensorit myös mahdollistavat satama-alueen maaliikenteen tarkkailun lisäksi sinne saapuvan ja lähtevän vesiliikenteen seuraamisen. Jos

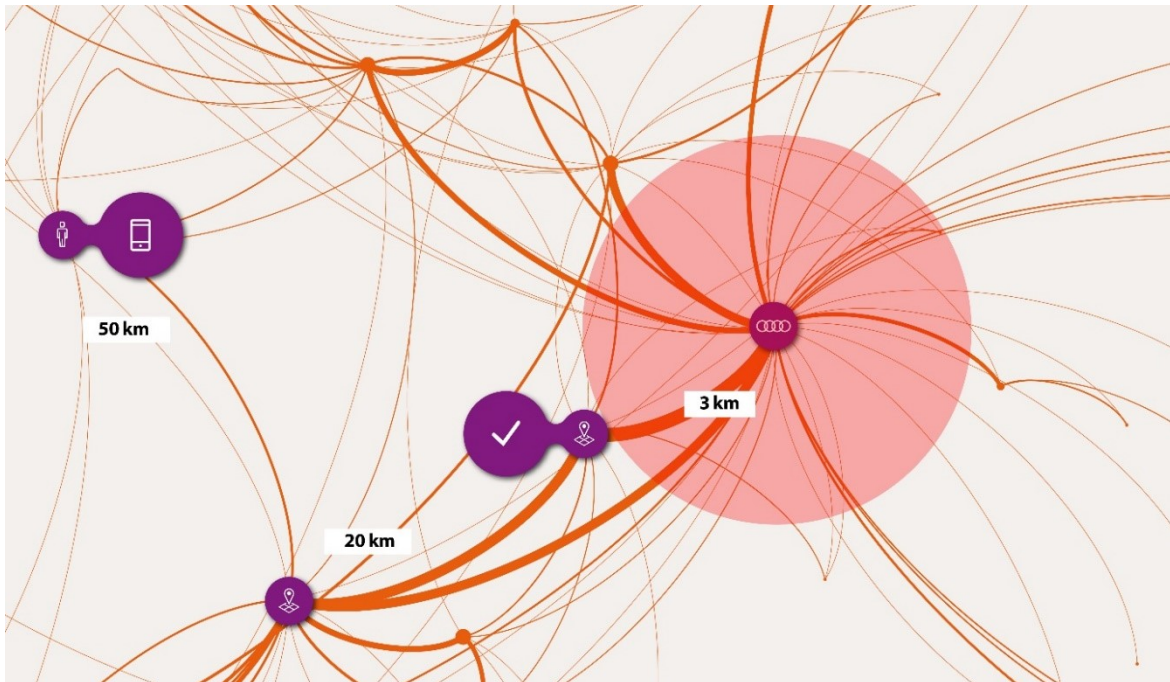
laivaliikenne vaatii nostosiltojen sulkemista, saavat kuljettajat automaattisesti tiedon nostosillan kiertävästä reitistä, jos vaihtoehtoinen reitti on saatavilla. Lisäksi järjestelmä tarkkailee ajoneuvojen painoa, mikä auttaa määrittämään sillan ylittäneen liikenteen määrän ja siten auttaa siltojen kuormittavuuksien arvioinnissa ja ennakoivassa kunnossapidossa. (Colin & Saarelainen, 2016, s. 126; Hamburg Port Authority, n.d. -d, s. 126; Cisco, 2014, s. 4)

Sensoritekniikan sekä analyysi-, ennuste- ja tietojärjestelmien välinen vuorovaikutus on tuonut valtavia tehokkuusparannuksia satama-alueelle. Yhdistyneiden kansakuntien (United Nations ESCAP, 2021) mukaan Hamburg Port Authority on pystynyt älykkään smartPORT-logistiikan avulla pienentämään sataman ruuhkia 15 prosenttia ja vähentämään sataman käyttökustannuksia 75 prosenttia. Lisäksi sillä on positiivisia ympäristövaikutuksia. Optimaalinen tiedonkeruu ja siitä nopea tiedottaminen mahdollistaa myös tehokkaimman kuljetustavan valinnan logistiikan suunnittelijoille, tavarantoimittajille sekä rahdinkuljettajille. (Hamburg Port Authority, n.d. -d)

2.8 Sensoritekniologia kuljetuksissa – case Audin tehdas

Sensoritekniologia ja etävalvonta mahdollistavat reaaliaikaisen näkyvyyden kuljetuskalustoon ja kuljetettavaan tavaraan, jolloin tavarankuljetuksia yritysten välillä sekä varastojen hallintaa voidaan tehostaa huomattavasti. Varastosaldot päivittyvät sensoritekniikan avulla automaattisesti kun tavara liikkuu ja manuaaliset työvaiheet, kuten inventointi vähenee. Rahdeissa tämä tarkoittaa parantunutta tarkkuutta sekä ajoitusta. Tästä hyötyvät kaikki logistiikan arvoketjun osapuolet, kun oikeaa tavaraa toimitetaan oikeaan paikkaan. (Collin & Saarelainen, 2016, ss. 124 – 125).

Tätä hyödynnetään Audin tehtaalla Saksassa. Kun rekka saapuu 50 kilometrin etäisyydelle Audin tehtaasta, lähettää Audin Quick Check-in-sovellus automaattisesti GPS-tiedot sekä tiedot kuorman sisällöstä logistiikkakeskuksen valvomoon. Tämä tapahtuu Geofencing-tekniikan avulla. (Inoue & Suyama, 2016, s. 2) Geofencing määrittää virtuaaliset rajat jollain tietyllä maantieteellisellä alueella (Barbosa, ym., 2015, s. 6083). Kuvassa 21 on määritelty virtuaalinen raja 3 kilometrin päähän Audin tehtaasta.



Kuva 21: Geofencing-tekniikka (Hannu Riikonen, muokattu kuvasta Jarich, ym., 2015).

20 kilometrin päässä tehtaasta rekan ja logistiikkakeskuksen tietoja verrataan uudestaan, jotta varmistutaan rahtitietojen ja sisäisten materiaalitietojen oikeellisuus (Ersing, 2015, s. 79). 3 kilometrin päässä tehtaasta tavarakuormasta tulee kiinteä osa tehtaan logistiikkaprosessia ja tavaraerä kirjautuu automaattisesti saapuneeksi. Kuljettaja saa tarkat saapumisohteet älypuhelimeensa ja hän voi kuljettaa lähetyksensä suoraan yhteen purkupisteistä, eikä muita kirjauksia tarvitse tehdä. (Ersing, 2015, s. 79; ks myös Collin & Saarelainen, 2016, s, 123) Suunniteltua jakeluliikennettä seurataan reaaliaikaisesti ja toiminnanohjaus puuttuu prosessiin vain poikkeustapauksissa. Prosessi säästää aikaa ja paperia, sillä Audin tehtaalla käy päivittäin satoja rekkoja. (Ersing, 2015, s. 79)

2.9 Wattway-aurinkopaneelitie

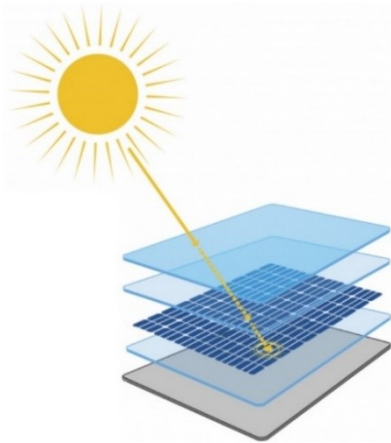
Ajoteitä voidaan käyttää energian talteenottoon (Correia & Ferreira, 2021, s. 2). Yksi tapa energian talteenottoon on pyydystää auringonvaloa teiltä, joka tapahtuu sijoittamalla aurinkosähkömoduuleita suoraan tienpinnan päälle. Teiltä kerättyä energiaa voidaan käyttää esimerkiksi katuvalojen ja opasteiden virtalähteenä tai lumen ja jään sulattamiseen talvella. (Cano ym., 2020, s. 5) Aurinko on kuitenkin epävarma energianlähde, sillä sen toimivuus

vaihtelee maantieteellisen sijainnin, päivän ja vuodenajan mukaan (Correia & Ferreira, 2021, s. 2).

2.9.1 Colas

Colas on vuonna 1929 perustettu yritys ja se on osa Bouygues-ryhmittymää, joka operoi 81 maassa (Wattway, n.d. -a). Yritys on valmistanut tiehen asennettavia aurinkopaneeleita, jotka koostuvat 5 kerroksesta ja ovat vain muutaman millimetrin ohuita, kuva 22.

Päällimmäinen kerros on lasikiviainesta, joka on sidottu läpinäkyvällä hartsilla. Sen alapuolella on kolme kerrosta, itse aurinkokenno ja sen ylä- ja alapuolella kovaa käyttöä kestävästä materiaalista valmistetut kerrokset. Pohjimmaisena on liimakerros, jonka avulla aurinkokennot liimataan tienpintaan. Liimaus poistaa suurien maa- tai vesirakennustöiden tarpeen. Colasin mukaan tuotteet ovat tarpeeksi ohuita päästäkseen sisään auringonvaloa, mutta samalla riittävän kestäviä kestääkseen ajoneuvojen painon. (Wattway, n.d. -b).



Kuva 22: Colasin valmistama aurinkokenno (Wattway, n.d. -b).

2.9.2 Wattway

Ranskassa Normandian alueella avattiin vuonna 2016 maailman ensimmäisen aurinkopaneelitie. Pilottiprojektin esitteli Colas (Biten, ym., 2021, s.2; Correia & Ferreira, 2021, s. 6). Yritys teki projektissa yhteistyötä Ranskan kansallisen aurinkoinstituutin (National Institute of Solar Energy) kanssa (Colas, n.d. -b). Science Alertin (Pasley, 2018) mukaan Ranska investoi projektiin 5,2 miljoonaa dollaria.

Wattwayksi kutsuttu tie oli yksikaistainen ja yhden kilometrin pitkä tie, joka sisälsi 2800 neliometriä aurinkopaneeleita. Niiden tuottama sähkö käytettiin kylän katuvalaistukseen. (Correia & Ferreira, 2021, s. 6; Biten, ym., 2021, s.2) Science Alertin (Pasley, 2018) mukaan kokeilutien oli tarkoitus tuottaa 150 000 kWh vuodessa. Sitä vastoin se tuotti vuonna 2018 hieman alle 80 000 kWh ja vuonna 2019 enää alle 40 000 kWh. Ranskalainen Le Monde-lehti (Bonnet, 2019) raportoi heinäkuussa 2019 tien olleen fiasko ja tiestä jouduttiin purkamaan pois 100 metriä. Siihen oli ilmestynyt lukuisia halkeamia ja osa paneeleista oli irronnut, kuva 23.

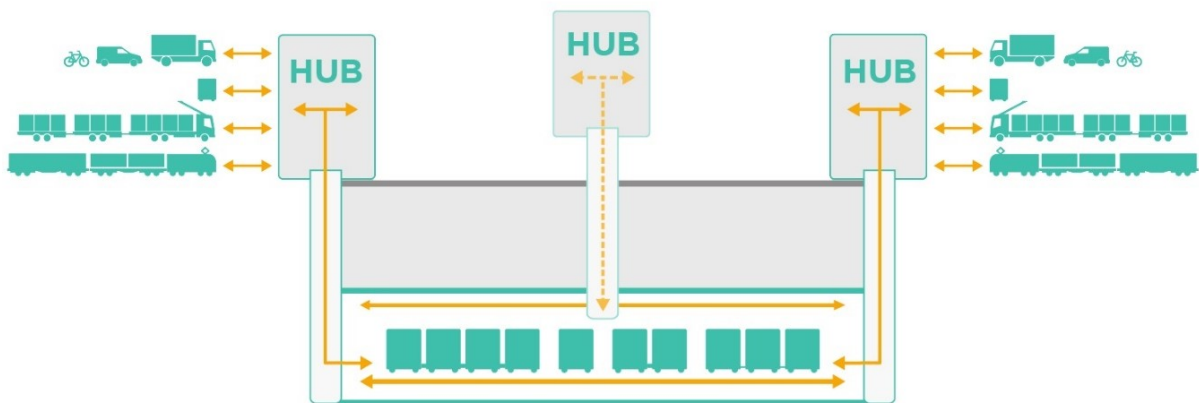


Kuva 23: Halkeillut Wattway (Passley, 2019).

Sytä aurinkotien huonoon menestykseen oli monia. Science Alertin (Pasley, 2018) mukaan ympäristö vaikutti pilotoinnin lopputulokseen, sillä Normandiassa sijaitsevassa Caenin kaupungissa aurinko paistaa keskimäärin vain 44 päivänä vuodessa. Lisäksi lehdet aiheuttivat vahinkoa aurinkopaneelitiehen ja rajoittivat paneelien tuottaman sähkömäärää. Myös ukkosmyrskyjen uskotaan rikkoneen aurinkopaneeleja. Le Monde-lehti (Bonnet, 2019) haastatteli paikallisia asukkaita, jotka kertoivat tiestä aiheutuneen melua ja nopeusrajoitus oli jouduttu tästä syystä laskemaan 70 km/h-tuntinopeudeksi. Lisäksi paikalliset asukkaat epäilivät alueella tiheästi kulkevien traktoreiden suuresta painosta olleen myös suurta haittaa aurinkopaneelitalle.

2.10 Cargo sous terrain

Cargo sous terrain on tulevaisuuden logistiikkajärjestelmä pientavaroiden joustavaan kuljetukseen Sveitsissä, joka tulee saamaan 100 % energiastaan uusiutuvista energianlähteistä. Se tulee yhdistämään tärkeät tuotanto- ja logistiikkakohteet kaupunkikeskuksiin kolmiraiteisten tunneleiden avulla. Niihin syötetään tavaroita pystysuunnassa rampeilta ja hisseiltä ja ne jaetaan tunnelikuljetuksen maan päällä ympäristöystävällisillä ajoneuvoilla, kuva 24. (Cargo Sous Terrain, n.d. -c)



Kuva 24: Cargo sous terrain-järjestelmä (Cargo Sous Terrain, n.d. -c).

Sähköllä toimivien autonomisten ajoneuvojen on tarkoitus kuljettaa syötettyjä tavaroita tunneleissa lavoilla tai muunnelluissa konteissa noin 30 km/h tuntinopeudella ja ne pystyvät automaattisesti noutamaan ja purkamaan kuormia kyseisiltä rampeilta ja hisseiltä. Tämän lisäksi tunneleihin on tarkoitus asentaa nopea ylärata pienempiä kuljetuksia varten. (Cargo Sous Terrain, n.d. -c)

Cargo sous terrainin tarkoituksena on helpottaa teiden ja rautateiden kuormitusta siirtämällä kuljetuksia tunneleihin, sillä Sveitsin tavarankuljetusmäärien odotetaan kasvavan vuosien 2010 ja 2040 välillä 37 %, eikä Sveitsin nykyisten liikennereittien odoteta kestävän kyseistä kasvua. Lisäksi pientavaroiden jatkuvan kuljetuksen odotetaan vähentävän tilantarvetta, jolloin varastointi ei ole välttämätöntä. (Cargo Sous Terrain, n.d. -d)

IEE Spectrumin (Ackerman, 2022) mukaan hanke on alkanut jo vuonna 2016, mutta silloin projektin toteutuminen vaikutti vielä kovin kaukaiselta ajatukselta. Sveitsin parlamentti kuitenkin hyväksyi oikeudelliset puitteet joulukuussa 2021 maanalaisen tavaraliikenteen mahdollistamiseksi ja projekti sai luvan käynnistyä elokuussa 2022.

Tunnelin ensimmäinen osan on määrä aloittaa toimintannassa vuodesta 2031 alkaen. Se tulee yhdistämään Härkingen-Niederbipp-keskuksen Zürihiin ja se on noin 70 km pitkä sisältäen 10 liitäntäpistettä. (Cargo Sous Terrain, n.d. -c) Tunnelin ensimmäisen osan kustannusten arvioidaan olevan 3 miljardia Sveitsin frangia ja sen odotetaan vähentävän 20 prosenttia teiden kuljetustarpeista (Cargo Sous Terrain, n.d. -a). Tunneli laajenee asteittain muihin tärkeisiin jakelu- ja logistiikkakeskuksiin ja vuoteen 2045 mennessä on tarkoitus luoda yhteensä noin 500 kilometriä laaja tunneliverkosto, jonka haarat ulottuvat Baseliin, Luzerniin ja Thuniin (Cargo Sous Terrain, n.d. -c). Koko hankkeen kustannusten odotetaan olevan 33 miljardia Sveitsin frangia ja sen odotetaan vähentävän teiden kuljetustarpeita 40 prosenttia (Cargo Sous Terrain, n.d. -a).

Hankkeen takana oleva yritys on nimeltään Cargo sous terrain AG, jonka Presidentti on Marco Rosso. Se muodostaa kattojärjestön ja projektissa on mukana lukuisia Sveitsiläisiä yrityksiä kuljetus- logistiikka-, jälleenmyynti-, viestintä- ja energia-aloilta, jotka toimivat sijoittajina, osakkeenomistajina ja projektikumppaneina. (Cargo Sous Terrain, n.d. -b) Tällä hetkellä Sveitsiläisten sijoittajien osuus on 85 % (Cargo Sous Terrain, n.d. -a).

3 Tutkimusmenetelmät

Tässä kappaleessa kuvataan tutkimuksessa käytettävä tutkimusote ja tutkimusmenetelmä, sekä esitellään aineistonkeruumenetelmät ja analyysin toteutus. Kappaleen lopuksi arvioidaan tutkimuksen luotettavuutta.

3.1 Metodologian ja menetelmien valinta

Tieteellinen tutkimus voi olla teoreettinen tai empiirinen. Teoreettisessa tutkimuksessa käytetään hyväksi jo olemassa olevaa tietoa, kun taas empiirisen tutkimuksen perustana ovat teoreettisen tutkimuksen perusteella kehitetyt menetelmät. (Heikkilä, 2014, s. 12)

Empiiriset tutkimukset voivat olla erilaisia ja ne voidaan jakaa eri tyyppeihin esimerkiksi tutkimuksen tarkoituksen tai tutkimusotteen mukaan (Heikkilä, 2014, s. 13). Tutkimusote kertoo millainen tutkimus on (Juuti & Puusa, 2020, s. 9) ja se voi olla joko laadullinen eli kvalitatiivinen tai määrällinen eli kvantitatiivinen (Heikkilä, 2014, s. 14). Tutkimuksessa voi käyttää myös molempia tutkimusotteita, tällöin puhutaan menetelmätriangulaatiosta (Heikkilä, 2014, s. 14; Eskola & Suoranta, 1998, s. 49). Tässä työssä käytetään laadullista tutkimusotetta, sillä laadullinen tutkimus pyrkii vastaamaan esimerkiksi kysymyksiin miksi, millainen ja miten. Lisäksi laadullinen tutkimus keskittyy tavallisesti vain pieneen määrään tapauksia, jotka kuitenkin analysoidaan tarkasti. (Heikkilä, 2014, ss. 13–14)

Tutkimuksenmenetelmäksi on valittu tapaustutkimus. Se soveltuu hyvin lähestymistavaksi, kun tavoitteena on tuottaa kehittämisehdotuksia tutkimuksen keinoin (Moilanen, ym., 2015, s. 37). Eskolan ja Suorannan (1998, s. 44) mukaan tapaustutkimukset keskittyvät tavallisesti yhteen tapaukseen, mutta niissä voidaan myös tutkia useita tapauksia. Tapaus tarkoittaa tutkittavaa kohdetta (Vilka, 2021b, s. 126) ja tässä tutkimuksessa tapaus on MORE-teollisuusalue. Eskolan ja Suorannan (1998, s. 49) mukaan kaikki laadulliset tutkimukset ovat periaatteessa tapaustutkimuksia.

3.2 Aineiston keruu

Laadullisen tutkimuksen päämäärä vaikuttaa siihen, minkälaista aineistoa tutkija hankkii työhönsä (Aaltio & Puusa, 2020, s. 177). Tapaustutkimuksille on tyypillistä, että aineiston keruussa käytetään useita erilaisia menetelmiä (Moilanen, ym., 2015, s. 55). Tässä työssä empiirisen aineiston keruussa käytettiin aineistoriangulaatiota, eli aineistonhankinnassa käytettiin useita eri menetelmiä (Eskola & Suoranta, 1998, s. 49; Aaltio & Puusa, 2020, s. 177). Näitä olivat asiantuntijahaastattelu, työpaja sekä paneelikeskustelu.

3.2.1 Asiantuntijahaastattelu

Puusan (2020a, s. 100) mukaan erilaiset haastattelut ovat eniten käytettyjä tutkimusaineiston keruumetodeja laadullisissa tutkimuksissa ja niillä on metodinen etu, koska haastateltavaksi pystytään valitsemaan tutkittavasta aiheesta paljon tietäviä tai kokemusta omaavia henkilöitä. Tämän tutkimuksen asiantuntijahaastatteluun pyydettiin

Linnan kehityksen projektipäällikköä, koska hänellä on paljon tietoa MORE-alueen liikenteen nykytilanteesta ja tulevaisuuden suunnitelmista. Häneen vastuualueeseen kuuluu Vihreän siirtymän toimintaympäristö- vähähiilinen Industrial Park MORE-hanke.

Haastattelun voi toteuttaa monella tavalla ja siihen voidaan lähteä eri lähtökohdista (Puusa, 2020, s. 99). Alkukartoituksena pidetyn haastattelun tarkoituksena oli selvittää MORE-alueen liikenteen ja infrastruktuurin nykytilanne sekä lähitulevaisuuden suunnitelmat. Lisäksi sen tarkoituksena oli myös auttaa aihealueen rajauksessa.

Itse haastattelusta ja sen päivämäärästä sovittiin etukäteen sähköpostitse ja haastattelupäiväksi valittiin 21.4.2022. Ennen haastattelua haastateltavalta pyydettiin lupa haastattelussa saadun aineiston käyttöön sekä haastattelun nauhoittamiseen. Lisäksi haastattelukysymykset mietittiin valmiiksi yhdessä tilaajaorganisaation edustajan kanssa ennen haastattelua.

Asiantuntijahaastattelu oli tyyppiltään puoli strukturoitu. Tällä tarkoitetaan sitä, että kysymykset olivat ennalta määrättyjä, mutta haastateltava sai vastata kysymyksiin omin sanoin. Tämä eroaa strukturoidusta haastattelusta, jossa on annettu valmiiksi erilaisia vastausvaihtoehtoja. (Eskola & Suoranta, 1998, s. 63)

Haastattelu kesti noin tunnin ja se nauhoitettiin älypuhelimella. Lisäksi opinnäytetyön kirjoittaja teki muistiinpanoja tietokoneella. Kaikki haastattelukysymykset löytyvät liitteestä 1. Haastattelua täydennettiin myöhemmin 5.1.2023 yhdellä lisäkysymyksellä, johon käytettiin sähköpostia. Lisäkysymys löytyy liitteestä 2.

3.2.2 Työpaja

Älykäs liikenne-hanketta varten järjestettiin työpaja 12.10.2022 Hämeen ammattikorkeakoulun toimitiloissa Visamäessä. Työpajassa oli paikalla kaksi opinnäytetyön kirjoittajaa, edustajia neljästä eri MORE-teollisuusalueen yristyksestä sekä alan asiantuntijoita, esimerkiksi konsulttiyrityksen vanhempi asiantuntija sekä analytiikka-alan asiantuntija. Lisäksi paikalla oli taustaorganisaatioiden edustajia, joita olivat henkilöt HAMK Smartista, Linnan kehityksestä sekä Hämeen liitosta.

Työpaja sisälsi kaksi teemaa. Ensimmäisen teeman piti Linnan Kehityksen projektipäällikkö ja sen keskeisenä aiheena oli MORE-teollisuusalueen liikenteen ja logistiikan tulevaisuus vähähiilisessä ympäristössä. Ensimmäisen teeman vetäjä piti oman osionsa aluksi esittelyn käsiteltävästä aiheesta. Tämän jälkeen työpajoihin osallistuvat henkilöt jaettiin pienryhmiin. Ryhmiä pyydettiin listaamaan paperille MORE-alueen liikenteen ja logistiikan ongelmakohtia, älyliikenteen prioriteetteja MORE-alueella, huomionarvoisia asioita, joita erityisesti MORE-alueella tulisi ottaa huomioon sekä miten tulisi huomioida tämänhetkinen energiatilanne parhaalla mahdollisella tavalla. Työpajoihin osallistuvat henkilöt saivat listata vastauksia rajattomasti. Papereille kirjoitetut vastaukset kiinnitettiin taululle ja ne käytiin läpi työpajassa.

Työpajan toinen teema oli toteutustavaltaan samanlainen, kuin ensimmäinenkin. Toisesta teemasta vastasi HAMK Smart-tutkimusyksikön edustaja. Työpajan vetäjä piti oman esittelynsä käsiteltävistä asioista ennen työpajan toisen osion alkamista. Tämän jälkeen työpajoihin osallistuvat henkilöt jaettiin jälleen pienryhmiin ja heitä pyydettiin listaamaan vastauksia kahteen aiheeseen, joita olivat liikkumisen ja logistiikan kiireisimmät ja tärkeimmät kehittämisen kohteet yritysten näkökulmasta, sekä liikkumisen ratkaisut, jotka voisivat tuottaa lisäarvoa alueen yrityksille. Papereille kirjoitetut vastaukset kiinnitettiin taululle ja ne käytiin läpi työpajassa.

Työpajan jälkeen molempien osioiden vetäjät kirjoittivat käsinkirjoitetut vastaukset sähköiseen muotoon Microsoft Word-tekstinkäsittelyohjelmalla. Tämän jälkeen he toimittivat ne opinnäytetyön kirjoittajille sähköpostilla. Työpajan molempien osioiden kaikki aiheet ja kysymykset löytyvät liitteestä 3.

3.2.3 Paneelikeskustelu

Työpajojen yhteydessä 12.10.2022 ohjelmassa oli lisäksi paneelikeskustelu.

Paneelikeskusteluun osallistui ryhmänvetäjä, eli moderaattori, sekä 4 alan asiantuntijaa.

Moderaattorina toimi Linnan kehityksen edustaja. Panelisteja olivat HAMK Smart-tutkimusyksikön edustaja, konsultointiyrityksen edustaja, analytiikka-alan yrityksen edustaja sekä kuljetusliikkeen edustaja.

Paneelissa oli kaksi teemaa. Ensimmäiseen teemana oli älykkään liikenteen uudet palvelut ja toisena teemana oli älyliikenteen mahdollisuudet yrityksille. Paneelikeskustelu alkoi siitä, kun moderaattori esitteli itsensä sekä panelistit. Tämän jälkeen moderaattori esitti kysymyksen ja jakoi vastausvuoroja vuorotelle panelisteille. Paneelikeskustelu eteni samalla kaavalla kaikkien kysymysten osalta. Myös yleisö sai osallistua keskusteluun mukaan. Paneelikeskustelu kesti tunnin, jonka jälkeen moderaattori kiitti kaikkia osallistujia ja tilaisuus julistettiin päättyneeksi. Paneelikeskustelu myös nauhoitettiin ja siitä kerrottiin paneelikeskusteluun osallistuville ennen sen alkamista. Paneelikeskustelun teemat ja kysymykset löytyvät liitteestä 4.

3.3 Analyysin toteutus

Aineiston analyysillä pyritään luomaan selkeyttä aineistoon, joka tapahtuu tiivistämällä aineisto kadottamatta sen informaatiota (Eskola & Suoranta, 1998, s. 100). Puusan (Puusa, 2020b, s. 139) mukaan laadullisessa tutkimuksessa aineistoin analysointi liittyy tiiviisti aineiston hankintaan ja tutkijan läsnäolo aineiston hankinnassa käynnistää samalla jo aineiston analysoinnin.

3.3.1 Anonymisointi

Analysointi vaiheessa haastattelun-, työpajan- ja paneelikeskustelun tuloksia anonymisoitiin, jotta henkilöitä ei ole mahdollista tunnistaa. Anonymisoinnin tekniikkana käytettiin tunnistetietojen kategorisointia. Sillä tarkoitetaan tunnistettavien tietojen karkeistamista yleisemmälle tasolle (Kuula-Luumi & Ranta, 2017, s. 360).

3.3.2 Litterointi

Asiantuntijahaastattelun ja paneelikeskustelun analysointi aloitettiin litteroinnilla, joka tarkoittaa puheen purkamista kirjoitettuun muotoon (Vilka, 2021b, s. 110). Äänitetyt materiaalit litteroitiin Microsoft Word-tekstinkäsittelyohjelmalla. Asiantuntijahaastattelun litterointiin meni noin kolme tuntia ja paneelikeskustelun litterointiin noin neljä tuntia. Materiaalit litteroitiin sanatarkasti, eikä esimerkiksi äänen painotuksiin kiinnitetty huomiota.

3.3.3 Teema-analyysi

Empiirisen aineiston analysointiin käytettiin teema-analyysiä. Sen avulla aineistosta voidaan paikantaa tutkimuskysymyksen kannalta olennaisimmat aiheet tai ilmiöt. (Eskola & Suoranta, 1998, ss. 127–128). Analyysiyksiköt luokitellaan samankaltaisuuksien mukaan tai jo aineistonkeruuvaiheessa määriteltyihin kategorioihin. Teemoittelua voidaan myös jatkaa yhdistämällä samankaltaisia teemoja yläkategorioiksi. (Juuti & Puusa, 2020, ss. 147–148)

Tutkimuksessa kerätyn empiirisen aineiston teema-analyysissä käytettiin aineistolähtöistä lähestymistapaa. Aluksi samaa tarkoittavat asiat ja ilmaisut korostettiin samoilla väreillä Microsoft Word-tekstinkäsittelyohjelmassa. Näin samaa tarkoittavat ilmaisut oli helpompi tunnistaa toisistaan ja niiden perusteella oli helpompi muodostaa teemoja. Teemoja syntyi aluksi runsaasti ja esimerkiksi työpajan neljännen kysymyksen jälkeen materiaalista luotiin 10 teemaa.

Koska teemoja oli runsaasti, niistä luotiin yläkategorioita. Esimerkiksi teemat MaaS ja robottibussi pitivät molemmat sisällään 3 samaa tarkoittavaa asiaa ja niistä muodostettiin yläkategoria nimeltään julkinen liikenne. Teemoittelua jatkettiin niin kauan, kunnes lopulta oli kaksi teemaa, joita olivat tutkimuskysymykset. Lopuksi aineisto tulkittiin sekä selitettiin tutkimuksen tuloksiksi.

3.4 Tutkimuksen luotettavuus ja siirrettävyys

Tutkimuksen luotettavuutta voidaan arvioida validiteetin, eli pätevyyden avulla. Validiteetilla arvioidaan, että mitataanko tutkimuksessa juuri sitä, mitä oli tarkoituskin mitata. (Heikkilä, 2014, s. 27; Aaltio & Puusa, 2020, s. 170) Tätä tutkimusta voidaan pitää validina, koska tutkimuksessa saatiin käytetyillä menetelmillä vastaukset kahteen tutkimuskysymykseen.

Toinen yleisesti käytetty termi luotettavuuden arvioinnissa on reliabiliteetti, eli pätevyys, jolla viitataan tulosten tarkkuuteen. Reliaabeliusarviossa määritellään, onko kohdeilmiötä tutkittu luotettavasti valituilla mittareilla, eikä mittaja, mittaustilanne tai muut tekijät ole vaikuttaneet tutkimustuloksiin. (Aaltio & Puusa, 2020, s. 170; Heikkilä, 2014, s. 27) Eskolan ja Suorannan (1998, s. 155) mukaan myös kahden eri tutkimusmenetelmän käyttö parantaa

tutkimuksen reliabiliteettia. Tämän tutkimuksen reliabiliteettia ei voida määrittellä, koska tutkimusta on tutkinut vain yksi tutkija ja sitä on tutkittu vain yhtä tutkimusmenetelmää käyttäen.

Eskolan ja Suorannan (1998, s. 49) mukaan kvalitatiivisen tutkimuksen luotettavuuden arvioinnissa on näkemyksiä, joiden mukaan validiteetti ja reliabiliteetti eivät kuitenkaan sovellu kvalitatiivisen tutkimuksen luotettavuuden mittareiksi. Aaltion ja Puusan (2020, s. 170) mukaan arvioitaessa laadullista tutkimusta, sen siirrettävyyden arviointi voikin olla parempi tapa mitata laadullisen tutkimuksen luotettavuutta kuin validiteetti ja reliabiliteetti. Tällä tarkoitetaan tutkimustuloksien tarkastelua toisessa tutkimusympäristössä ja sen uudelleen tutkintaa siellä. Tämä tutkimus on siirrettävissä. Samoilla menetelmillä on mahdollista tehdä vastaava kartoitus myös muille alueille, käyttäen esimerkiksi samoja haastattelukysymyksiä ja työpajojen teemoja pohjana.

Tämä tutkimus on tehty lisäksi puolueettomasti ja rehellisesti. Tutkimuksessa on myös noudatettu eettisiä periaatteita koko tutkimuksen ajan, joka ilmenee esimerkiksi empiirisen aineiston anonymisointina. Tutkimuksen uskottavuuden päättää lopulta työn lukija, mutta sitä varten työssä käytetyt tutkimus- ja analysointimenetelmät on pyritty kirjoittamaan kattavasti.

4 Tulokset

Tässä kappaleessa esitetään tutkimuksen empiirisen aineiston analyysin päätulokset sekä arvioidaan teoreettisessa katsauksessa tarkastelun kohteena olleet reaali maailman pilotoinnit. Nämä tulokset ja arviot on strukturoitu tutkimuskysymyksittäin.

4.1 MORE-teollisuusalueen liikenteen infrastruktuurin kehittämiskohteet

Tähän alalukuun on strukturoitu empiirisen aineiston tulokset ja teoreettisen katsauksen arviot ensimmäiseen tutkimuskysymykseen, joka on: Kuinka MORE teollisuusalueen liikenteen infrastruktuuria tulisi kehittää, jotta se mahdollistasi hiilineutraalin älykkään liikenteen palvelut alueen yrityksille?

4.1.1 Tieliikenteen sähköistyminen

Liialliset tieliikenteen päästöt koettiin työpajan (Työpaja 12.10.2022) tulosten perusteella yhdeksi suurimmaksi MORE-teollisuusalueen ongelmakohtaksi ja tilanteen parantamiseksi parhaimmaksi vaihtoehdoksi arveltiin olevan tieliikenteen sähköistyminen. Teema nousi selvästi esille molemmista työpajan osuuksista ja kehittämissuunnitelmia sekä toiveita tuli vastaajilta useita. Niiden perusteella sähköautojen latausverkoston tulisi olla riittävän tiheä, toimiva ja helposti käytettävä.

Linnan kehityksen projektipäällikön (Asiantuntijahaastattelu, 21.4.2022) mukaan MORE-alueella kuljetetaan rahtia vain rekoilla ja kuorma-autoilla. Rautatieliikennettä ei ole, eikä sitä ole alueelle suunniteltu. Näin ollen MORE-alueen liikenteen päästöt koituvat pelkästään tieliikenteestä ja tämän perusteella tieliikenteen sähköistymisen tukeminen voikin olla perusteltua.

Tieliikenteen sähköistymistä tukee myös paneelikeskustelun (Paneelikeskustelu, 12.10.2022) tulokset, sillä panelistit kokivat tieliikenteen sähköistymisen todennäköisempänä vaihtoehtona tulevaisuuden käyttövoimista. Lisäksi teoreettisen katsauksen perusteella liikenteen sähköistymisen tukeminen olisi tärkeää, sillä monien ennusteiden mukaan autonomisten ajoneuvojen odotetaan toimivan tulevaisuudessa sähköllä (Sjafrie, 2020, s. 38). Tämä näkyi selvästi teoreettisessa katsauksessa tarkastelluissa reaali maailman pilotoinneissa, missä lähes kaikissa pilotoinneissa ajoneuvoina oli sähkökäyttöisiä ajoneuvoja.

4.1.2 Sähköautojen langaton lataus

Sähköautojen langaton lataus koettiin tärkeäksi liikenteen infrastruktuurin kehittämiskohteeksi työpajan tulosten (Työpaja 12.10.2022) perusteella ja niitä voitaisiin vastausten perusteella sijoittaa HCT-centerin yhteyteen sekä alueen yrityksiin. Linnan kehityksen projektipäällikön (Asiantuntijahaastattelu, 21.4.2022) mukaan langattomia latauspisteitä on jo suunniteltu tulevan HCT-centerin yhteyteen ja niiden on tarkoitus tukea henkilöautoja ja raskasta liikennettä. Teoreettisen katsauksen perusteella sähköautojen langattoman latauksen tukeminen on perusteltua, sillä automaattiset ajoneuvot voisivat

tällöin ladata itse itseään. Myös yksi panelisteista (Paneelikeskustelu, 12.10.2022) korosti, että lähes kaikki tämän hetkiset automaattiset ajoneuvot ovat sähkökäyttöisiä ja tämä vaatii tulevaisuudessa latausinfrastruktuurilta myös sitä, että ajoneuvot voivat mennä itse lataamaan itseään. Sähköautojen langaton lataus on lisäksi jo toimiva ratkaisu, sillä teoreettisessa katsauksessa tarkasteltu sähkötaksien langaton latausinfrastruktuuri Oslossa vaikutti toimivalta ratkaisulta. Jaguar I-PACE-merkkinen taksi yksinkertaisesti ajoi taksiasemalle maahan asennetun langattoman latausalustan päälle ja latasi itseensä energiaa noin 50 kilowatti-teholla.

4.1.3 Julkisen liikenteen kehittäminen

Julkisen liikenteen rajoittunut tilanne MORE-alueella nousi alkukartoiutushaastattelun perusteella yhdeksi potentiaalisimmista liikenteen infrastruktuurin kehityskohteeksi, sillä Linnan kehityksen projektipäällikkö (Asiantuntijahaastattelu, 21.4.2022) haastatteli 22 MORE-alueen yrityksen edustajaa ja heidän mukaansa melkein kukaan heidän työntekijöistään ei käytä julkista liikennettä. Syynä tähän on se, ettei sitä ole tarjolla enempää. Monet MORE-alueen yrityksistä operoivat 3-vuorossa ja bussit kulkevat alueella vain toimistoaikojen mukaan, eikä muuta julkista liikennettä kulje alueelle.

Työpajaan (Työpaja 12.10.2022) osallistujat pitivätkin julkisen liikenteen kehittämistä tärkeänä kehitys kohteena ja vastaajat toivoivat, että oman auton käytöstä voitaisiin luopua tulevaisuudessa kokonaan. Tähän heidän mielestään parhaimpia ratkaisuita olisivat robottibussi sekä MaaS-palvelut, joista jälkimmäisen tulisi ulottua laajalle alueelle.

Teoreettisen katsauksen perusteella MaaS-palveluiden saaminen lähitulevaisuudessa MORE-alueelle on kuitenkin epätodennäköistä, sillä MaaS Globalin Whim-sovellus toimii Suomessa tällä hetkellä vain Helsingissä sekä Turussa. Lisäksi MaaS Global on tehnyt runsaasti tappiota perustamisestaan lähtien sekä ajautunut yrityssaneeraukseen ja tämän perusteella onkin epätodennäköistä, että MaaS Global tulee laajentamaan toimintaansa MORE-alueelle lähitulevaisuudessa. Yksi syy MaaS Globalin heikolle tulokselle voi olla sovelluksen hinta, sillä kaiken kattava Whim Unlimited maksaa tällä hetkellä 699 euroa ja Liljamon (2020, s. 43) väitöskirjan kyselytutkimuksen tulosten perusteella ihmiset ovat valmiita maksamaan

keskimäärin vain 139 euroa kattavasta MaaS-palvelusta. Lisäksi MaaS oli Liljamon kyselytutkimuksen tulosten perusteella terminä ihmisille tuntematon.

Työn teoreettisen katsauksen perusteella Robottibussi olisikin potentiaalisempi älyliikenteen ratkaisu MORE-alueelle, sillä robottibusseja on pilotoitu runsaasti ja teoreettisessa katsauksessa tarkastellussa FABULOS-projektissa käytetyt robottibussit selvisivät ankarista talviolosuhteista ja Oslon suurista mäistä. Tämä on merkittävä ominaisuus, sillä toinen teoreettisen katsauksen pilotointi SOHJOA täytyi keskeyttää talvisen ilman vuoksi. Moreenissa on myös mäkiä, johon esimerkiksi ulkomaalaiset rekkakuskit ovat jääneet talvisin jumiin useammiksi tunneiksi (Asiantuntijahaastattelu, 21.4.2022). Lisäksi robottibussit ovat kehittyneet muutenkin teknologialtaan, sillä esimerkiksi SOHJOA-projektissa käytetyt robottibussit kulkivat vain 5-12 km/h-tuntinopeudella kun SOHJOA-projektissa ne kulkivat jo 40 km/h.

Tutkimuksen teoreettisessa katsauksessa tarkasteltiin myös kolmatta robottibussi-hanketta, mutta pilottiohjelma oli kuitenkin vielä kesken opinnäytetyöprojektin aikana, joten sen tuloksista ei löytynyt tietoa. CAVForrht oli kuitenkin mielenkiintoinen hanke, sillä kyseissä pilotoinnissa käytettiin täysikokoisia automaattisia linja-autoja, joiden huippunopeus on 80 km/h. Lisäksi niiden suunniteltu reitti oli huomattavasti pidempi kuin kahden muun tarkastelun kohteena olevan pilotoinnin reitit olivat. CAVForth-projektissa käytetyt linja-autot ovat kuitenkin dieselkäyttöisiä, joten ne eivät toimiessaan toisi kuitenkaan samanlaista hyötyä MORE-alueen hiilineutraalisuustavoitetta ajatellen, kuin sähköllä toimivat robottibussit. Pilotoinnin onnistuessa tekniikka voisi kuitenkin tulevaisuudessa mahdollisesti toimia myös sähkökäyttöisten linja-autojen kohdalla ja näin ollen voisi olla tulevaisuudessa ratkaisu MORE-alueen rajoittuneeseen julkisen liikenteen tilanteeseen.

Robottibussit voisivat lisäksi olla alkukartoitushaastattelun (Asiantuntijahaastattelu, 21.4.2022) perusteella kaikkein konkreettisin älyliikenteen palvelu MORE-alueelle. Linnan kehityksen projektipäällikön mukaan MORE-alueella ei ole vielä käytössä älyliikennettä, eikä sitä ole siellä vielä kokeiltu, mutta robottibussi olisi kuitenkin mahdollista saada alueen käyttöön nopeallakin aikataululla. Haastateltava arvioi, että älybussi voisi kuljettaa työntekijöitä alueen yrityksiin esimerkiksi Hämeenlinnasta tai Janakkalasta tai se voisi vaihtoehtoisesti operoida HCT-centerin ja rekkaparkin välillä.

4.1.4 Sensoriteknologian hyödyntäminen

Sensoriteknologian hyödyntäminen on työpajan (Työpaja 12.10.2022) tulosten perusteella potentiaalinen liikenteen infrastruktuurin kehittämiskohde, sillä vastaajien mielestä optimoinnin avulla on mahdollisuuksia pienentää alueen päästöjä. Sensoriteknologian hyödyntäminen osana infrastruktuuria vaikuttaa myös teoreettisen katsauksen perusteella potentiaaliselta infrastruktuurin kehittämiskohteelta MORE-alueelle, sillä tarkastelun kohteena ollut Hampurin satama on pystynyt sensoriteknologian avulla pienentämään satama-alueen ruuhkia 15 prosenttia ja vähentämään sataman käyttökustannuksia 75 prosenttia. Linnan kehityksen projektipäällikön (Asiantuntijahaastattelu, 21.4.2022) mukaan MORE-alueella on selvitetty sensoriteknologian hyödyntämistä jo vuoden 2021 joulukuusta lähtien.

4.1.5 V2I-viestintä

V2I-viestintä on teoreettisen katsauksen perusteella potentiaalinen liikenteen infrastruktuurin kehittämisen kohde MORE-teollisuusalueelle. Tarkastelun kohteena ollut Green4TransPORT-pilotointi Hampurissa osoittautui toimivaksi kokeiluksi ja pilotoinnista kerätyn datan perusteella samalla reitillä voitaisiin vuoden aikana pienentää CO₂-päästöjä 190 tonnia. Vaikka Linnan kehityksen projektipäällikön (Asiantuntijahaastattelu, 5.1.2023) mukaan MORE-alueella ei ole liikennevaloja, voi tilanne olla tulevaisuudessa toinen. Lisäksi liikennevalojen ja rekkujen välinen viestintä oli teoreettisen katsauksen perusteella vain yksi esimerkki V2I-viestinnästä ja sillä on myös muita potentiaalisia käyttökohteita, kuten tieverkon käytön optimointi ja monenlaiset turvallisuuteen liittyvät varoitukset.

4.1.6 Nopeat tietoliikenneyhteydet

Teoreettisen katsauksen perusteella nopeiden tietoliikenneyhteyksien tukeminen on tärkeä infrastruktuurin kehittämiskohde, sillä monet tutkimuksessa tarkastelluista älyliikenteen palveluista vaativat 5g-yhteyksiä ja Hampurin satamassa on käytössä valokuiturunko. Koko yritysalueen kattavat nopeat tietoliikenneverkot nousi myös yritysten mielestä tärkeäksi infrastruktuurin kehittämiskohdaksi työpajan tulosten perusteella (Työpaja 12.10.2022).

4.1.7 Sisäisen logistiikka

Linnan kehityksen projektipäällikön (Asiantuntijahaastattelu, 21.4.2022) mukaan alueella ei vielä ole sisäisen logistiikan palveluita, vaikka niille olisi kuitenkin hänen mukaansa ehdottomasti tarvetta. Puutteet sisäisessä logistiikassa nousivat myös esille työpajassa (Työpaja, 12.10.2022).

Teoreettisen katsauksen perusteella liikenteen automaatio ei vielä kuitenkaan mahdollista sisäiseen logistiikkaan tarkoitettuja robottirekkoja, vaikka Einride Pod onkin jo julkaissut Podeilleen kaupallisia hintoja. Teoreettisessa katsauksessa tarkasteltu Einriden ja GE Appliancesin välinen pilotointi oli vain 2 viikon mittainen ja se oli ensimmäinen laatuaan. Podin saaminen MORE-alueelle onkin vielä kovin epävarmaa ja Podit tarvitsevat todennäköisesti vielä paljon lisää pilotointeja ennen kuin ovat valmiita MORE-alueelle. Tulevaisuudessa kuitenkin Pod tai jokin vastaava pienikokoinen ja sähkökäyttöinen robottirekka voisi soveltua MORE-alueelle sisäisen logistiikan robottirekaksi sekä myös Karanojan kiertotalous-alueelle. Linnan kehityksen projektipäällikön (Asiantuntijahaastattelu, 21.4.2022) mukaan Linnan kehityksellä on käynnissä älyliikenneselvitys yhdessä Kiertokapulan kanssa, sillä kiertotalousalue on tärkeä älyliikennettä silmällä pitäen ja selvityksen tarkoituksena on selvittää minkälaisia älyliikenteen palveluita Karanojan-alueelle voidaan tarjota.

4.1.8 Robottitaksit

Robottitaksit eivät nousseet työpajan teemaksi, eikä niistä keskustelu asiantuntijahaastattelussa tai paneelikeskustelussa. Teoreettisessa katsauksessa tarkasteltiin kuitenkin kahta robottitaksipalveluita tarjoavaa yritystä, sillä robottitaksit voivat olla tulevaisuudessa potentiaalinen älyliikenteen innovaatio MORE-teollisuusalueelle.

Tarkastelun kohteena olivat Yhdysvalloissa toimivat robottitaksipalvelut Waymo One ja Cruise, joiden robottitakseissa ei ole kuljettajaa mukana. Niitä kuitenkin tarkkaillaan vielä etänä. Vaikka molemmat palveluntarjoajat ovat kansainvälisesti melko tunnettuja, löytyi niistä yllättävän vähän tietoa yrityksien nettisivujen lisäksi. Molempia taksipalveluita oli kuitenkin testattu eri lehtien toimittajien toimesta ja molempien tarkasteluun valittiin yksi

kokemus. Kokemuksien mukaan robottitaksien hinta ei vielä tällä hetkellä ole huomattavasti halvempi verrattuna perinteisiin takseihin, eivätkä itse kuljetuksetkaan eronneet reporttereiden mukaan perinteisistä taksimatkoista. Ne voivatkin olla teoreettisen katsauksen perusteella jo luotettavia hyvällä säällä. Cruisen testauksen kohdalla sattui kuitenkin sadepäivä ja ajo täytyi keskeyttää turvallisuussyistä. Myös The Vergen (Hawking, 2022) uutisen mukaan Waymo One kamppailee samoista ongelmista. Tämän perusteella kumpikaan taksipalveluista ei soveltuisi vielä MORE-alueelle, vaikka ne olisi mahdollista sinne saada. Niiden täytyisi selvittää MORE-alueen kohdalla myös lumesta ja jäädästä.

4.1.9 Aurinkopaneelitie

Teoreettisen katsauksessa tarkasteltu aurinkopaneelitie ei ollut toimiva ratkaisu ja ei näin ollen sovellu MORE-alueelle. Projektista vastannut yritys onkin siirtynyt valmistamaan aurinkopaneeleita pienempiä käyttötarkoituksia varten, esimerkiksi liikennekameroiden virtalähteiksi. Ideana energiaa keräävä tie on kuitenkin hyvä. Jos tulevaisuudessa keksitään toimiva ratkaisu energian keräämiseksi tiestä, saisi sen keräämällä energialla pidettyä esimerkiksi eritasoliittymän sulana talvisin.

4.1.10 Cargo sous terrain

Teoreettisessa katsauksessa tarkasteltu tulevaisuuden Cargo sous terrain-logistiikka-järjestelmä ei ole potentiaalinen liikenteen infrastruktuurin kehittämisen kohde MORE-alueelle. Vaikka se ei sovellu MORE-alueelle, soveltuu se käyttötarkoitukseensa, eli Sveitsiin. Sen odotetaan vähentävän jopa 40 % maanteillä tapahtuvasta rekkaliikenteestä. Projekti otettiin teoreettisen tarkastelun kohteeksi, sillä ehkä kauempana tulevaisuudessa MORE-alueellakin voitaisiin miettiä vaihtoehtoisia kuljetusmuotoja perinteisten maanteitse tapahtuvien kuljetusten lisäksi.

4.2 Potentiaalisimmat teollisuuden älyliikenteen palvelut MORE-alueella

Tähän alalukuun on strukturoitu empiirisen aineiston tulokset ja teoreettisen katsauksen arviot toiseen tutkimuskysymykseen, joka on: Mitkä ovat potentiaalisimmat teollisuuden

älyliikenteen palvelut, jotka tehostavat yritysten toimintaa ja edistävät liikenteen vihreää siirtymää?

4.2.1 Sensoriteknologian ja data-analytiikan hyödyntäminen

Työpajan (Työpaja 12.10.2022) tulosten perusteella MORE-teollisuusalueelle tärkeä teollisuuden älyliikenteen palvelu, joka voisi tehostaa yritysten toimintaa on sensoriteknologian ja data-analytiikan hyödyntäminen kuljetuksissa. Tämä mahdollistaa kuljetusten optimoinnin ja se pitää vastaajien mielessä sisällään esimerkiksi reittisuunnittelun optimoinnin, ennustettavat matka-ajat sekä raskaan liikenteen täyttö- ja käyttöasteen optimoinnin.

Myös teoreettisen katsauksen perusteella sensoriteknologian hyödyntämisestä hyötyvät kaikki logistiikan arvoketjun osapuolet ja on potentiaalinen teollisuuden älyliikenteen ratkaisu MORE-alueen yrityksille. Tarkastelun kohteena ollut Audin tehdas Saksassa on ottanut käyttöönsä jo vuosia sitten automaattisen logistiikan seurannan, joka helpottaa sekä Audin tehtaan henkilöstöä sekä rahdin kuljettajia. Tämä säästää Audin mukaan paljon aikaa ja sama tekniikka on mahdollista ottaa käyttöön myös MORE-alueen yrityksille. Tämä oli lisäksi vain yksi esimerkki sensoriteknologian hyödyntämisestä.

Lisäksi paneelikeskustelun (Paneelikeskustelu, 12.10.2022) tulosten perusteella tekniikka datan keräämiseksi on jo kunnossa ja yritykset voisivat panelistien mielestä tehdä datan avulla myös liiketoimintaa. Esimerkiksi 5g-yhteydet mahdollistavat datan suuren määrän keräämisen rekoista ja kuljetusliikkeet voisivat ruveta tarjoamaan palveluita kerätyn datan perusteella. Paneelikeskustelun tulosten perusteella dataa ei vielä kuitenkaan osata hyödyntää optimaalisesti ja sitä pitäisi jakaa avoimemmin, jotta sen avulla voitaisiin tehdä parempia päätöksiä. Suurin ongelma datan jakamisessa oli panelistien mielestä datan varastointi useilla eri palveluntarjoajilla, jonka kokoaminen rajoittaa sen hyödyntämisessä.

4.2.2 Digitaalinen alusta

Digitaalinen alusta olisi tärkeä alueen yritysten liiketoiminnalle työpajan (Työpaja 12.10.2022) tulosten perusteella. Alustaa koskien tuli paljon erilaisia ehdotuksia ja

kannatusta sai esimerkiksi yksi yhteinen digialusta elinkeinoelämän tarpeisiin, joka pitäisi sisällään kaiken logistiikasta henkilöliikenteeseen. Lisäksi ehdotettiin esimerkiksi omaa alustaa kiertotaloudelle ja logistiikalle, joista jälkimmäisen tulisi pitää sisällään reittisuunnittelun, kuormasuunnittelun, kaluston hallinnan ja resurssien hallinnan. Alkukartoitushaastattelun (Asiantuntijahaastattelu, 21.4.2022) perusteella HCT-centerin yhteyteen on suunnitteilla MORE-alusta, jonka avulla pystyisi esimerkiksi tekemään varauksia HCT-parkin palveluihin, kuten varata etukäteen langattoman latauspaikan sähköajoneuville.

4.2.3 V2V-viestintä

Työpajan (Työpaja 12.10.2022) tulosten perusteella rekkojen saattueajo on potentiaalisen älyliikenteen palvelu, joka voisi tehostaa yritysten toimintaa ja samalla edistää vihreää siirtymää. Ajoneuvojen välinen viestintä on myös teoreettisen katsauksen perusteella potentiaalinen älyliikenteen palvelu, joka mahdollistaa rekkojen saattueajon lisäksi esimerkiksi turvallisemmat kuljetukset.

4.2.4 Sähkörekkojen tukeminen

Sähkörekkojen tukeminen voisi työpajan (Työpaja 12.10.2022) tulosten perusteella hyödyttää MORE-alueen yritysten liiketoimintaa, jos se pitää sisällään esimerkiksi ajonaikaisen latauksen sähkörekoille. Sähkörekkojen tukeminen voisi olla myös alkukartoitushaastattelun perusteella tarpeellista, sillä Linnan kehityksen projektipäällikön (Asiantuntijahaastattelu, 21.4.2022) mukaan raskaan liikenteen määrät ovat kasvussa MORE-alueella. Tämä ilmenee alueelle alkuvuodesta 2022 tehdystä logistiikka selvityksestä, jota varten Linnan kehityksen projektipäällikkö keskusteli 22 yrityksen kanssa, joilla on jotain tekemistä raskaan liikenteen kanssa. Selvityksen mukaan alueella kulkee kuukauden aikana noin 170 tuhatta raskaanliikenteen kulkuneuvoa vuodessa. Alueella on tehty 2 vuotta aiemmin vastaava selvitys ja näiden selvitysten mukaan raskaan liikenteen lukumäärä on noussut alueella yli 3000 yksikköä 2 vuoden aikana.

Paneelikeskustelun (Paneelikeskustelu, 12.10.2022) tulosten perusteella tieliikenteen sähköistymisen vaikuttaa kuitenkin lähitulevaisuudessa kuljetuksien osalta enemmän lyhyen

matkan liikenteeseen ja panelistit epäilivät raskaan liikenteen kuljetuksien kohdalla sähkökäyttöisyyden toimivuutta, sillä Suomi on pitkä maa ja sähköajoneuvojen latausverkosto on hajanainen. Raskaan liikenteen muuntaminen sähkökäyttöiseksi vaatisi myös suuria alkuinvestointeja, jonka lisäksi kiinteistöinfrastruktuuri tulisi valmistella raskaiden ajoneuvojen lataamiseen, joka tarkoittaa riittävää latauspaikkojen määrää ja riittävän suurilla latausnopeuksilla. Paneelikeskustelussa esille nousi kuitenkin akkuteknologian kehittyminen tulevaisuudessa, joka mahdollistaisi pienemmät akut sähköajoneuvoille ja voisi siten vaikuttaa positiivisesti myös pitkän matkan kuljetuksiin.

Teoreettinen katsaus perusteella sähkörekkojen tukeminen voi olla perusteltua, sillä maailmalla on pilotoitu erilaisia sähköteitä, jotka mahdollistavat ajonaikaisen latauksen ja näin ollen sähkörekat voisivat kulkea pidempiä matkoja pysähtymättä. Lisäksi sähköteit voidaan mahdollistaa autonomisten ajoneuvojen itsenäisen ajamisen tulevaisuudessa. Tarkastelun kohteena olivat Electreonin langattomaan tekniikkaan perustuva Smartroad Gotland-pilotointi ja kosketukseen perustuva Siemensin eHighway E16-pilotointi. Smartroad Gotland-hankkeen alkuperäinen kokeilujakso tuli päätökseen vuoden 2020 syksyllä ja sinä aikana sähköbussi ja sähkörekka latautuivat onnistuneesti langattomasta 1,65 kilometrin pituisesta sähkötiestä keskimäärin 70 kW teholla ja jopa 80 km/h-tuntinopeudella. Pilotointi oli kaikesta päätellen onnistunut, sillä Ruotsin liikennevirasto päätti jatkaa pilotointia ja sen määrä päättyä vuoden 2023 syksyllä. Pilotoinnissa käytetty Electreonin langaton sähkötie voisi soveltua hyvin MORE-alueelle, sillä se toimii talvisissakin olosuhteissa. Siemens eHighway-järjestelmää pilotoitiin vuodesta 2016 lähtien kahdessa Scanian hybridirekassa, jotka ajoivat sähköistettyä kahden kilometrin tieosuutta E16-moottoritieellä. Pilotointi kesti 2 vuotta ja järjestelmän kerrottiin osoittautuneen toimivaksi. Ajojohtimia on kaavailtu kuitenkin käytettäväksi vain päätteillä, kuten E16-pilotoinnissakin tehtiin. Näin ollen hybridirekat voisivat silti saastuttaa MORE-alueella, vaikka toimisivatkin sähköllä esimerkiksi MORE-alueen vieressä kulkevalla moottoritieellä. Teoreettisen katsauksen perusteella e-Highway-järjestelmä voi olla potentiaalinen tulevaisuuden ratkaisu esimerkiksi Hämeenlinnan ja Helsingin väliselle moottoritielelle, mutta MORE-alueelle parempi ratkaisu voisi olla langaton lataustie, sillä langaton tekniikka on turvallisempi kuin langallinen ja langaton tekniikka mahdollistaa myös pienempien ajoneuvojen ajamisen sähköllä. Induktioon perustuva sähkötie voi olla kuitenkin kallis toteutukseltaan, sillä esimerkiksi

Smartroad Gotlandin jatko sai 2 miljoonan euron lisäbudjetin ja sen aikana sähkötiestä päivitetään vain 400 metriä.

4.2.5 Kuljetusrobotit

MORE-alueen yritykset kokivat työpajan (Työpaja 12.10.2022) tulosten perusteella viimeisen mailin kuljetusten tehostamisen tärkeäksi liiketoiminnalleen niin tavara- kuin pakettiliikenteen osalta. Teoreettisen katsauksen perusteella potentiaalisin ratkaisu tähän on toistaiseksi robottikuljetin. Tarkastelun kohteena ollut HOK-Elannon ja Starship Technologiesin välinen puolen vuoden pilotti vaikutti onnistuneelta kokeilulta, sillä robottikuljettimet palvelivat realistia asiakkaita ja kuljettivat tuhansia tilauksia viikossa. Niiden teknologinen taso oli jo sillä tasolla, että ne voisivat sopia MORE-alueelle pilotointiin jo nyt. Myös toinen teoreettisen katsauksen kuljetusrobotti-pilotointi LMAD:n ja DB Schenkerin välillä vaikutti lupaavalta. Pakettirobotti palveli oikeita asiakkaita 7 viikkoisen pilottijakson aikana ja mukana oli yli 10 verkkokauppaa. Vaikka pakettirobotti ei vielä kulkenut pilotoinnissa täysin yksin, voisi se soveltua MORE-alueelle pilotoitavaksi jo nyt.

4.2.6 Pitkän matkan robottirekat

Paneelikeskustelussa (Paneelikeskustelu, 12.10.2022) esille nousi keskustelu pitkän matkan rekkojen automaatiosta ja panelistit olivat sitä mieltä, että pitkän matkan robottirekkoja joudutaan odottamaan vielä pitkään. Myös teoreettisen katsauksen perusteella pidempien matkojen robottirekkojen yleistymistä joudutaan odottamaan todennäköisesti kauan, sillä tarkastelun kohteena ollut TU Simplen ajotekniikalla varusteltu puoliperävaunun pilotointi oli vasta ensimmäinen ajo ilman turvatiimiä tai turvakuljettajaa joulukuussa 2021. Teoreettisen katsauksen perusteella suurempien rekkojen automaatio mahdollistaa tällä hetkellä automaatioajon maanteillä, jolloin kuskit voivat hoitaa muita askareita ajon aikana.

4.2.7 HCT-center

Vaikka MORE-alueella kulkee paljon raskasta liikennettä, ei siellä kuitenkaan ole Linnan kehityksen projektipäällikön (Asiantuntijahaastattelu, 21.4.2022) mukaan mitään palveluita raskaalle liikenteelle. Tämä onkin tärkeä kehittämiskohde ja tätä varten on suunnitteilla uusi

HCT-center eritasoliittymän yhteyteen. Sen lopullisesta sijainnista ei ole vielä kuitenkaan varmaa tietoa, mutta sen on määrä valmistua vuosien 2025-2026 aikana. HCT-center on alkukartoitushaastattelun perusteella tärkeä myös älyliikennettä ajatellen ja kaiken suunnittelutyön älyliikennettä koskien tulisi olla valmiina vuosien 2025-2026 aikana, sillä palveluita tarvitaan heti kun rakennustyöt ovat valmiina.

HCT-center koettiin myös työpajan (Työpaja 12.10.2022) tulosten perusteella tärkeäksi MORE-teollisuusalueen yritysten näkökulmasta ja vastaajat arvelivat, että sen avulla pystytään erottautumaan kilpailijoista. Lisäksi HCT-centeriin voitaisiin työpajan tulosten perusteella integroida älyliikenteen palveluita, kuten kuljetusrobotti, joka voisi kuljettaa tavaraa HCT-centeristä alueen yrityksille.

Linnan kehityksen projektipäällikön (Asiantuntijahaastattelu, 21.4.2022) mukaan HCT-centerille on paljon kysyntää ja Linnan Kehitys on saanut esimerkiksi Vuosaaren satamaviranomaisilta suosituksen vastaavasta paikasta kuin HCT-center, koska Vuosaarissa on valtava ylikuormitus ja Hämeenlinna on logistisesti loistavassa paikassa. Haastateltava kertoi, että HCT-centeriin on suunniteltu esimerkiksi lentokentältä tai satamasta tulevalle raskaalle liikenteelle paljon levähdyspaikkoja ja useita kymmeniä rekkaparkkeja, joissa tulee olemaan tarpeeksi tilaa myös rekkojen purku- ja lastaustoimenpiteitä varten. Lisäksi suunnitteilla on palvelukeskus, joka tulee mahdollisesti pitämään sisällään monipolttoainejakelua, sähköautojen langattomia latauspisteitä, ravintolapalveluita sekä palveluita raskaanliikenteen kuskeille.

5 Pohdinta

Tutkimuksen viimeisessä kappaleessa tiivistetään aluksi tutkimuksen keskeiset löydökset kahteen tutkimuskysymykseen, jonka jälkeen tutkimuksen yhteenvedossa arvioidaan älyliikenteen nykytilaa ja älyliikenteen tulevaisuutta MORE-alueella. Kappaleessa esitellään myös tutkimustulosten perusteella kehitysehdotuksia tilaajaorganisaatiolle, arvioidaan valittujen menetelmien aiheuttamia rajoituksia ja jatkotutkimusmahdollisuuksia, sekä analysoidaan tulosten merkittävyyttä ja hyödynnettävyyttä.

5.1 Tutkimuksen tulokset

5.1.1 MORE-teollisuusalueen liikenteen infrastruktuurin kehittämiskohteet

MORE-teollisuusalueen liikenteen infrastruktuuria tulisi kehittää siten, että se tukee tieliikenteen sähköistymistä. Tätä tukevat alkukartoitushaastattelun, työpajan ja paneelikeskustelun tulokset, sekä teoreettinen katsaus. Sähköautoilun osalta myös sähköautojen langaton lataus on empiirisen aineiston tuloksien ja teoreettisen katsauksen perusteella potentiaalinen liikenteen infrastruktuurin kehittämiskohde MORE-teollisuusalueelle.

Toinen merkittävä infrastruktuurin kehittämiskohde on sensoriteknologian hyödyntäminen, joka on työpajan tulosten perusteella tärkeä tekijä kun mietitään hiilineutraaleja älyliikenteen palveluita MORE-alueelle. Tätä tukee myös teoreettinen katsaus, sillä tarkastelun kohteena ollut Hampurin satama on sensoriteknologian avulla pystynyt pienentämään merkittävästi tieliikenteen päästöjä.

Kolmas liikenteen kehittämiskohde on julkisen liikenteen kehittäminen. Työpajan tulosten perusteella paras ratkaisu tähän olisi MaaS-palvelut ja robottibussi. MaaS-palvelut eivät kuitenkaan teoreettisen katsauksen perusteella ole saatavilla lähiaikoina MORE-alueelle ja siksi robottibussi olisikin potentiaalisin ratkaisu alueelle lyhyellä aikavälillä tarkasteltuna. Se olisi lisäksi asiantuntijahaastattelun perusteella mahdollista saada MORE-alueen käyttöön nopealla aikataululla.

Neljäs liikenteen infrastruktuurin kehittämiskohde on V2I-viestinnän tukeminen. Se ei noussut esille empiirisestä aineistosta, mutta teoreettisen katsauksen perusteella sillä voidaan pienentää liikenteen päästöjä jo nyt.

Viides tärkeä liikenteen infrastruktuurin kehittämiskohde on nopeat tietoliikenneyhteydet. Tutkimuksessa ei varsinaisesti tutkittu tietoliikenneyhteyksiä, mutta asia nousi esille sekä työpajassa ja paneelikeskustelussa, lisäksi tätä tukee myös teoreettinen katsaus.

5.1.2 Potentiaalisimmat teollisuuden älyliikenteen palvelut MORE-alueella

Potentiaalinen teollisuuden älyliikenteen palvelu, joka voisi tehostaa yritysten toimintaa MORE-alueella on sensoriteknologian ja data-analytiikan hyödyntäminen. Sensoriteknologia mahdollistaa kuljetusten optimoinnin ja sitä pidettiin työpajan tulosten perusteella yhtenä tärkeimmistä älyliikenteen palveluna, joka voisi tehostaa yritysten toimintaa jo nyt. Tätä tukee myös teoreettinen katsaus.

Toinen potentiaalinen älyliikenteen ratkaisu MORE-alueen yrityksille on V2V-viestintä. Työpajassa rekkojen saattueajon arveltiin olevan yksi älyliikenteen mahdollistamista tekniikoista, joka voi parantaa alueen yritysten tehokkuutta. Tätä tukee myös teoreettinen katsaus.

Kolmas potentiaalinen älyliikenteen ratkaisu alueen yrityksille on robottikuljettimet. Työpajan tulosten perusteella robottikuljettimilla on potentiaalia parantaa viimeisen mailin kuljetuksia, niin tavaroiden kuin pakettienkin osalta. Myös teoriakatsauksen perusteella robottikuljettimet ovat potentiaalisia älyliikenteen palveluita.

Neljäs potentiaalinen älyliikenteen mahdollistama ratkaisu oli työpajan tulosten perusteella digitaalinen alusta, joka voi hyödyttää alueen yrityksiä esimerkiksi reittisuunnittelussa, kuormasuunnittelussa ja kaluston hallinnassa.

5.1.3 Yhteenveto

MORE-teollisuusalueen tavoitteena on olla täysin hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Tavoitteeseen pääseminen ei välttämättä ole helppoa, sillä pelkästään nykyisillä liikennejärjestelyillä sitä ei tulla saavuttamaan. Tavoitteisiin pääseminen vaatiikin muutoksia käyttövoimissa, sillä autonomiset kulkuneuvot eivät ole vielä itsessään ratkaisu päästöongelmiin, jos ne toimivat polttomoottoreilla. Esimerkiksi työn teoreettisessa katsauksessa tarkastelu TU-Simplen rekka ja CAVForth-projekti ovat esimerkkejä diesel-käyttöisistä automaattoratkaisuista. Ne voivat kyllä pienentää polttoaineen kulutusta optimaalisen ajotavan ansiosta sekä pienentää ruuhkia, mutta eivät kuitenkaan mahdollista täysin hiilineutraalia liikennettä MORE-alueelle. Myös ihmisten asenteet ja kulkutapavalinnat ovat merkittävässä roolissa MORE-alueen hiilineutraalisuus tavoitteissa. Hyvänä konseptina

tähän on liikenteen palveluistuminen ja sitä kautta ajatus vähentää oman auton tarvetta. Vaikka MaaS-palveluiden saaminen MORE-alueen käyttöön ei ole vielä mahdollista, voi tilanne olla toinen muutaman vuoden päästä. MaaS palveluiden suosio voi myös merkittävästi nousta, jos älyliikenteen innovaatiot, kuten robottibussit ja robottitaksit saadaan mukaan MaaS-palveluiden tarjontaan.

Alueen yritysten näkökulmasta esimerkiksi data-analytiikka ja sensoritekniikka voivat tarjota jo nyt paljon hyötyjä MORE-alueen yrityksille. Liikenteen automaatio vaatii kuitenkin vielä viimeisiä kehitysaskelaitaan, ennen kuin alueen yritykset voivat niistä hyötyä konkreettisesti. Esimerkiksi robottirekkojen pilotoinnit ilman turvatiimiä ovat vielä alkutekijöissään. Yksi keskeinen ongelma liikenteen automaation kohdalla on lait. Esimerkiksi kaikki teoreettisen katsauksen robottibussi-, robottitaksi- ja robottirekka-pilotoinneista vaativat viranomaisluvan, joka osaltaan hidastaa uuden ajoneuvoteknologian tuloa markkinoille. Myös turvallisuuteen liittyvät asiat voivat olla osatekijä automaattiautojen leviämismiselle. Esimerkiksi Liljamon (Liljamo, 2020, s. 41) väitöskirjatutkimuksen perusteella Suomalaiset olivat eniten huolissaan automaattiautojen kohdalla turvallisuuteen liittyvistä asioista. Lisäksi uuden teknologian testaaminen on kallista ja monet teoreettisessa katsauksessa tarkastelun kohteena olevista yrityksistä on tehnyt runsaasti tappiota, sillä automaattiajamisen mahdollistavan tekniikan kehitys ja pilotointi vie rahaa. Avainroolissa onkin ulkopuolinen rahoitus.

MORE-alueelle suunniteltujen eritasoliittymän ja HCT-centerin valmistuminen on arvioitu vuodelle 2025-2026 ja onkin hyvin mahdollista, että siihen mennessä alueella on sähköautoille langattomia latauspaikkoja, siellä hyödynnetään jo sensoritekniikkaa ja V2X-viestintää, sekä alueella pilotoidaan robottibussia ja kuljetinrobotteja. Vuoteen 2035 mennessä, kun MORE-alueen on tarkoitus olla täysin hiilineutraali, älyliikenne todennäköisesti tarjoaa jo valtavasti apuja päästöongelmissa ja liikenteen tehostamisessa alueen yrityksille. Onkin hyvin mahdollista, että MORE-alue on täysin hiilineutraali, siellä on langaton sähkötie, alueella hyödynnetään sensoritekniikkaa ja V2X-viestintää, sekä alueella operoi esimerkiksi sähkökäyttöisiä kuljetusrobotteja, robottibusseja, robottitakseja ja Einride Podin kaltaisia sähkökäyttöisiä robottirekkoja. Lisäksi MaaS-palvelut voivat olla jo alueen käytettävissä, kun niihin on saatu integroitua liikenteen automaation innovaatioita.

5.1.4 Kehitysehdotuksia

MORE-teollisuusalueelle tulisi rakentaa kattavasti sähköautojen latauspisteitä. Latauspisteet voisivat olla myös langattomia ja niitä voitaisiin sijoittaa uuden HTC-centerin yhteyteen. Lisäksi langattomia latauspisteitä voitaisiin sijoittaa alueen yrityksiin henkilökunnalle ja raskaalle liikenteelle. Raskaan liikenteen latauspisteitä voitaisiin sijoittaa siten, että sähkörekat voisivat latautua samalla kun ne purkavat tai lastaavat kuormia.

MORE-alueelle tulisi hankkia robottibussi ja sen tulisi selvittää MORE-alueen vaatimista talvisista sääolosuhteista, joten robottibussin tulisi olla GACHA-merkkinen. Robottibussi voisi kuljettaa työntekijöitä työpaikoille päätien varrelta, se voisi operoida HCT-centerin ja rekkaparkin välillä, tai se voisi kulkea jotain tiettyä reittiä MORE-alueella ja kuljettaa esimerkiksi työvoimaa syömään alueen yrityksistä tulevaan HCT-centeriin.

HCT-centerin yhteyteen voitaisiin pilotoida Starship Technologiesin robottikuljetinta, joka voisi kuljettaa tuotteita esimerkiksi HCT-centeristä alueen yrityksille tai raskaalle liikenteelle rekkaparkkiin.

LMAD-jakelurobottia voitaisiin pilotoida MORE-alueella. MORE-alueella sijaitsee DB Schenkerin toimipiste, jossa voitaisiin järjestää vastaava pilotointi kuin LMDA-pilotointi Jätkäsaarella oli.

MORE-alueella ja alueen yrityksissä tulisi hyödyntää sensoriteknologiaa ja V2X-viestintää. Alkukartoitushaastattelun perusteella sensoriteknologian hyödyntämistä on selvitetty jo vuodesta 2021 lähtien ja selvityksen valmiiksi saattaminen olisi tärkeää, sillä tutkimuksen tulosten perusteella sensoriteknologian avulla voidaan saavuttaa konkreettisia hyötyjä.

MORE-alueelle tulisi saada nopeat verkkoyhteydet kattamaan koko yritysalueen, jotta älyliikenteen palvelut saadaan tulevaisuudessa toimimaan alueella.

Viimeisenä kehitysehdotuksena on tutkia Einride Podin ja langattomien sähköteiden kehitystä. Jos tason 1 Pod on mahdollista saada yritysalueen käyttöön lähitulevaisuudessa, voisi se olla ratkaisu alueen sisäisen logistiikan ongelmiin. Podit voisivat soveltua hyvin myös kuljettamaan tuotteita MORE-alueen yritysten ja Karanojan kaatopaikan välillä tai ne voisivat

soveltua viimeisen mailin kuljetuksiin tehostamaan yritysten toimintaa. Langaton sähkötie vaikutti teoreettisen katsauksen perusteella potentiaaliselta ja jos se on vuosien 2025-2026 aikana kaupallistettu, voisi sitä harkita esimerkiksi eritasoliittymän yhteyteen. Langaton sähkötie vaatii teiden avaamista ja langaton lataustie voitaisiin integroida eritasoliittymään ennen kuin rakennustyöt ovat valmiina.

5.2 Valittujen menetelmien aiheuttamat rajoitukset ja jatkotutkimuksia

Tietoperustan lähteinä käytettiin mahdollisuuksien mukaan paljon tieteellisiä lähteitä, joista osa oli myös vertaisarvioitu. Niiden etsintään käytettiin esimerkiksi Google Scholar-palvelua. Monista älyliikenteen palveluntarjoajista ja reaali maailman pilotoinneista ei kuitenkaan juurikaan löytynyt kuin niistä vastuussa olevien tahojen julkaisemaa tietoa, joten tästä syystä näihin tietoihin tulee suhtautua kriittisesti. Ne pitivät sisällään lähinnä tietoa onnistumista, eikä niissä mainittu juurikaan ongelmista. Tästä syystä näitä tietoja pyrittiin täydentämään mahdollisimman paljon lehtiartikkeleista löytyvillä uutisilla, jotta asioihin saatiin myös puolueettomia näkökulmia.

Tutkimuksessa käytetyt menetelmät osoittautuivat kokonaisuudessaan toimiviksi. Vaikka asiantuntijahaastatteluita oli vain yksi kappale, saatiin sen avulla riittävä määrä tietoa alkukartoituksen tekemiseen ja näin ollen saavutettiin myös saturaatiopiste. Työpajaan oli kuitenkin kutsuttu suuri määrä MORE-teollisuusalueen yritysten edustajia, mutta paikalle saapui vain muutama edustaja. Tästä syystä työpajan otantaa voidaan pitää pienenä, joka voidaan laskea valituista menetelmistä aiheutuneeksi rajoitukseksi.

Työpajassa (Työpaja 12.10.2022) MORE-alueen yritysten yhdeksi suurimmaksi huolenaiheeksi esille nousi yritysten yhteinen intressi ja ymmärrys tulevaisuudesta älyliikenteen osalta. Alueen yrityksiä mietitytti erityisesti se, miten eri alojen yritykset hyötyvät älyliikenteestä, sillä kaikilla on yksityiskohtaiset tarpeensa. Työpajan pienestä otannasta johtuen olisikin hyvä järjestää yritys kohtaiset haastattelut alueen yrityksille, joiden avulla saataisiin selville alueen yritysten todelliset älyliikenteen tarpeet.

Tulevaisuudessa voitaisiin lisäksi suorittaa vastaava tutkimus, sillä älyliikenteen reaali maailman pilotoiteja tehdään jatkuvasti lisää ja näin ollen teknologia on voinut kehittyä merkittävästi kahdessa-kolmessa vuodessa.

5.3 Tulosten merkittävyys ja hyödynnettävyys

Tutkimuksen lopputuloksena työn tilaajaorganisaatio sai konkreettisia kehitysideoita älyliikenteen vaatimista infrastruktuuri vaatimuksista, sekä parhaista älyliikenteen käyttökohteista, joilla MORE-alueen yritykset voivat tehostaa toimintaansa.

Tutkimustulokset ovat sinänsä merkittäviä, että ne paljastivat monia puutteita MORE-alueen liikenteen nykyisestä tilanteesta sekä liikennetelematiikan tämän hetkisen tilanteen, jonka avulla osaa näistä puutteista voidaan mahdollisesti parantaa.

Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää muilla vastaavilla alueilla, joissa mietitään älyliikenteen mahdollisuuksia tai tavoitellaan hiilineutraalisuutta. Lisäksi tutkimuksen laajaa tietoperustaa ja työssä käytettäviä menetelmiä voidaan hyödyntää myös muissa vastaavanlaisissa tutkimuksissa jatkossa.

Lähteet

- 3GPP. (n.d. -a). *Release 16*. Haettu 29.12.2022 osoitteesta
<https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-16>
- 3GPP. (n.d. -b). *Release 17*. Haettu 29.12.2022 osoitteesta
<https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-17>
- Aaltio, I. & Puusa, A. (2017). Mitä laadullisen tutkimuksen arvioinnissa tuli ottaa huomioon?. Teoksessa A. Puusa & P. Juuti. (toim.), *Tutkimushaastattelun käsikirja* (ss. 169–180). Gaudemaus Oy.
- Abbasi, Q., Imran, M., Sambo, Y. (2019). *Enabling 5G communication systems to support vertical industries*. IEEE Press.
- Ackerman, E. (4.1.2021). This year, autonomous trucks will take to the road with no one on board. *IEEE Spectrum*. <https://spectrum.ieee.org/this-year-autonomous-trucks-will-take-to-the-road-with-no-one-on-board>
- Ackerman, E. (8.7.2022). Switzerland Moves Ahead With Underground Autonomous Cargo Delivery. *IEEE Spectrum*. <https://spectrum-ieee-org.cdn.ampproject.org/c/s/spectrum.ieee.org/amp/cargo-sous-terrain-2657620753>
- Ahmadi, S. (2019). *5g Nr: Architecture, Technology, Implementation, and Operation of 3GPP New Radio Standards*. Elsevier.
- Ahtiainen, L. (2018). Älyliikenne: mitä se on, ja miksi se on täällä? *Moottori*.
<https://moottori.fi/liikenne/jutut/alyliikenne-mita-se-on-ja-miksi-sita-tarvitaan/>
- Aksoz, A., Aydemir, M., Aydin, E., El Baghadi, M., Hegazy, O. (2022). Inductive Power Transfer for Electric Vehicle Charging Applications : A Comprehensive Review. *Energies* 2022, 15(14), 4962. <https://doi.org/10.3390/en15144962>
- Alaküla, M. & Karlsson, A. (2022). Conductive Electric Road Localization and Related Vehicle Power Control. *World Electric Vehicle Journal* 13, 22.
<https://doi.org/10.3390/wevj13010022>
- Alalewi, A., Cherkaoui, S., Dayoub, I. (2021). On 5G-V2X Use Cases and Enabling Technologies: A Comprehensive Survey. *IEEE Access*, Volume 9, 107710–107737.
[10.1109/ACCESS.2021.3100472](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3100472)
- Alamri, B., Aleem, S., Ali, Z., Alqarni, M., Aymen, F., Mohamed, N., Turkey, R. (2021). A new wireless charging system for electric vehicles using two receiver coils. *Ain Shams Engineering Journal*, Volume 13, Issue 2. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.08.012>

- Ali, Z., Giupponi, L., Lagen, s., Rouil, R. (2021). 3GPP NR V2X Mode 2: Overview, Models and System-Level Evaluation. *IEEE Access*, Volume 9, 89554–89579.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3090855>
- Anvari, B., Hutchinson, L., Naberezhnykh, D., Waterson, B. (2019). Potential of wireless power transfer for dynamic charging of electric vehicles. *IET Intelligent Transport System*, Volume 13, Issue 11, 3–12. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2018.5221>
- Bagheri, M., Jusunnov, A., Lu, M. (2020). Analysis of resonant coupling coil configurations of EV wireless charging system: a simulation study. *Frontiers in Energy* 14, 152–165.
<https://doi.org/10.1007/s11708-019-0615-1>
- Barbosa, J., Cardosa, I., Costa, C., Oliveria, R., Prado, M. (2015). An intelligent model for logistics management based on geofencing algorithms and RFID technology. *Expert Systems with Applications*, Volume 42, Issues 15–16, 6082–6097.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.001>
- Bazzi, A., Cecchini, G., Menarini, M., Masini, B. M., & Zanella, A. (2019). Survey and Perspectives of Vehicular Wi-Fi versus Sidelink Cellular-V2X in the 5G Era. *Future Internet*, 11(6), 122. <https://doi.org/10.3390/fi11060122>
- Bellan, R. (29.12.2021). TuSimple completes its first driverless autonomous truck run on public roads. *TechCrunch*. <https://techcrunch.com/2021/12/29/tusimple-completes-its-first-driverless-autonomous-truck-run-on-public-roads/>
- Bellan, R. (13.9.2022). Cruise to launch robotaxi services in Austin, Phoenix before end of 2022. *TechCrunch*. <https://techcrunch.com/2022/09/12/cruise-to-launch-robotaxi-services-in-austin-phoenix-before-end-of-2022/>
- Bellan, R. (29.9.2022). Argo AI's robotaxis officially available via Lyft in Austin. *TechCrunch*. <https://techcrunch.com/2022/09/29/argo-ais-robotaxis-officially-available-via-lyft-in-austin/>
- Bellan, R. & Korosec, K. (21.4.2021). Musk says Tesla aspires to mass produce robotaxis by 2024. *TechCrunch*. <https://techcrunch.com/2022/04/20/elon-musk-mass-produce-robotaxi-by-2024/>
- Berlin, D. & Engwall, M. (n.d.). *A Comparative Stakeholder Analysis the Swedish ERS Projects eRoadArlanda and eHighway E16*. Haettu 6.12.2022 osoitteesta <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1216695/FULLTEXT01.pdf>

- Birrel, S., Knight, M., Oliveira, L., Ulahannan, A. (2020). Wireless Charging of Electric Taxis: Understanding the Facilitators and Barriers to Its Introduction. *Sustainability* 2020, 12(21), 8798. <https://doi.org/10.3390/su12218798>
- Biten, A., Dessouky, S., Fernandez, D., Hossain, M., Montoya, A. (2021). Harvesting Solar Energy from Asphalt Pavement. *Sustainability* 2021, 13(22), 12807. <https://doi.org/10.3390/su132212807>
- Bonnet, B. (23.7.2019) En Normandie, le fiasco de la plus grande route solaire du monde. *Le Monde*. https://www.lemonde.fr/planete/article/2019/07/22/en-normandie-le-fiasco-de-la-plus-grande-route-solaire-du-monde_5492044_3244.html
- Brase, G. & Erickson, L. (2020). *Reducing Greenhouse Gas Emissions and Improving Air Quality*. CRC Press.
- Cano, J., Martinez, J., Sanguesa, j., Toh, C. (2020). Advanced in smart roads for future smart cities. *Proceedings of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences* 476 (2233). <https://doi.org/10.1098/rspa.2019.0439>
- Cargo Sous Terrain. (n.d. -a). FAQ. haettu 19.7.2022 osoitteesta <https://www.cst.ch/en/faq/>
- Cargo Sous Terrain. (n.d. -b). Organisation of CST AG. haettu 19.7.2022 osoitteesta <https://www.cst.ch/en/about-us/>
- Cargo Sous Terrain. (n.d. -c). What is CST? Haettu 19.7.2022 osoitteesta <https://www.cst.ch/en/what-is-cst/>
- Cargo Sous Terrain. (n.d. -d). Why CST? Haettu 19.7.2022 osoitteesta <https://www.cst.ch/en/why-cst/>
- CAVForth (2022a). Aims & objectives. Haettu 27.10.2022 osoiteesta <https://www.cavforth.com/aims-objectives/>
- CAVForth (2022b). Autonomous vehicle technology. Haettu 27.10.2022 osoiteesta <https://www.cavforth.com/automated-vehicle-systems/>
- CAVForth (2022c). Backed by innovate UK. Haettu 27.10.2022 osoiteesta <https://www.cavforth.com/innovate-uk-funding/>
- CAVForth (2022d). CAVForth partners. Haettu 27.10.2022 osoiteesta <https://www.cavforth.com/partners/>
- CAVForth (2022e). The Vehicles. Haettu 27.10.2022 osoiteesta <https://www.cavforth.com/the-vehicles/>
- CAVForth (2022f). Welcome to CAVForth, the world's most ambitious and complex autonomous bus pilot. Haettu 27.10.2022 osoiteesta <https://www.cavforth.com/>

- Choudhury, B., Naik, G., Park, J-M. (2019). IEEE 802.11bd & 5G NR V2X: Evolution of Radio Access Technologies for V2X Communications. *IEEE Access*, Volume: 7, 70169–70184. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2919489>
- Cisco. (2014). *Port of Hamburg Relies on IoE Capabilities to Improve Management of Waterways, Roads, and Rail*. https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/smartcities_en/pdf/Hamburg_Case_Study.pdf
- Coban, H., Mohamed, A., Rehman, A. (2022). Analyzing the Societal Cost of Electric Roads Compared to Batteries and Oil for All Forms of Road Transport. *Energies* 2022, 15 (5), 1925. <https://doi.org/10.3390/en15051925>
- Collin, J. & Saarelainen, A. (2016). *Teollinen internet*. Almatalent.
- Colovic, A., Marinelli, M. Ottomanelli, M. (2021). A multi-objective network design model for road freight transportation using the eHighway system. *Transportation Research Procedia*, Volume 62, 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.018>
- Cordos, N., Iclodean, C., Varga, O. (2020). Autonomous Shuttle Bus for Public Transportation: A Review. *Energies* 2020, 13(11), 2917. <https://doi.org/10.3390/en13112917>
- Correia, D. & Ferreira, A (2021). Energy Harvesting on Airport Pavements: State-of-the-Art. *Sustainability* 2021, 13(11), 5893. <https://doi.org/10.3390/su13115893>
- Crowe, S. (20.1.2021). Cruise autonomous vehicles heading to Japan. *The Robot Report*. <https://www.therobotreport.com/cruise-autonomous-vehicles-heading-to-japan-in-2021/>
- Cruise. (n.d. -a). *About. Cruise timeline*. Haettu 27.11.2022 osoitteesta <https://getcruise.com/about/>
- Cruise. (n.d. -b). *Rides*. Haettu 27.11.2022 osoitteesta <https://getcruise.com/rides/>
- Cruise. (n.d. -c). *Technology*. Haettu 27.11.2022 osoitteesta <https://getcruise.com/technology/>
- Dell technologies. (7.5.2020). How Road-as-a-Service Could Transform Urban Mobility. <https://www.dell.com/en-us/perspectives/how-road-as-a-service-could-transform-urban-mobility/>
- Demaitre, E. (8.10.2020). Einride AET vehicles to offer four levels of autonomous freight hauling worldwide. *The Robot Report*. <https://www.therobotreport.com/aet-vehicles-einride-offer-autonomous-freight-hauling-worldwide/>

- DigitalEurope. (n.d.). *Future Unicorn Award 2019*. Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://www.digitaleurope.org/future-unicorn-award-2019/>
- Doll, S. (6.10.2022). Uber deploying Motional IONIQ 5 driverless robotaxis to millions of riders over the next decade. *Electrek*. <https://electrek.co/2022/10/06/uber-deploying-motional-ioniq-5-robotaxis-to-millions-of-riders/>
- Domínguez, J, & Sanguino, T. (2019). Review on V2X, I2X, and P2X Communications and Their Applications: A Comprehensive Analysis over Time. *Sensors*, 19(12), 2756. <https://doi.org/10.3390/s19122756>
- Einride. (8.10.2020). *Einride launches next-generation autonomous vehicle, makes autonomous electric transport commercially available worldwide*. <https://www.einride.tech/press/einride-launches-next-generation-pod-makes-autonomous-electric-transport>
- Einride. (27.10.2022). *Einride Completes Historic Autonomous Vehicle Pilot on U.S Public Road With GE Appliances*. <https://www.einride.tech/press/einride-us-public-road-pilot>
- Einride. (n.d. -a). *Autonomous Gen 2*. Haettu 2.12.2022 osoitteesta <https://www.einride.tech/autonomous/vehicles/>
- Einride. (n.d. -b). *Fenced – AET 1*. Haettu 2.12.2022 osoitteesta <https://www.einride.tech/pods/fenced/>
- Einride. (n.d. -c). *Highway – AET 4*. Haettu 2.12.2022 osoitteesta <https://www.einride.tech/pods/highway/>
- Einride. (n.d. -d). *Making Earth a better place*. Haettu 2.12.2022 osoitteesta <https://www.einride.tech/about>
- Einride. (n.d. -e). *Nearby – AET 2*. Haettu 2.12.2022 osoitteesta <https://www.einride.tech/pods/nearby/>
- Einride. (n.d. -f). *Remote operation*. Haettu 2.12.2022 osoitteesta <https://www.einride.tech/autonomous/remote-operation/>
- Einride. (n.d. -g). *Rural – AET 3*. Haettu 2.12.2022 osoitteesta <https://www.einride.tech/pods/rural/>
- Electreon. (11.4.2022). *Electreon Announces Extension of World’s First Electric Road for Trucks and Buses*. <https://electreon.com/articles/electreon-announces-extension-of-worlds-first-wireless-electric-road-for-trucks-and-buses>

- Electreon. (n.d. -a). *About Electreon*. Haettu 5.12.2022 osoitteesta <https://electreon.com/about-us>
- Electreon. (n.d. -b). *Frequently Asked Questions*. Haettu 5.12.2022 osoitteesta <https://electreon.com/technology/faqs>
- Electreon. (n.d. -c). *More sustainable urban transportation systems for everyone*. Haettu 5.12.2022 osoitteesta <https://electreon.com/what-we-do/municipalities>
- Electreon. (n.d. -d). *Smartroad Gotland*. Haettu 5.12.2022 osoitteesta <https://electreon.com/projects/gotland>
- Electreon. (n.d. -e). *Wireless charging anywhere is here*. Haettu 5.12.2022 osoitteesta <https://electreon.com/technology>
- Ersing, P-J. (2015). The Factory Gets Smart. *Encounter, Smart Factory, Audi Rethinks Production*, 78–79. <https://www.scribd.com/document/272360374/Encounter-Smart-Factory-2015>
- Eskola J. & Suoranta J. (1998). *Johdatus laadulliseen tutkimukseen*. Vastapaino.
- Euroopan parlamentti. (14.1.2019). *Itseohjautuvat autot pian todellisuutta EU:ssa*. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/economy/20190110STO23102/iitseohjautuvat-autot-pian-todellisuutta-eu-ssa>
- Euroopan parlamentti. (24.6.2021). *EU:n ilmastolaki: parlamentti hyväksyi ilmastoneutraaliuden vuoteen 2050 mennessä*. <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/press-room/20210621IPR06627/ilmastolaki-eu-parlamentti-hyvaksyi-ilmastoneutraaliuden-vuoteen-2050-menessa>
- European Commission. (6.9.2022.) *New rules to improve road safety and enable fully driverless vehicles in the EU*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_4312
- European Commission. (n.d.). *Paris agreement*. Haettu 24.8.2022 osoitteesta https://climate.ec.europa.eu/eu-action/international-action-climate-change/climate-negotiations/paris-agreement_en
- EU-Startups. (n.d.). *LMAD*. Haettu 28.11.2022 osoitteesta <https://www.eu-startups.com/directory/lmad/>
- Fang, D., Jian, W., Jianhe, X., Qiushen, L., Yanqing, Z. (2021). Analysis on Wireless Charging Technology of Electric Vehicle. *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1827. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1827/1/012017>

- Fingrid. (30.8.2022). *Tulevan talven sähkön riittävydessä useita epävarmuustekijöitä – suomalaisten on hyvä varautua sähköpulan aiheuttamiin mahdollisiin sähkökatkoihin.* <https://urly.fi/2Xi5>
- Finnish Government. (2022). National Programme for Sustainable Growth in the Transport Sector 2021-2023. *Publications of the Finnish Government 2022:8.* <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-598-6>
- Forum Virium Helsinki. (n.d. -a). *All six pilots successful!* <https://mailchi.mp/forumvirium/fabulos-newsletter-2-4884490>
- Forum Virium Helsinki. (n.d. -b). *FABULOS project.* <https://fabulos.eu/fabulos-project/>
- Forum Virium Helsinki. (n.d. -c). *Helsinki pilot.* <https://fabulos.eu/helsinki-pilot/>
- Forum Virium Helsinki. (n.d. -d). *LMAD-projekti pilotoi autonomisia robottilähetäjä Helsingissä ja Pariisissa.* <https://forumvirium.fi/projektit/last-mile-autonomous-delivery-lmad-pilotoi-autonomista-robottilahettia/>
- Forum Virium Helsinki. (n.d. -e). *Press release: Robot bus fleets have been successfully tested in five European cities.* <https://fabulos.eu/robot-bus-fleets-have-been-successfully-tested-in-5-european-cities/>
- Forum Virium Helsinki. (2021). *FABULOS final Conference 2.* [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=8mtxnRixlxM&t=3381s>
- Forum Virium Helsinki. (n.d. -f). *The FABULOS project is now finalised.* <https://mailchi.mp/forumvirium/fabulos-newsletter-2-4884490>
- Fortum. (2019). *Fortum and the City of Oslo are working on the world's first wireless fast-charging infrastructure for taxis.* <https://www.fortum.com/media/2019/03/fortum-and-city-oslo-are-working-worlds-first-wireless-fast-charging-infrastructure-taxis>
- Future Mobility Finland. (n.d.). *MaaS - Customer at the centre.* Haettu 4.10.2022 osoitteesta: <https://futuremobilityfinland.fi/vision/mobility-as-a-service/>
- Garsten, E. (23.6.2022). *Einride Gets Go-Ahead For Driverless Electric Trucks On Public Roads.* *Forbes.* <https://www.forbes.com/sites/edgarsten/2022/06/23/einride-gets-go-ahead-for-driverless-trucks-on-public-roads/?sh=1675dbdfac0c>
- GE Appliances. (n.d.). *Einride Completes Historic Autonomous Vehicle Pilot on U.S Public Road With GE Appliances.* <https://pressroom.geappliances.com/news/einride-completes-historic-autonomous-vehicle-pilot-on-u-s-public-road-with-ge-appliances>
- GIM Robotics. (n.d.). *Loads of engineers and few normal people.* Haettu 28.11.2022 osoitteesta <https://gimrobotics.fi/company/>

- Gu, H. (n.d.). NXP, Volkswagen and partners continue to accelerate the V2X rollout. *e-ITShub*.
Haettu 8.12.2022 osoitteesta <https://e-itshub.com/nxp-volkswagen-and-partners-continue-to-accelerate-the-v2x-rollout/>
- Haavisto, N., Nousiainen, V., Ritvos, R. (2018). Kaupungin liikkumisen kehittyminen. *SOHJOA-robottibussi Suomen urbaaneissa olosuhteissa*, 74–77. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-328-079-3>
- Hamburg Port Authority. (1.9.2021a). *An intelligent controlling of traffic lights* [video].
Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=mHj7QA9Cm-s>
- Hamburg Port Authority. (4.10.2021b). *Port of Hamburg: innovative and climate-friendly* [video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=8Ra8714HyRA>
- Hamburg Port Authority. (n.d. -a). *Everything for the smooth flow of traffic*. Haettu 7.12.2022 osoitteesta <https://www.hamburg-port-authority.de/en/road-network>
- Hamburg Port Authority. (n.d. -b). *Green4transport: Nachhaltiges Verkehrsmanagement*.
Haettu 8.12.2022 osoitteesta <https://www.hamburg-port-authority.de/de/strasse/green4transport>
- Hamburg Port Authority. (n.d. -c). *Green4TransPORT: Unser Pilotprojekt für Hamburg*. Haettu 8.12.2022 osoitteesta https://www.homeport.hamburg/wp-content/uploads/2021/02/HPA_Flyer_Green4TransPORT.pdf
- Hamburg Port Authority. (n.d. -d). *SmartPORT – The intelligent port*. Haettu 8.12.2022 osoitteesta <https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport/>
- HAMK (n.d. -a). *HAMK Smart - Älykkäitä palveluita*. Haettu 25.8.2022 osoitteesta <https://www.hamk.fi/tutkimusyksikot/hamk-smart/>
- HAMK (n.d. -b). *ÄLLI, älykäs liikenne*. Haettu 25.8.2022 osoitteesta <https://www.hamk.fi/projektit/alli-alykas-liikenne/>
- Hampel, C. (17.5.2019). Sweden: Autonomous electric truck on operation : DB Schenker and Einride have launched the T-Pod that runs on a road in Jönköping. *Electrive.com*.
<https://www.electrive.com/2019/05/17/db-schenker-einride-have-fully-autonomous-electric-truck-in-operation/>
- Hawking, A. (30.9.2021). Cruise gets the green light to give driverless rides to passengers in San Fransisco. *The Verge*.
<https://www.theverge.com/2021/9/30/22702962/cruise-waymo-california-dmv-autonomous-vehicle-permit>

- Hawking, A. (14.11.2022). Waymo's robotaxis are basically mobile weather stations now. *The Verge*. <https://www.theverge.com/2022/11/14/23453478/waymo-av-autonomous-bad-weather-fog-sf-station>
- Heikkilä, T. (2014). *Tilastollinen tutkimus*. Edita Publishing Oy.
- Hiltunen, E. (2019). *Tulossa huomenna : Miten megatrendit muokkaavat tulevaisuuttamme*. Docendo Oy.
- Hoadley, S. (23.1.2018). Road Vehicle Automation and Cities and Regions. *POLIS*. https://www.polisnetwork.eu/wp-content/uploads/2019/06/polis_discussion_paper_automated_vehicles.pdf
- HOK-Elanto. (2022a.) *Alepa ottaa ruoan robottikuljetukset käyttöön ensimmäisenä Suomessa*. <https://hok-elanto.fi/news/alepa-ottaa-ruoan-robottikuljetukset-kayttoon-ensimmaisena-suomessa/>
- HOK-Elanto. (2022b). *Alepan ja Starshipin kuljetusrobottipilotti päätökseen – keskustelut käynnissä seuraavasta vaiheesta ja suunnitelmista ensi vuodelle*. <https://hok-elanto.fi/news/alepan-ja-starshipin-kuljetusrobottipilotti-paatokseen-keskustelut-kaynnissa-seuraavasta-vaiheesta-ja-suunnitelmista-ensi-vuodelle/>
- HomePORT. (24.2.2021). *ITS anchor project Green4TransPORT: Traffic flow improvement through innovative technology!* <https://www.homeport.hamburg/en/its-anchor-project-green4transport-traffic-flow-improvement-through-innovative-technology>
- Hua, K.-L., Miao, L., Virtusio, J. (2021). PC5-Based Cellular-V2X Evolution and Deployment. *Sensors 2021*, 21(3), 843. <https://doi.org/10.3390/s21030843>
- Huang, C-C. & Lin, C-L. (2021). *Coherent Wireless Power Charging and Data Transfer for Electric Vehicles*. Bentham Science Publishers.
- Hyatt, K. (12.4.2021). Cruise to be Dubai's exclusive self-driving taxi provider. *CNET*. <https://www.cnet.com/roadshow/news/cruise-av-dubai-first-non-us-location-robotaxi-fleet/>
- Hämeenlinnan kaupunki. (25.1.2022a). MOREn tarina. *Industrial Park MORE*. <https://www.industrialparkmore.fi/moressa-on-tilaa-kasvaa-ja-kehittya/moren-tarina/>
- Hämeenlinnan kaupunki. (26.4.2022b.) Yritykset. *Industrial Park MORE*. <https://www.industrialparkmore.fi/moressa-on-tilaa-kasvaa-ja-kehittya/yritykset/>
- Hämeen liitto. (n.d.). Hiilineutraaliksi 2035 mennessä. *Hämeen ilmastovahti*. Haettu 4.8.2022 osoitteesta <https://hameenilmastovahti.fi/>

- Ibrahim, M. (2015). *Wireless Inductive Charging for Electrical Vehicules : Electromagnetic Modelling and Interoperability Analysis*. [väitöskirja, Université Paris Sud]. HAL theses. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01127163>
- Induct. (12.11.2021.) EV YouTuber Bjørn Nyland (aka TeslaBjørn) visits Oslo Wireless EV Charger for Taxis. <https://inductev.com/ev-youtuber-bjorn-nyland-aka-teslabjorn-visits-wireless-ev-charger-oslo-norway/>
- InductEV. (n.d.) *Momentum is now InductEV*. Haettu 4.12.2022 osoitteesta <https://inductev.com/>
- Inkinen, P., Manninen, R., Tuohi, J. (2002). *Momentti 2 : Insinöörifysiikka*. Otava.
- Inoue, U. & Suyama, A. (2016). Using geofencing for a disaster information system. 2016 *IEEE/ACIS 15th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*. <https://doi.org/10.1109/ICIS.2016.7550849>
- Jaguar. (25.6.2020). *Jaguar I-Space electric taxis on world's first wireless high-powered charging rank*. <https://media.jaguarracing.com/news/2020/06/jaguar-i-pace-electric-taxis-worlds-first-wireless-high-powered-charging-rank>
- Jarich, M., Sauer, S., Warter, S. (2015). The Factory Gets Smart [kuva]. *Encounter, Smart Factory, Audi Rethinks Production*, 78–79. <https://www.scribd.com/document/272360374/Encounter-Smart-Factory-2015>
- Jin, H. (13.9.2022). GM's Cruise robotaxi unit to offer driverless rides in Phoenix, Austin this year. *Reuters*. <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/gms-self-driving-car-unit-cruise-offer-driverless-rides-phoenix-austin-this-year-2022-09-12/>
- Jokela, M. (6.9.2022.) Kuljetusrobotit kaduilla – kuka vastaa, jos kolahtaa? *Moottori*. <https://moottori.fi/liikenne/jutut/kuljetusrobotit-kaduilla-kuka-vastaa-jos-kolahtaa/>
- Jokiniemi, M. (2.11.2021). Autonominen robottilähetti kuljettaa asukkaille paketteja Helsingissä. *Forum Virium Helsinki*. <https://forumvirium.fi/release/autonominen-robottilahetti-kuljettaa-asukkaille-paketteja-helsingissa/>
- Juuti, P. & Puusa, A. (2017). Mitä laadullisella tutkimuksella tarkoitetaan?. Teoksessa A. Puusa & P. Juuti. (toim.), *Tutkimushaastattelun käsikirja* (ss. 9–19). Gaudemaus Oy.
- Karls, I. & Mueck, M. (2018.) *Networking Vehicles To Everything : Evolving Automotive Solutions*. Walter de Gruyter Inc.
- Kauppalehti. (n.d.). *MaaS Global Oy*. Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/maas+global+oy/2685777-4>

- Kaszas, D. & Roberts, A. (2022). Comfort with varying levels of human supervision in self-driving cars: Determining factors in Europe. *International Journal of Transportation Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2022.08.001>
- Keronen, J. & Pantsar, M. (2019). *Tienhaarassa : johtajuus ilmastonmuutoksen aikakaudella*. Docendo.
- Khan, H. (2020). *Resource scheduling and cell association in 5G-V2X*. (Acta Universitatis Ouluensis. C Technica 757) [väitöskirja, Oulun yliopisto] Punamusta. <http://urn.fi/urn:isbn:9789526227078>
- Kim, E., Kim, Y., Park, J. (2022). The Necessity of Introducing Autonomous Trucks in Logistics 4.0. *Sustainability* 2022, 14(7), 3978. <https://doi.org/10.3390/su14073978>
- Korosec, K. (18.11.2022.) GM is buying out SoftBank's stake in autonomous vehicle unit Cruise. *TechCrunch*. <https://techcrunch.com/2022/03/18/gm-buys-softbank-stake-in-self-driving-car-unit-cruise/>
- Kullas, J. (4.11.2022). Whim-matkasovelluksesta tunnettu yhtiö hakeutuu yrityssaneeraukseen. *Tivi*. <https://www.tivi.fi/uutiset/whim-matkasovelluksesta-tunnettu-yhtiö-hakeutuu-yrityssaneeraukseen/a68ac5ee-7994-48b2-bffd-712f9294861e>
- Kuula-Luumi, A. & Ranta, J. (2017). Haastattelun keruun ja käsittelyn ABC. Teoksessa M. Hyvärinen, P. Nikander & J. Ruusuvoori (toim.), *Tutkimushaastattelun käsikirja* (ss. 357–366). Vastapaino.
- Lappalainen, E. (23.6.2021). Liike hyytyy. *Helsingin Sanomat*. <https://www.hs.fi/visio/art-2000008002897.html>
- Lappalainen, E. (11.10.2022). Matkasovellus Whimistä tunnettu yhtiö lomautti suuren osan työntekijöistä. *Helsingin Sanomat*. <https://www.hs.fi/visio/art-2000009117189.html>
- Lappi, O., Lehtonen, E., Maasalo, I., Pekkanen, J., Rusanen, A. (2018). *Autonomisten ajoneuvojen vaikutus liikennesuunnitteluun sekä kuljettajien osaamis- ja koulutustarpeisiin*. <https://urly.fi/2XhW>
- Liikenne- ja viestintäministeriö. (22.4.2020). *Ennuste: Tieliikenteen päästöt laskussa 2020-luvulla - uusia toimia tarvitaan yhä*. <https://www.lvm.fi/-/tieliikenteen-paastot-laskussa-2020-luvulla-uusia-toimia-tarvitaan-yha-1166678>
- Liikenne- ja viestintäministeriö. (2021a). Fossiilittoman liikenteen tiekartta. *Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2021:15*.

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163420/LVM_2021_25.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Liikenne- ja viestintäministeriö. (20.9.2021b). Ennuste: Tieliikenteen päästöt laskevat hieman ennakoitua nopeammin – syynä sähköautojen yleistyminen. <https://www.lvm.fi/-/ennuste-tieliikenteen-paastot-laskevat-hieman-ennakoitua-nopeammin-syyna-sahkoautojen-yleistyminen-1509917>

Liikennefakta. (1.11.2022). *Liikennekäytössä olevat henkilöautot käyttövoimittain*. <https://liikennefakta.fi/fi/ymparisto/henkiloautot/liikennekaytossa-olevat-henkiloautot-kayttovoimittain>

Liljamo, T. (2020). *Tieliikenteen automaation ja palveluistumisen vaikutukset ihmisten liikkumiseen tulevaisuudessa*. (Tampereen yliopiston väitöskirjat 329) [väitöskirja, Tampereen yliopisto]. Vantaa 2020: PunaMusta Oy – Yliopistopaino. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-1741-6>

Litman, T. (6.11.2022). Autonomous Vehicle Implementation Predictions : Implications for Transport Planning. *Victoria Transport Policy Institute*. <https://www.vtpi.org/avip.pdf>

LMAD. (3.3.2021). *LMAD and DB Schenker: Autonomous parcel delivery in the heart of Helsinki*. <https://www.lmad.eu/news/db-schenker-helsinki-phase-1/>

LMAD. (17.3.2022). *LMAD's autonomous robot delivers 100+ parcels to customers in Helsinki*. Haettu 26.11.2022 osoitteesta <https://www.lmad.eu/news/helsinki-residents-autonomous-parcel-delivery-survey-results/>

LMAD. (n.d.). *A multi-use case, robot-agnostic platform*. Haettu 27.11.2022 osoitteesta <https://www.lmad.eu/>

Lu, J., Panchal, C., Stegen, S. (2018). Review of static and dynamic wireless electric vehicle charging system. *21*, Volume 21, Issue 5, 922–937. <https://doi.org/10.1016/j.iestch.2018.06.015>

MaaS Alliance. (n.d.). *What is MaaS?* Haettu 26.10.2022 osoitteesta <https://maas-alliance.eu/homepage/what-is-maas/>

MaaS Global. (n.d. -a). *History of MaaS : How one man's idea started a revolution in the mobility industry*. Haettu 27.11.2022 osoitteesta https://whimapp.com/wp-content/uploads/2022/01/MaaSGlobal_History.pdf

MaaS Global. (n.d. -b). *History of the company that started a revolution in the mobility industry*. Haettu 27.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/wp-content/uploads/2022/05/MGHistory-short-version-04052022.pdf>

- Mahmood, A., Sheng, Q., Zhang, W. (2019). Software-Defined Heterogeneous Vehicular Networking: The Architectural Design and Open Challenges. *Future Internet* 11 (3), 70. <https://doi.org/10.3390/fi11030070>
- Moilanen, T., Ojasalo, R., Ritalahti, J. (2015). *Kehittämistyön menetelmät*. (3-4. p.) Sanoma Pro Oy.
- Müller, S. (2020). Driverless Trucks in Ten Years - What the Logistics Industry Needs. *ATZ Worldwide* 122, 72. <https://doi.org/10.1007/s38311-020-0281-2>
- Nikander, P. & Ruusuvuori, J. (2017). Haastatteluaineiston litterointi. Teoksessa M. Hyvärinen, P. Nikander & J. Ruusuvuori (toim.), *Tutkimushaastattelun käsikirja* (ss. 367–380). Vastapaino.
- Nissin, O. (n.d.) *Mikä on robottibussi? Helsinki RobobusLine – Robottibussi Helsingin kaduilla*. Haettu 18.9.2022 osoitteesta <https://www-old.metropolia.fi/tutkimus-kehittaminen-ja-innovaatiot/julkaisut/helsinki-robobusline/mika-on-robottibussi/>
- Nissin, O. (2018). *SOHJOA-projektin pilottiajot 2016-2017 ja niissä käytetty robottibussitekniologia. SOHJOA-robottibussi Suomen urbaaneissa olosuhteissa*, 20–28. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-328-079-3>
- Nurmela, J. (18.10.2018). Arvostelussa Whim. *TechRadar*. <https://global.techradar.com/fi-fi/reviews/arvostelussa-whim>
- Nyland, B. (13.11.2021). *Jaguar I-Pace with Momentum Dynamics inductive charging retrofit*. [video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=aq7SP18sPKw&t=629s>
- Pasley, J. (16.8.2019). The World's First Solar Road Has Officially Crumbled Into a Total Failure. *ScienceAlert*. <https://www.sciencealert.com/the-world-s-first-solar-road-has-turned-out-to-be-a-disappointing-failure>
- Payne, H. (11.11.2022). Hailing a driverless Cruise robotaxi in the street of San Fransisco. The Detroit News. <https://eu.detroitnews.com/story/business/autos/general-motors/2022/11/11/payne-hailing-a-driverless-cruise-robotaxi-in-the-streets-of-san-francisco/69637906007/>
- Plugless Power. (n.d.). *Autonomy*. Haettu 4.7.2022 osoitteesta <https://www.pluglesspower.com/autonomy/>
- Port of Hamburg. (n.d.). *Port of Hamburg*. Haettu 7.12.2022 osoitteesta <https://www.hafen-hamburg.de/en/statistics/top-20-container-ports/>

- Pulse/fi. (10.5.2022). Autonomiset jakelurobotit voisivat helpottaa pakettitoimituksia kaupungeissa. *Suomen DB Schenker-blogi*.
<https://pulse.dbschenker.com/fi/pilottiprojekti-jakelurobotit-jatkasaari/>
- Puusa, A. (2017a). Haastattelutyypit ja niiden metodiset ominaisuudet. Teoksessa A. Puusa & P. Juuti. (toim.), *Tutkimushaastattelun käsikirja* (ss. 99–112). Gaudemaus Oy.
- Puusa, A. (2017b). Näkökulmia laadullisen aineiston analyysiin. Teoksessa A. Puusa & P. Juuti. (toim.), *Tutkimushaastattelun käsikirja* (ss. 141–152). Gaudemaus Oy.
- Pöllänen, M. & Utriainen, R. (2018). Review on mobility as a service in scientific publications. *Tampere University*. <http://www.urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-201912237108>
- Raeste, J-P. (24.3.2022). Whimistä tunnettu MaaS Global ostaa matkasovellusyhtiö Quickon Brasiliasta. *Helsingin Sanomat*. <https://www.hs.fi/talous/art-2000008705363.html>
- Reid, C. (28.3.2019). Netflix-Of-Transportation App Reduces Car Use And Boosts Bike And Bus Use, Finds MaaS Data Crunch. *Forbes*. <https://urly.fi/2XsL>
- Ridden, P. (2022). Cables autonomous electric truck approved for US public roads. *New Atlas*. <https://newatlas.com/automotive/einride-pod-nhtsa-us-public-roads-approval/>
- Rosevear, J. (18.10.2022). IKEA teams with self-driving truck startup Kodiak Robotics to test deliveries in Texas. *CNBC*. <https://www.cnbc.com/2022/10/18/ikea-kodiak-robotics-test-driverless-trucks-in-texas.html>
- Roth, E. (19.11.2022). Waymo can now provide fully driverless rides in San Fransisco. *The Verge*. <https://www.theverge.com/2022/11/19/23467784/waymo-provide-fully-driverless-rides-san-francisco-california>
- SAE International. (30.4.2021). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*. Haettu 26.9.2022 osoitteesta https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/
- SAE International. (26.8.2022). *Wireless Power Transfer for Light-Duty Plug-in/Electric Vehicles and Alignment Methodology J2954_202208*.
https://www.sae.org/standards/content/j2954_202208/
- Sandviken Purepower. (n.d.). *The world's first electric highway*. Haettu 6.12.2022 osoitteesta <https://sandvikenpurepower.com/in-english/electric-highway.html>
- Santamala, H. (2018). SOHJOA – automaattibussi-pilottiprojekti – ensimmäiset oppimiskokemukset 2016 vuoden avoimen tien piloteista. *SOHJOA-robottibussi*

Suomen urbaaneissa olosuhteissa, 10–19. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-328-079-3>

Sensible4. (n.d. -a). *GACHA: The World's First Autonomous Shuttle Bus for All Weather Conditions, Launched in March 2019*. Haettu 8.10.2022 osoitteesta <https://sensible4.fi/cases/case-gacha/>

Sensible4. (n.d. -b). *Making Autonomous Driving a Reality*. Haettu 8.10.2022 osoitteesta <https://sensible4.fi/company/>

Shinohara, N. (2014). *Wireless Power Transfer via Radiowaves*. ISTE Ltd, John Wiley & Sons, Inc.

Siemens. (22.6.2016). *World's first eHighway opens in Sweden*. <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/worlds-first-ehighway-opens-sweden>

Siemens. (11.12.2021). *eHighway – The backbone for electrified freight transport by road*. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:5e482791-554d-4d84-84f8-943eab9e4be9/background-ehighway-solution-e.pdf>

Siemens. (14.4.2021). *eHighway – Solutions for electrified road freight transport. eHighway in Sweden*. <https://press.siemens.com/global/en/feature/ehighway-solutions-electrified-road-freight-transport>

Siemens. (n.d. -a). *eHighway – Electrification of road freight transport*. Haettu 7.8.2022 osoitteesta <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/road/ehighway.html>

Siemens. (n.d. -b). *Älykäs Infrastrukturi ja kasvavat kaupungit*. Haettu 24.10.2022 osoitteesta <https://new.siemens.com/fi/fi/yhtio/ajankohtaiset-teemat/alykas-infrastrukturi.html>

Sihvonen, M. & Takala, H. (2.6.2022). *ÄLLI -hanke: Älykkään Liikenteen mahdollisuudet MORE-teollisuusalueella. HAMK Beat*. <https://urly.fi/2XhY>

Sjafrie, H. (2020). *Introduction to Self-Driving Vehicle Technology*. CRC Press.

Smartroad Gotland. (n.d. -a). *FAQ Smartroad Gotland*. Haettu 4.9.2022 osoitteesta <https://www.smartroadgotland.com/faq>

Smartroad Gotland. (n.d. -b). *The technology includes*. Haettu 4.9.2022 osoitteesta <https://www.smartroadgotland.com/technology>

- Smartroad Gotland. (4.4.2022a). *Smartroad Gotland is extended!*. Haettu 6.12.2022 osoitteesta <https://www.smartroadgotland.com/post/smartroad-gotland-is-extended>
- Smartroad Gotland. (2.6.2022b). *Successful upgrade of the first 50 meters*. Haettu 6.12.2022 osoitteesta <https://www.smartroadgotland.com/post/successful-upgrade-of-the-first-50-meters>
- Smartroad Gotland. (17.9.2022c). *Successful upgrade of 400 meters*. Haettu 6.12.2022 osoitteesta <https://www.smartroadgotland.com/post/successful-upgrade-of-400-meters>
- Soong, A. & Vannithamby, R. (2020). *5G Verticals : Customizing applications, technologies and deployment techniques*. John Wiley & Sons Ltd.
- Starship. (n.d. -a). *Company*. Haettu 1.12.2022 osoitteesta <https://www.starship.xyz/company/>
- Starship. (n.d. -b). *FAQ - General*. Haettu 1.12.2022 osoitteesta <https://www.starship.xyz/contact/faq/>
- Starship. (n.d. -c). *FAQ - Robot*. Haettu 1.12.2022 osoitteesta <https://www.starship.xyz/contact/faq/>
- Starship. (n.d. -d). *FAQ - Technology*. Haettu 1.12.2022 osoitteesta <https://www.starship.xyz/contact/faq/>
- Starship. (n.d. -e). *Starship launches in Finland – partners first with leading retail operator HOK-Elanto Group*. Haettu 1.12.2022 osoitteesta <https://urly.fi/2Xt0>
- Takala, S. (12.9.2022). *Whimin kautta ostetun HSL-lipun hinta nousee*. *Helsingin Sanomat*. <https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000009063341.html>
- Tapaninen, U. (2018). *Logistiikka ja liikennejärjestelmät*. Otatieto.
- Tech Vision. (3.3.2021). *Norway's Wireless Charging Roads* [video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=oVEuOtRLNzc>
- The Waymo Team. (19.10.2022 -a). *Next stop for Waymo One: Los Angeles*. *Waypoint, the official Waymo blog*. <https://blog.waymo.com/2022/10/next-stop-for-waymo-one-los-angeles.html>
- The Waymo Team. (1.11.2022 -b). *Making air traveler more convenient at Phoenix Sky Harbor Airport*. *Waypoint, the official Waymo blog*. <https://blog.waymo.com/2022/11/making-air-travel-more-convenient-at.html>

Thorbecke, C. (8.8.2022). Baidu gets permits for first fully driverless taxi service in China.

CNN Business. <https://edition.cnn.com/2022/08/08/tech/baidu-robotaxi-permits-china/index.html>

Tietoarkisto. (n.d.). *Litterointi*. Haettu 5.8.2022 osoitteesta

<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/laadullisen-tutkimuksen-prosessi/litterointi/>

Tilastokeskus. (n.d.). *Inflaatio 8,3 % lokakuussa 2022*. Haettu 25.11.2022 osoitteesta

<https://www.stat.fi/julkaisu/cktvvgs6o25kp0b55rxl8ubcv>

Traficom. (14.4.2020). Liikennejärjestelmän nykytila ja toimintaympäristön muutokset.

Traficomin tutkimuksia ja selvityksiä 4/2020. <https://urly.fi/2Xi1>

Traficom. (8.6.2022). Maailmanpoliittisen tilanteen vaikutuksia liikennejärjestelmään.

Tieto.Traficom. Haettu 4.8.2022 osoitteesta

<https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/maailmanpoliittisen-tilanteen-vaikutuksia-liikennejarjestelmaan>

Trafikverket. (22.6.2016). *First electric road in Sweden inaugurated*.

<https://bransch.trafikverket.se/en/startpage/about-us/news/2016/2016-06/first-electric-road-in-sweden-inaugurated/>

TUSimple. (n.d. -a). *Frequently Asked Questions*. Haettu 3.12.2022 osoitteesta

<https://www.tusimple.com/faq/>

TUSimple. (n.d. -b). *Enter the "Driver Out" Era of Self-Driving Trucks*. Haettu 3.12.2022

osoitteesta <https://www.tusimple.com/>

TUSimple. (n.d. -c). *Safety*. Haettu 3.12.2022 osoitteesta <https://www.tusimple.com/safety/>

TUSimple. (n.d. -d). *Technology*. Haettu 3.12.2022 osoitteesta

<https://www.tusimple.com/technology/>

TUSimple. (24.1.2022). *The First Semi-Truck "Driver-Out Pilot" Program* [video]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=XQG0vS1T35w>

United Nations ESCAP. (2.2021). *Smart Ports Development Policies in Asia and the Pacific*.

https://www.unescap.org/sites/default/d8files/event-documents/SmartPortDevelopment_Feb2021.pdf

United Nations Climate Change. (n.d.). *The Paris agreement. What is the Paris Agreement?*

Haettu 24.8.2022 osoitteesta <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

Vilkka, H. (2021a). *Näin onnistut opinnäytetyössä*. PS-Kustannus.

- Vilka, H. (2021b). *Tutki ja kehitä*. (5. p). PS-Kustannus.
- Wattway. (n.d. -a). *The company*. Haettu 11.12.2022 osoitteesta <https://www.wattwaybycolas.com/en/the-company.html>
- Wattway. (n.d. -b). *The solar road*. Haettu 11.12.2022 osoitteesta <https://www.wattwaybycolas.com/en/the-solar-road.html>
- Wayland, M. (30.3.2022). A ghost is driving the car' — my peaceful and productive experience in a Waymo self-driving van. *CNBC*.
<https://www.cnbc.com/2022/03/30/waymo-self-driving-experience-mostly-peaceful-and-productive.html>
- Waymo. (n.d. -a). *FAQ, General*. Haettu 12.11.2022 osoitteesta <https://waymo.com/faq/>
- Waymo. (n.d. -b). *FAQ, Riding With Waymo One*. Haettu 12.11.2022 osoitteesta <https://waymo.com/faq/>
- Waymo. (n.d. -c). *The World's Most Experienced Driver™*. Haettu 12.11.2022 osoitteesta <https://waymo.com>
- Waymo. (n.d. -d). *Waymo Driver*. Haettu 12.11.2022 osoitteesta <https://waymo.com/waymo-driver/>
- Waymo. (n.d. -e). *Waymo One*. Haettu 12.11.2022 osoitteesta <https://waymo.com/waymo-one/>
- Waymo. (n.d. -f). *Waymo Story : Starting at mile one*. Haettu 12.11.2022 osoitteesta <https://waymo.com/company/#story>
- West, G. (2.6.2022). We're going commercial. *Cruise Blog*.
<https://getcruise.com/news/blog/2022/were-going-commercial/>
- Whim. (30.9.2016). *Whim palkittiin vuoden Smart City-tekona*.
<https://whimapp.com/helsinki/whim-palkittiin-vuoden-smart-city-tekona/>
- Whim. (31.10.2017). *Liikkipalvelujen edelläkävijä Whimille arvostettu muotoilupalkinto*.
<https://whimapp.com/helsinki/liikkipalvelujen-edellakavija-whimille-arvostettu-muotoilupalkinto/>
- Whim. (21.2.2019 -a). *MaaS Global wins the Future Unicorn Award*.
<https://whimapp.com/helsinki/en/maas-global-wins-the-future-unicorn-award/>
- Whim. (8.10.2019 -b). *Whim palkittiin parhaana kestävä kehityksen mobiilipalveluna*.
<https://whimapp.com/helsinki/whim-palkittiin-parhaana-kestavan-kehityksen-mobiilipalveluna/>

- Whim. (14.1.2020). *CEO Sampo Hietanen honoured with Finland's Order of the White Rose.*
<https://whimapp.com/helsinki/en/ceo-sampo-hietanen-honoured-with-finlands-order-of-the-white-rose/>
- Whim. (25.8.2021). *Maas Global announces additional €11 million financing.*
<https://whimapp.com/news/maas-global-announces-additional-e11-million-financing/>
- Whim. (15.11.2022). *Taksi Helsingin hinnan muutos.* <https://whimapp.com/helsinki/taksi-helsingin-hinnan-muutos-11-2022/>
- Whim. (n.d. -a). *About Whim.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/about-whim/>
- Whim. (n.d. -b). *Auton vuokraus Whimin sovelluksella.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/helsinki/liikkumismuoto/autonvuokraus/>
- Whim. (n.d. -c). *Avaa Whim-edut Whim Plus-tilauksella.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/helsinki/whim-plus/>
- Whim. (n.d. -d). *Helsinki Metropolitan Area: Whim Unlimited.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://helpcenter.whimapp.com/hc/en-us/articles/360010214600-Helsinki-Metropolitan-Area-Whim-Unlimited>
- Whim. (n.d. -e). *HSL:n julkisen lipun ostaminen Whimillä.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/helsinki/liikkumismuoto/julkinen-liikenne/>
- Whim. (n.d. -f). *JURO-pyörillä liikut kätevästi Helsingissä.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/helsinki/liikkumismuoto/juro-yhteiskayttopyorat/>
- Whim. (n.d. -g). *Kaupunkipyörät Whimiltä!* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/helsinki/liikkumismuoto/kaupunkipyorat/>
- Whim. (n.d. -h). *Liikkumismuodot.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/helsinki/liikkumismuodot/>
- Whim. (n.d. -i). *Lime-sähköpotkulautojen käyttö Helsingissä.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta [https://helpcenter.whimapp.com/hc/fi/articles/5273878290204-Lime-sähköpotkulautojen-käyttö-Helsingissä](https://helpcenter.whimapp.com/hc/fi/articles/5273878290204-Lime-sahkopotkulautojen-kytto-Helsingissa)
- Whim. (n.d. -j). *MaaS Global.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/about-us/>
- Whim. (n.d. -k). *Näin se toimii.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/helsinki/nain-se-toimii/>

- Whim. (n.d. -l). Osta Helsingin ja Espoon Kaupunkipyöräkausi Whimistä. Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/helsinki/kampanja/kaupunkipyora-kausi/>
- Whim. (n.d. -m). *Sähköpotkulauta kätevästi käyttöösi Whimillä.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/helsinki/liikkumismuoto/sahkopotkulauta/>
- Whim. (n.d. -n). *Taksitilaukset turvallisesti ja nopeasti Whimillä.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/helsinki/liikkumismuoto/taksi/>
- Whim. (n.d. -o). *TIER-potkulautojen käyttö Suomessa Whimillä.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://helpcenter.whimapp.com/hc/fi/articles/360017512720-TIER-potkulautojen-kaytto-Suomessa>
- Whim. (n.d. -p). *Voi sähköpotkulautojen käyttö Suomessa.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://helpcenter.whimapp.com/hc/fi/articles/360018479039-VOI-sahkopotkulautojen-kaytto-Suomessa>
- Whim. (n.d. -q). *Whim on sovellus kaikkeen liikkumiseen.* Haettu 29.11.2022 osoitteesta <https://whimapp.com/helsinki/tilaus/>
- Zulkarnain. (2016). Exploring the transport system under technological change – market, business ecosystem and business model viewpoints. (Science Dissertation 139) [väitöskirja, University of Oulu] Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/science/2016/S139.pdf>

Asiantuntijahaastattelun kysymykset

1. Minkälainen MORE-teollisuusalueen tavaraliikenteen infrastruktuuri on tällä hetkellä?
2. Minkälainen MORE-teollisuusalueen julkisen liikenteen infrastruktuuri on tällä hetkellä?
3. Minkälainen MORE-teollisuusalueen henkilöliikenteen infrastruktuuri on tällä hetkellä?
4. Minkälainen MORE-teollisuusalueen tieverkkojen infrastruktuuri on tällä hetkellä?
5. Millä menetelmillä rahtia kuljetetaan MORE-alueella?
6. Onko MORE alueella työkone liikennettä joka hoitaa ja ylläpitää alueen liikenne infraa?
7. Minkälainen MORE-teollisuusalueen liikenteenvalvontajärjestelmien infrastruktuuri on tällä hetkellä?
8. Onko MORE alueella sisäisen logistiikan palveluita? Onko näille palveluille tarvetta?
9. Kuinka uusi HCT keskus tulee vaikuttamaan Last mile / first mile kuljetuksiin Hämeenlinnan alueella?
10. Mitä palveluita HTC-centeriin on tulossa ja mitä palveluita sen tulisi tarjota?
11. Onko alueen yrityksillä käytössä automatisoitua logistiikan seuranta ja/tai sensoriteknologiaa?
12. Onko käytössä vielä minkäänlaista älyliikennettä tai onko sitä kokeiltu?
13. Minkälaisia valmiuksia MORE-alueella on ottaa käyttöön älyliikennettä?
14. Minkälaisia älyliikennettä on tarkoitus ottaa käyttöön?
15. Minkälaisia kehityssuunnitelmia MORE-alueella on älyliikennettä koskien lyhyellä aikajaksolla?
16. Minkälaisia elinkaarikustannuksia älyliikenteen käyttöönotosta syntyy?
17. Miten on mietitty co2-päästöjen vähentämistä, onko käytössä bio-, hybridi- tai sähköajoneuvoja?
18. Mitkä ovat realistiset tavoitteet CO2-päästöjen vähentämiselle?

Asiantuntijahaastattelun lisäkysymys

1. Onko MORE-teollisuusalueella liikennevaloja tai onko niitä tulossa alueelle?

Työpajan teemat

Teema 1:

Miltä näyttää MORE-teollisuusalueen liikenteen ja logistiikan tulevaisuus vähähiilisessä ympäristössä?

1. Missä tämän hetken ongelmakohdat? Mitkä ratkaisut tilanteen parantamiseksi?
2. Mitä erityistä otettava huomioon MORE-teollisuusalueen kohdalla?
3. Mitkä ovat MORE-teollisuusalueen älyliikenteen prioriteetit?
4. Miten huomioida tämänhetkinen energiatilanne parhaalla mahdollisella tavalla?

Teema 2:

1. Mitkä ovat liikkumisen / logistiikan kiireisimmät ja tärkeimmät yrityksesi / yrityksen kehittämisen kohteet?
2. Miten / mitkä logistiikan / liikkumisen ratkaisut voisivat tuottaa lisäarvoa yrityksesi / yrityksen toiminnalle / tuotteille / kilpailukyvyille?

Paneelikeskustelun teemat

Teema 1: Älykkään liikenteen uudet palvelut

1. Miten uudet teknologiat uudistavat liikkumisen palveluita?
2. Miten energianmuodot liikkumisessa vaikuttavat uusien palveluiden kehittymiseen?
3. Miten tiedon /datan hyödyntäminen voisi uudistaa liikkumisen palveluita?

Teema 2: Älyliikenteen mahdollisuudet yrityksille

1. Muuttuuko liikkumisen palveluiden liiketoimintaekosysteemi uusien teknologioiden myötä?
2. Miten sinä voit vaikuttaa MORE-alueen liikenteen kehitykseen?