Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Henri Sorokin

Autonomisen ajamisen nykytila ja tulevaisuuden näkymät

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Auto- ja kuljetustekniikka

Insinöörityö

29.01.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Henri Sorokin Autonomisen ajamisen nykytila ja tulevaisuuden näkymät 31 sivua 29.01.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Autosähkötekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Vesa Linja-aho

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia autonomisen ajamisen nykytilaa ja haasteita matkalla kohti täysin autonomista ajamista. Työssä tarkastellaan autonomisen ajamiseen liittyvää nykyteknologiaa ja sitä, mitä täysin autonominen ajaminen vaatii autoilta ja infrastruktuurilta.

Opinnäytetyö on luonteeltaan kirjallisuustutkimus, ja siinä on perehdytty autonomiseen ajamiseen liittyvään kirjallisuuteen ja verkkoaineistoihin. Opinnäytetyössä tutustuttiin muun muassa tieliikennesopimuksiin ja lainsäädäntöön, jotka vaikuttavat autonomisen ajamisen kehittymiseen. Uusia julkaisuja ja kirjallisuutta itseohjautuvista autoista ilmestyy koko ajan ja työn tekohetkellä on käytetty saatavilla olevia lähteitä. Täytyy kuitenkin huomioida, että suuret autovalmistajat pitävät usein tarkimmat yksityiskohdat sekä aikataulunsa salassa.

Työssä saatiin hyvä käsitys autonomisen ajamisen nykytilasta ja siitä, miksi emme vielä näe liikenteessä autoja ilman kuljettajaa. Autonominen ajaminen on jaoteltu eri tasoihin automaatioasteen mukaan. Nykyisin yleisillä teillä liikkuu autoja, jotka toimivat maksimissaan automaatiotasolla kaksi, kun taso viisi on täysin automatisoitu auto. Toimiakseen autonominen auto vaatii tiedon, missä ja miten liikkua, mikä toteutetaan yhdistämällä GPS- ja karttatieto yhdessä anturidatan kanssa.

Autonomisen ajamisen tulevaisuuden näkymät ovat vielä osittain hämärän peitossa useiden kehitystä ja käyttöönottoa hidastavien tekijöiden takia. Hidastaviksi tekijöiksi voidaan laskea itseajavan auton päätöksenteko, vastuut, ääriolosuhteet ja esimerkiksi tietoturva-asiat. Autonominen ajaminen parantaa liikenneturvallisuutta, tuo ajankäytöllisiä etuja sekä vähentää päästöjä. Tulevaisuudessa pystytään hyödyntämään myös sitä, että autot liitetään verkkoon, ja sitä kautta ne ovat yhteydessä toisiinsa ja infrastruktuuriin.

Emme voi tietää, milloin itseohjautuvia autoja tullaan näkemään yleisillä teillä, poliittisten ja eettisten ongelmien takia. Ne hyödyt, joita autonomiset autot tuovat tieliikenneturvallisuudelle tulevat olemaan ongelmien ratkaisemisen arvoista.

Avainsanat	Automatiikka, autonominen ajaminen

Author(s) Title Number of Pages Date	Henri Sorokin The Present and Future Prospects of Autonomous Driving 31 pages 29 January 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Electronics Engineering
Instructor(s)	Vesa Linja-aho, Senior Lecturer

Abstract

The subject of this thesis was to examine the current state of autonomous driving and challenges there are on the way towards fully autonomous driving. The study dealt with present technologies for autonomous driving and what is required from cars and infrastructure to support fully autonomous driving.

The thesis is based on literature and online material related to autonomous driving. The work included, for example, road traffic regulations and legislation affecting the development of autonomous driving. New publications and literature on autonomous cars are published continuously and those sources which were available at the time of the work were used. However, it must be noted that major car manufacturers often keep the details and their schedules as their confidential information.

The thesis gave a good understanding of the current state of autonomous driving and why we still do not see cars without a driver in traffic. Autonomous driving is divided into different levels according to the degree of automation. Today, there are cars on public roads that operate at maximum automation level of two, while level five represents a fully automated car. To function, an autonomous car requires intelligence of where and how to move, accomplished by combining GPS and map data with sensor data.

The future of autonomous driving is still partly unknown due to several factors slowing down development and deployment. Such factors include e.g. decision-making on a self-driving car, responsibilities, extreme conditions, and security issues. Autonomous driving improves road safety, provides time-saving benefits and reduces emissions. In the future, it will also be possible to take advantage of that cars are connected to the network and thus connected to each other and to the infrastructure.

We do not know when self-driving cars will be seen on public roads due to political and ethical issues. However, the benefits that autonomous cars bring to road safety will be worth solving.

Keywords	Automation, autonomous driving

Sisällys

Lyhenteet ja määritelmät

1 Johdanto 1

2 Autonomisen ajamisen historia 1

3 Autonomisen ajamisen tasot 2

3.1 Ei automaatiota (TASO 0) 3
3.2 Kuljettajan tuki (TASO 1) 3
3.3 Osittainen automaatio (TASO 2) 3
3.4 Ehdollinen automaatio (TASO 3) 3
3.5 Korkea automaatio (TASO 4) 4
3.6 Täysi automaatio (TASO 5) 4

4 Autonomisen auton anatomia 5

4.1 Paikannus ja karttatieto 5
4.1.1 GPS 5
4.1.2 Kartat 5
4.2 Anturit 6
4.2.1 Kamerat 6
4.2.2 Tutka 7
4.2.3 LIDAR 7
4.2.4 Ultraääni 8
4.2.5 Yhteenveto 9

5 Päätöksenteko 9

6 Verkottuneen ajoneuvon teknologia 11

6.1 Kehitys 11
6.2 DSCR 12
6.3 C-V2X 13
6.4 Yhteenveto 13

7 Nykyiset projektit sekä isojen autovalmistajien lupaukset 15

7.1 Waymo 15
7.2 Yandex 16
7.3 Tesla 16

7.4 Sensible4 (GACHA) 17
7.5 VTT:n Marilyn ja Martti 18

8 Sopimukset ja lainsäädäntö 19

9 Vakuutukset ja vastuut 20

10 Autonominen ajaminen tulevaisuudessa 21

10.1 Hyödyt tulevaisuudessa 21
10.2 Jarruttavat tekijät ja haasteet lähitulevaisuudessa 22
10.3 Hakkerointi ja tietoturva 23

11 Suomi autonomisen ajamisen alustana 23

12 Mitä seuraavaksi? 25

Lähteet 26

Lyhenteet ja määritelmät

3GPP	3G Partnership Project (cellular standard organization)
5GAA	5G Automotive Association
C-V2X	Cellular Vehicle to Everything
DSRC	Dedicated Short-Range Communications (IEEE 802.11p), myös ITS-G5
ETSI	European Standards Institute
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITS	Intelligent Transportation Systems
LTE	Long Term Evolution (cellular standard organization)
RSE	Road Side Equipment
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2N	Vehicle to Network
V2V	Vehicle to Vehicle
V2X	Vehicle to Everything
VANET	Vehicle Ad-Hock Network

1 Johdanto

Autoteollisuus on suuren muutoksen ja murroksen edessä. Tiukat ilmastotavoitteet velvoittavat autovalmistajat siirtymään kohti päästöttömiä energialähteitä. Esimerkiksi liikenne- ja viestintäministeriön toimenpideohjelmassa (Lumiaho & Malin 2016) tavoitteena on, että nolla -ja vähäpäästöisten ajoneuvojen osuus kasvaa nykytilan muutamasta prosentista sataan vuoteen 2045 mennessä.

Liikenneturvallisuuden jatkuva kehittäminen on toinen alue, jossa autoteollisuus on murroksen edessä. Älykäs liikenne ja siihen liittyvä automaatio voisi olla yksi ratkaisu, jolla inhimillisen virheen aiheuttamat onnettomuudet saataisiin vähenemään. (Lipson & Kurman 2016.) Autonomisilla autoilla on tulevaisuudessa erittäin potentiaalinen mahdollisuus muuttaa yhteiskuntaa positiivisempaan suuntaan (Fridman 2019).

Tässä työssä tavoitteena oli tutustua autonomisen ajamisen nykytilaan sekä luoda katsaus autonomisen ajamisen teknisiin vaatimuksiin ja edellytyksiin. Lisäksi työssä tarkastellaan autonomiseen ajamiseen liittyvää lainsäädäntöä ja eettisiä näkökulmia.

2 Autonomisen ajamisen historia

Ensimmäiset askeleet kohti autonomista autoilua nähtiin jo vuonna 1925. Yritys nimeltä Houdina Radio Control esitteli Yhdysvaltain julkisilla teillä auton, joka perustui radiotekniikkaan ja jota ohjattiin etäyhteydellä perässä ajavasta autosta.

Seuraava suurempi harppaus kohti nykyisiä autonomisia autoja otettiin vasta 1980-luvulla, kun saksalainen insinööri Ernest Dickmann yhdessä Münchenin yliopiston kanssa varusti Mercedes Benzin pakettiauton kahdella kameralla, 16-bittisellä Intelin prosessorilla ja ohjelmistopaketilla. Pakettiautolla saatujen testitulosten perusteella Dickmann sai rahoituksen EUREKAlta, jonka myötä hän kehitti Mercedes Benz S-sarjan autosta kaksi autonomista autoa, VaMP ja VITA-2, joissa hän käytti neljää kameraa, tutkaa ja useita tietokoneita. Näillä varusteilla auto pystyi ajamaan 95-prosenttisen autonomisesti Saksasta Kööpenhaminaan ja takaisin ajaen muun liikenteen seassa ja ohituksia tehden. (Bimbraw 2015.)

DARPA eli Defense Advanced Research Projects Agency järjesti ensimmäisen Grand Challenge -kilpailun vuonna 2004. Kilpailun tarkoituksena oli edistää autonomisten autojen teknologian kehitystä erityisesti sotilaallisiin tarkoituksiin. Ensimmäisenä vuotena kukaan kilpailijoista ei selviytynyt DARPAn aavikkoradasta, mutta vuonna 2005 Stanford Racing Team voitti 2 miljoonaa dollaria modifioidulla Volkswagen Touaregilla (nimeltä Stanley). (The Grand Challenge 2019.)

3 Autonomisen ajamisen tasot

Autonomiselle ajamiselle on määritetty viisi tai kuusi eri tasoa riippuen siitä, otetaanko mukaan taso 0, joka kuvaa tilannetta, jossa autossa ei ole kuljettajaa avustavia järjestelmiä. Kukin taso määrittää, kuinka paljon ajamisen tehtävistä ja vastuista siirtyy kuljettajalta autolle. (SAE J3016 Levels of Driving Automation 2018.) (Taulukko 1)

Taulukko 1. Tieliikenteen automaation eri tasot (Pilli-Sihvola ym. 2015)

Taso	Nimi	Määritelmä	Ohjaus, kiihdyttäminen, jarrutus	Ympäristön monitorointi	Dynaamisen ajamisen varasuorittaja	Automaation kattavuus
Ihminen monitoroi ajoympäristöä			Ihminen	Ihminen	Ihminen	
0	Ei automaatiota	Ihminen suorittaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, vaikka ajamista tuettaisiinkin varoituksilla tai ajamiseen puuttuvilla järjestelmillä.				–
1	Kuljettajan tuki	Ajotilannekohtaisia kuljettajan tukijärjestelmiä, jotka liittyvät joko ohjaamiseen tai kiihdyttämiseen/jarruttamiseen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Ihminen ja järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
2	Osittainen automaatio	Yksi tai useampi ajotilannekohtainen kuljettajan tukijärjestelmä, joka kattaa sekä ohjaamisen että kiihdyttämisen/jarruttamisen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
Järjestelmä monitoroi ajoympäristöä			Järjestelmä	Järjestelmä	Ihminen	
3	Ehdollinen automaatio	Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet (kuten pituus- ja poikittaissuuntaisen kontrolloinnin). Ihmisen täytyy kuitenkin ottaa auto hallintaansa, kun järjestelmä näin pyytää.				Joitakin ajotilanteita
4	Korkea automaatio	Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet myös silloin, kun ihminen ei ota autoa hallintaansa, vaikka järjestelmä näin pyytää. Ellei kuljettaja ota ajoneuvoa haltuunsa, järjestelmä ohjaa auton hallitusti tien sivuun ja pysäyttää sen.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Suurin osa ajotilanteista
5	Täysi automaatio	Kaiken kattava automaattiajojärjestelmä, joka kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet kaikissa tie- ja ympäristöolosuhteissa.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Kaikki ajotilanteet

3.1 Ei automaatiota (TASO 0)

Kuljettaja vastaa kaikista ajamiseen liittyvistä toiminnoista, vaikka käytössä olisi kuljettajaa avustavia äänimerkillisiä tai visuaalisia järjestelmiä, kuten esimerkiksi pysäköintitutka tai peruutuskamera. (SAE J3016 Levels of Driving Automation 2018)

3.2 Kuljettajan tuki (TASO 1)

Kuljettajaa avustava järjestelmä, jossa auto pystyy tukijärjestelmiä käyttäen joko puuttumaan ohjaukseen tai kiihdyttämään/jarruttamaan autoa tilannekohtaisesti. Kuljettaja vastaa kaikista muista dynaamisen ajon osa-alueista. Tason 1 järjestelmiin kuuluu esimerkiksi monissa nykyajan autoissa esiintyvä ACC eli Adaptive Cruise Control, jossa auto pystyy säätelemään etäisyyttä edellä ajavaan autoon omatoimisesti. Tason 1 järjestelmiin kuuluu myös mahdolliset hätäjarrutustoiminnot sekä pysäköintiavustin. (SAE J3016 Levels of Driving Automation 2018.)

3.3 Osittainen automaatio (TASO 2)

Osittainen automaatio, jossa yksi tai useampi kuljettajan apujärjestelmä pystyy suorittamaan sekä ohjauksen että kiihdyttämisen ja hidastamisen käyttämällä tietoa ajoympäristöstä. Edelleen kuljettaja vastaa kaikista muista dynaamisen ajon osa-alueista. Tason 2 järjestelmiä ovat esimerkiksi Teslan Autopilot sekä BMW.n Steering and Lane Control Assistant ja Traffic Jam Assistant. (SAE J3016 Levels of Driving Automation 2018.)

3.4 Ehdollinen automaatio (TASO 3)

Automaatiojärjestelmä pystyy kattamaan kaikki ajon osa-alueet. Ehdollisen automaatiojärjestelmän avulla auto pystyy ajamaan itsenäisesti myös pidempiä matkoja tietyissä rajatuissa liikennetilanteissa, mutta kuljettajan pitää silti tarvittaessa pystyä ohjaamaan ajoneuvoa. Esimerkkinä tasosta on vuosimallin 2018 Audi A8 Traffic Jam Pilot (kuva 1). Audi A8 on ensimmäinen sarjatuotantoauto, jossa on valmius tason 3 autonomiseen ajamiseen. (SAE J3016 Levels of Driving Automation 2018; Meiners 2017.)

Kuva 1. Audi A8, ensimmäinen sarjatuotantoauto, jossa valmius tason 3 automaatioon (Meiners 2017)

3.5 Korkea automaatio (TASO 4)

Tason 4 autonominen auto pystyy suorittamaan suurimman osan ajotilanteista täysin itsenäisesti. Auto pystyy myös hallitsemaan vaikeitakin ajotilanteita, kuten mutkikkaita kaupunki ajotilanteita sekä mahdollisia muuttuneita ajojärjestelyjä kuten rakennustyömaat. Tason 4 autonominen auto vaatii edelleen kuljettajan läsnäolon ja kuljettajan on kyettävä ottamaan auto hallintaan tilapäisesti. Jos hälytyksestä huolimatta kuljettaja ei ota ohjaksia, kykenee järjestelmä ajamaan auto tien sivuun ja pysäyttämään auton. (SAE J3016 Levels of Driving Automation 2018.)

3.6 Täysi automaatio (TASO 5)

Täysin autonominen auto on kykenevä toteuttamaan kaikki mahdolliset dynaamisen ajon osa-alueet kaikissa mahdollisissa ajoympäristöissä sekä kaikissa olosuhteissa. (SAE J3016 Levels of Driving Automation 2018)

4 Autonomisen auton anatomia

4.1 Paikannus ja karttatieto

4.1.1 GPS

Yksi auton paikannukseen liittyvä elementti on GPS ja GLONASS eli satelliittipaikannus. Vaikka satelliittipaikannuksella pystytään pääsemään hyvinkin tarkkaan sijaintiin ja tarkkuudet paranevat entisestään teknologian kehittyessä on se silti hyvinkin epävarma sijainnin jakaja. GPS toimii vain noin 1–2 metrin tarkkuudella ja tämän takia auto ei voi yksistään paikannukseen käyttää satelliittipaikannusta, vaan tukena on muun muassa HD-kartat. (Innamaa ym. 2015: 18-19; Silver 2018.)

4.1.2 Kartat

Karttateknologia ajoneuvokäytössä on nähnyt suuren muutoksen sen ensimmäisistä päivistä lähtien, paperikartoista nyt käytettäviin digitaalisiin karttamuotoihin. Yksi erittäin tärkeä pala autonomisessa ajossa on sen käyttämät HD-kartat eli teräväpiirtokartat. HD-karttojen tärkeys itse ajavien autojen kohdalla on sen erittäin suuri senttimerien tarkkuus. HD-karttojen ero verrattuna normaaleihin digitaalisiin karttoihin on sen tarkkuus ja yksityiskohdat, joita se pitää sisällään. HD-kartat antavat tietoa niin isoista maamerkeistä kuten järvistä tai vuoristoista, mutta myös pienemmistä yksityiskohdista kuten liikenneväylien sijainneista, mitä liikennemerkkejä on lähellä sekä jalkakäytävien ja pyöräilyreittien sijainnit. (Lipson & Kurman 2016: 171-172.)

Ylläpitääkseen HD-karttoja autot keräävät anturidataa pilvipalveluihin. Jos HD-karttamallissa ja ajoneuvon keräämässä tuoreessa datassa havaitaan poikkeama, lähettää ajoneuvo tämän datan ylläpitäjälle mahdollisten päivitysten saamiseksi. Tätä prosessia voidaan kutsua automaattikartoitukseksi. Mitä enemmän automaattikartoitukseen kykeneviä autoja liikenteeseen tulee, sitä enemmän HD-karttojen tarjoajat voivat hoitaa datan ylläpitoa. (Laakso ym. 2018: 12-13.)

Suomessa on julkisesti saatavilla staattisia ja reaaliaikaisia tietolähteitä, joista HD-karttojen yhteydessä käsitellään vain staattisia lähteitä. Liikenneviraston ylläpitämä kansallinen tietojärjestelmä Digiroad sisältää koko Suomen tie- ja katuverkon keskilinjageometrian sekä tärkeimmät ominaisuustiedot, joita ovat mm. tiestön ja maanteiden kuntotiedot,

liikennemerkit, opastaulut, puomit, tienvarsimainokset ja lyhtypylväät. Järjestelmässä on vielä selviä puutteita, joita ovat liikenteen valo-ohjausjärjestelmien ajantasainen data, liikennemerkkien osoittamien kieltojen ja rajoitusten vaikutusalueet koneluettavassa muodossa sekä muuttuvien nopeusrajoitusalueiden datan koneluettavuus. Automaattiajamisessa tietoja voidaan hyödyntää vapaan näkymän tunnistamiseen, automaattiseen nopeuden säätöön ja kaistalla pysymiseen, kaistan vaihtoon, reititykseen, etäohjaukseen sekä ajojärjestyksen määrittämiseen. (Laakso ym. 2018: 17-37.)

4.2 Anturit

Autonomisen ajamisen pelkistetty versio olisi vain pitää auto kaistaviivojen välissä ja mukauttaa auton nopeus, joko nopeusrajoituksien tai muun liikenteen mukaisesti. Molempiin skenaarioihin on jo ratkaisu. Nykyautoissa jo esiintyvä kaistalla pysymisen pito avustin (lane assist) pystyy pitämään auton omalla kaistallaan käyttäen kameraa kaistaviivojen havaitsemiseksi ja mukautuva vakionopeudensäädin (ACC – Adaptive Cruise Control) pystyy mukauttamaan nopeuden edellä ajavaan autoon. Molemmat järjestelmät ovat jo käytössä, mutta niiden toimintavarmuus on epäluotettava, jos kaistaviivoja ei ole tai liikenteeseen lisätään muitakin elementtejä. (Innamaa ym. 2015: 12-13.)

4.2.1 Kamerat

Kamerat ovat yleisin anturi havainnoimaan ympäristöä autonomisissa autoissa. Kameroiden etuina voidaan pitää niiden korkeaa resoluutiota ja sitä, että ne ovat halpoja. Yksittäisellä kameralla ei kuitenkaan pystytä erottamaan syvyyksiä. Lisäämällä useita kameroita autoon kuvaamaan kohteita eri kuvakulmista voidaan tuottaa stereokuvaa. Analysoimalla kuvat, voidaan kuvista rakentaa 3D-malli ja täten saada parempi käsitys ympäristöstä (Libson & Kurman 2016: 173-177.)

Kameran tuottamien kuvien perusteella pyritään kuvista etsimään intensiteetin jyrkkiä muutoksia, jotka kuvaavat kohteiden ääriviivoja. Tämän takia kamerat toimivat puutteellisesti huonoissa olosuhteissa kuten lumisateessa. Myös auringon ylivalottamat kuvat tai kuvaan muodostuvat ylimääräiset varjot haittaavat kameran toimintaa lisäten ylimääräisiä reunoja sinne, missä niitä ei oikeasti ole.

Koska kameran kuva on erittäin riippuvainen siihen kohdistuvasta valosta, ovat kamerat huonoja pimeässä ilman riittävää ulkoista valaisua. Nykyisin pystytään kuitenkin käyttämään lämpökameroita pimeänäköön. (Innamaa ym. 2015: 14-16.)

4.2.2 Tutka

Tutkat ovat myös yksi yleisimmistä antureista havainnollistamaan ympäristöä. Tutkan toimintaperiaate perustuu sen lähettämään radiotaajuus pulssiin ja ympäristön kohteista palaava kaiku vastaanotetaan ajoneuvoon sijoitetuilla antenneilla, jonka avulla pystytään määrittämään kohteiden etäisyys ja suunta. Tutkan avulla pystytään tarkkailemaan useaa kohdetta samanaikaisesti sekä määrittämän eri kohteiden nopeuksia. Nopeuksien mittaaminen perustuu Dopplerin ilmiöön, jossa heijastuneen signaalin taajuus riippuu kohteen suhteellisesta nopeudesta. Nykyiset ajoneuvotutkajärjestelmät perustuvat niille tarkoitetulle 77 GHz:n taajuudelle. Käytössä on ollut myös 24 GHz:n taajuusalueen tutkia, joiden etuna voitiin pitää niiden pienempää häiriötä. 77 GHz:n taajuudella pystytään tarkempaan etäisyys- ja nopeusmittaukseen.

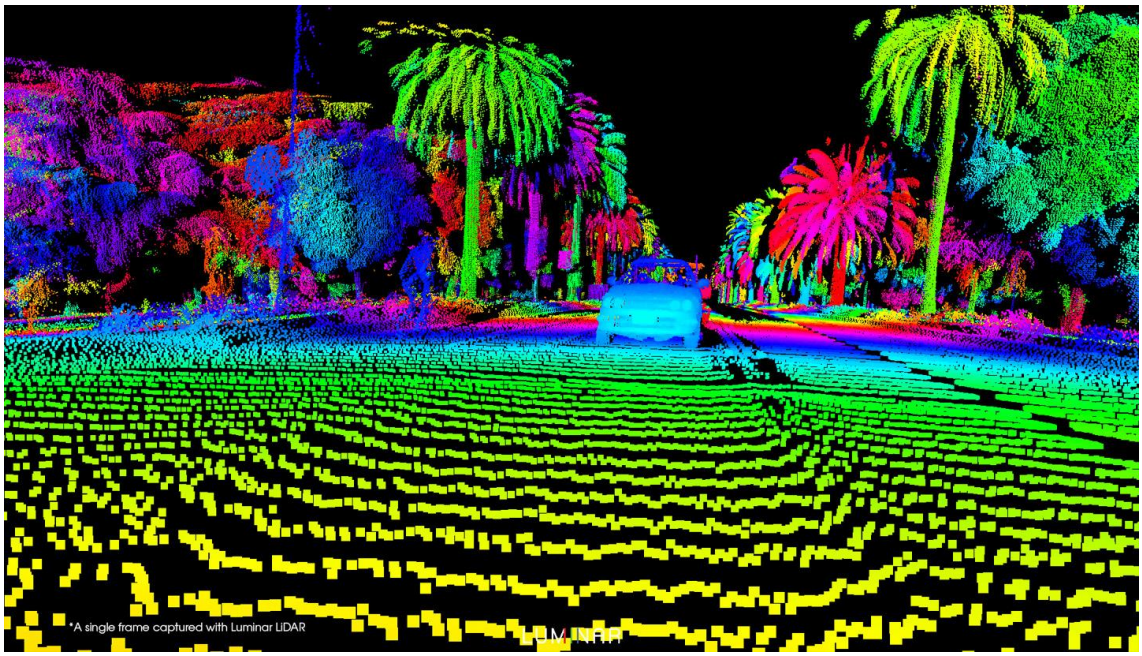
Yleisesti tutkien suuriksi eduiksi voidaan katsoa niiden hyvä kantama, toimintavarmuus huonoissa sääolosuhteissa, halpa hinta ja se, että tutkien sisällä ei ole liikkuvia osia, jotka voisivat hajota helposti. Rajoittavana tekijänä on tutkan huono resoluutio varsinkin sivusuunnassa, minkä takia tutkan on vaikea erotella lähekkäin olevia kohteita. (Rudolph & Voelzke 2017; Libson & Kurman 2016: 181-183.)

4.2.3 LIDAR

Toinen tärkeä kuvaanturi on LIDAR, joka on lyhenne sanoista ”light detection and ranging” ja jota kutsutaan myös lasertutkaksi. LIDAR-laite on optinen, laserpohjainen järjestelmä, joka lähettää ympäristöön pulssin laservaloa, mittaa, kauanko kullakin valosäteellä kestää palata takaisin ja sitten muodostaa kolmiulotteisen digitaalisen mallin lähiympäristöstään. LIDAR-järjestelmiä on ollut jo vuosia käytössä esimerkiksi teollisuudessa ja sotilaallisissa järjestelmissä, mutta käytössä on ollut monimutkaisempia mekaanisia peilijärjestelmiä, joissa tutka antaa 360 asteen näkymän. Nämä järjestelmät ovat kuitenkin erittäin kalliita valmistaa, minkä takia kyseisiä tutkia ei suosita laajamittaisessa ajoneuvojen valmistuksessa. Nykypäivän autoteollisuudessa pyritään tämän takia käyttämään halvempia ratkaisuja, kuten kiinteää LIDARia tai pyörivää laseria käyttäen mikro-

sähkömekaanista järjestelmää (MEMS, Micro-Electro-Mechanical System). (Rudolph & Voelzke 2017.)

LIDAR-tutkat ovat tärkeä työkalu autonomisissa autoissa, sillä digitaalinen 3D-malli, jonka se muodostaa, on äärimmäisen yksityiskohtainen ja sisältää tarkan syvyyskuvan. Ne toimivat lähettämällä yhden tai useamman lasersäteen ympäristöönsä ja mittaavat ajan, joka lasersignaalilla kestää heijastua takaisin kohteesta. LIDAR-tutkat voivat mitata syvyyden senttimetrin tarkkuudella, ja tutkilla voidaan mitata aina noin 250 m:iin asti, mutta todellisuudessa ajoneuvokäytössä mittausetäisyys on huomattavasti pienempi. LIDAR-tutkien kehitykseen keskitytään tällä hetkellä paljon, ja suuri määrä eri start-up-yrityksiä on alkanut kehittelemään niitä ja haluaa olla autonomisen auton ja älyliikenteen suurimman ongelman ratkaisijana. (Lipson & Kurman 2016: 177-180; Tuppurainen 2019.)



Kuva 2. Yksittäinen kuva otettu Luminarin LIDAR-tutkalla (Hawkins 2018)

4.2.4 Ultraääni

Ultraääntä käytetään ajoneuvokäytössä pääasiassa vain pysäköintiavustimissa sen erittäin lyhyen kantaman vuoksi. Ultraäänianturien etuna voidaan pitää sen halpaa hintaa.

Ultraäänianturin mittaus perustuu anturin lähettämään 40–180 kHz:n ultraäänipulssiin ja esteiden pinnasta palaavalla heijastumisajalla pystytään mittaamaan etäisyyksiä. Ajo-

neuvokäytössä oleva mittaus on huomattavasti hitaampaa ja vaimenee nopeammin verrattuna ultraäänimittaukseen vedessä tai esimerkiksi lääketieteen sovelluksissa. Äänennopeuteen vaikuttavat lämpötila ja kosteus. Ilmassa äänennopeus on hitaampi kuin vedessä. Tämän takia mittausetäisyydet ulkoilmassa ajoneuvokäytössä jäävät alle 10 metriin. (Innamaa ym. 2015: 16.)

4.2.5 Yhteenveto

Yhteenvetona voidaan todeta, että itsenäisen ajamisen toteuttamiseksi lähitulevaisuudessa tullaan ajoneuvolta vaatimaan vähintään kolmea eri anturijärjestelmää: kameraa, tutkaa sekä LIDAR- järjestelmää. Suurin haaste kuitenkin tällä hetkellä on LIDAR-järjestelmä sekä teknisesti että kustannuspoliittisesti. (Rudolph & Voelzke 2017.) Vuoteen 2030 mennessä ajoneuvokäytössä olevien anturien myynnin uskotaan nousevan noin 36 miljardiin dollariin (Fridman 2019).

5 Päätöksenteko

Täysin autonomiset autot joutuvat tekemään ajonsa aikana huomattavan määrän päätöksiä, miten käyttäytyä liikenteessä sääntöjen ja rajoitusten mukaisella tavalla. On selvää, että jotkut päätöksistä liikenteessä ovat muutakin kuin vain liikennelakien noudattamista ja niiden soveltamista.

Etiikan tunnetta on vaikea pukea tietokoneille soveltuvaksi algoritmiksi. Kuinka toimia tilanteessa, jossa tulee tehdä päätös nuoren tai vanhan ihmisen pelastamisesta? Onko useampi ihmishenki arvokkaampi kuin yksi? (Vincent 2018.) IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) velvoittaa kaikki jäsenensä kohtelemaan kaikkia ihmisiä reilusti ja syrjimättömästi (muun muassa ikä ja sukupuoli). Toisin sanoen kaikki demografiset vaikutustekijät pitäisi sulkea pois jo algoritmin kirjoitusvaiheessa (Lin 2016: 69). Monessa lähteessä puhutaan valinnasta kahden uhrin välillä, johon Lin ehdottaa kahta ratkaisua. Toisessa eettistä ratkaisua ei tehdä, jolloin ajetaan päin molempia ja toinen ratkaisu on jättää asia sattuman varaan. Näistä kumpikaan ei tunnu eettisesti hyväksyttävältä.

Kohdentamisella voidaan päättää, ketä vaaratilanteissa suojellaan. Algoritmi voidaan kirjoittaa suojelemaan auton matkustajia, jolloin kaikkein järkevin ratkaisu on törmätä ke-

vyimpään kohteeseen. Toinen vaihtoehto on suojella muita tiellä liikkujia, jolloin auto ohjelmoidaan ajamaan aina massaltaan suurempaan kohteeseen. Tämä ratkaisu olisi laillisesti hyväksyttävämpi, koska muille osapuolille ei synny suuria vammoja.

Tilanteessa, jossa auto kohtaa kaksi moottoripyöräilijää, joista vain toisella on kypärä, ratkaisu tehdään sen perusteella, kumpi jää todennäköisemmin henkiin törmäyksen jälkeen. Tässä tilanteessa vastuullista, kypärän valinnutta moottoripyöräilijää rangaistaan ja vastuuton jätetään henkiin. Tällainen saattaa ajaa ihmisiä toimimaan vastuuttomasti välttääkseen autonomisen auton kohteeksi joutumisen. Autonomiset autot voidaan myös ohjelmoida autojen törmäystestituloksiin pohjautuen, jolloin valintatilanteissa autonominen auto ajaisi päin parhaiten törmäyksestä selviytyvää autoa. Tällainen ohjelmointi voi tehdä turvallisista lapsiperheiden suosimista autoista, kuten Volvo SUV:sta, törmäyksen kohteita.

Algoritmeja kirjoittaessaan ohjelmoijat joutuvat antamaan erilaisille ongelmatilanteille arvoja sen perusteella, kuinka paljon harmia kukin tilanne aiheuttaa. Tällaiset tilanteet ovat aina ennalta mietittyjä olosuhteissa, joissa ohjelmoijalla ei ole vaaratilanteen tuomaa kiirettä. Lain edessä onnettomuustilanteen sattuessa ohjelmoija joutuu erilaiseen asemaan kuljettajaan nähden, joka tekee päätökset sekunnin murto-osissa. Esimerkiksi raitiuvaunuongelmana tunnettu filosofinen klassikko-ongelma (engl. Trolley Problem) esittelee tilanteen, jossa henkilö voi joko antaa viiden ihmisen kuolla tai tappaa yhden ihmisen. Moraalisesti ja laillisesti aktiivinen tappaminen on vakavampaa kuin se, että antaa toisen kuolla.

Onnettomuuksilta välttyminen voi olla väistämätöntä, kun autonomiset autot päätyvät julkisille teille. Voi olla, että on liian myöhäistä antaa ohjausta takaisin kuljettajalle, jonka huomio on jossain muualla, tai liian vaarallista lyödä jarruja pohjaan. Muun muassa teknologiavirheet, antureiden virheasennot, hakkerointi, huonot sääolosuhteet sekä huono onni voivat olla mahdollisten törmäyksien aiheuttajia. Näistä syistä törmäysoptimointistrategioiden täytyy huomioida tilanteiden eettinen puoli. (Lin 2016: 69–85.)

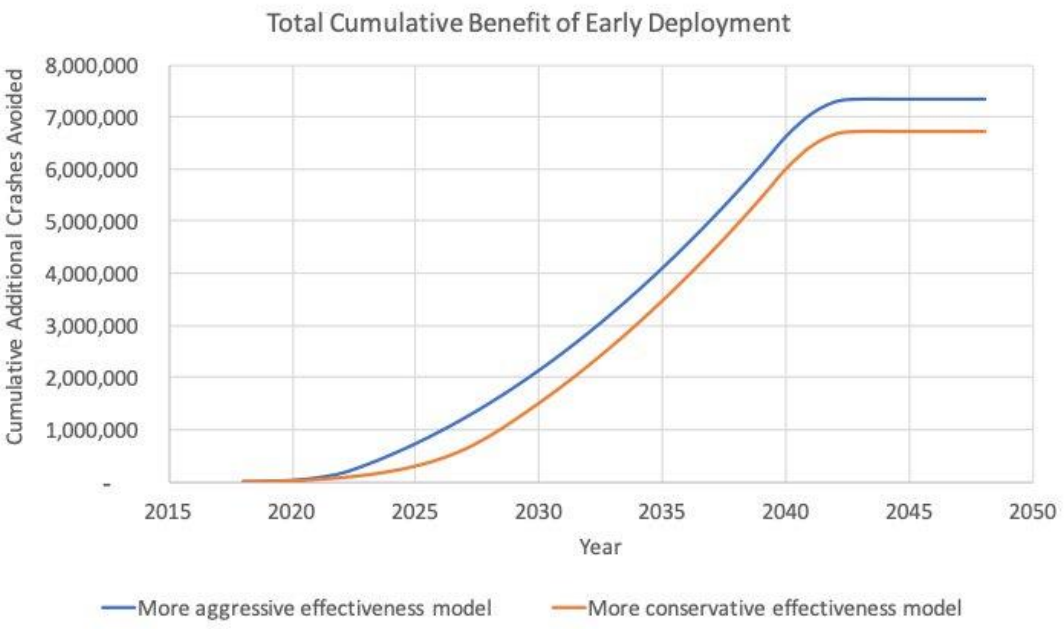
6 Verkottuneen ajoneuvon teknologia

Verkottunut ajoneuvo tarkoittaa ajoneuvon kykyä optimoida omia toiminteita, huoltoa sekä matkustajien mukavuutta käyttäen siihen ajoneuvoon asennettuja antureita sekä internetyhteyttä (McKinsey 2014). Viimeisimmät tutkimukset osoittavat, että uusia matkapuhelinliittymiä tarvitaan jo enemmän autoihin kuin älypuhelimiin. Samaten autonomisten ajoneuvojen generoiman datan arvioidaan kasvavan vuoteen 2021 mennessä 4 TB per päivä per ajoneuvo määrään (Nelson 2016). Voidaankin sanoa, että verkottunutta ajoneuvoa voidaan tältä osin pitää tulevaisuuden älypuhelimena.

Suurin etu, jonka ajoneuvojen verkottuminen tuo mukanaan, on liikenneturvallisuuden paraneminen. Tutkimuksissa on osoitettu, että saavutettava parannus voi olla yksin Saksassa, USA:ssa ja Kiinassa vuoteen 2025 mennessä 260 000 onnettomuutta. Tämän lisäksi on arvioitu, että verkottuminen tuo mukanaan merkittävän ajansäästön sekä vaikuttaa vähentävästi myös CO2 päästöihin (Sayer ym. 2017). Nopeusrajoituksia voidaan myös nostaa ajoneuvojen ollessa verkottuneina keskenään.

6.1 Kehitys

Verkottuneiden ajoneuvojen kommunikointiin liittyvällä kehitystyöllä on historiaa jo 1990 -luvulta alkaen. Alkujaan tarkoituksena on ollut kehittää tekniikkaa, jolla ajoneuvojen kuljettajia voitaisiin ennakolta varoittaa riskitekijöistä sekä näin pyrkiä ehkäisemään mahdollisia kolaritilanteita (Kuva 3). Teknologiakehitys ja siihen liittyvä standardointi on lopulta johtanut kahden kilpailevan järjestelmän syntyyn. Molemmat järjestelmät tukevat V2V (Vehicle to Vehicle)- sekä V2I (Vehicle to Infrastructure) -kommunikointia. (Nelson 2016.)



Kuva 3. Arvio liikennekuolemien vähenemisestä USA:ssa kahdella skenaariolla: DSCR V2V:n käyttöönotto 2019 (sininen käyrä) ja tilanteissa, jossa käyttöönotto viivästyy kolmella vuodella ja valitaan C-V2V (oranssi käyrä) (Nelson 2016).

6.2 DSCR

DSCR (Dedicated Short-Range Communications) pohjaa kehitystyöhön, joka USA:ssa johti ratkaisuun, jossa ajoneuvojen välinen yhteydenpito tapahtuu wifi-pohjaisesti käyttäen DSRC-protokollaa. Järjestelmä koostuu ajoneuvoissa olevista ITS-yksiköistä (Intelligent Transportation Systems) sekä infrastruktuuriin sijoitetuista RSE-yksiköistä (Road Side Equipment).

Euroopassa ETSI (European Standards Institute) otti vastuun standardin kehittämisestä ja perusti tätä varten teknisen komitean vuonna 2007. Tavoitteena oli saada aikaiseksi yhteinen standardi pohjautuen sitä varten kehitettyyn IEEE WLAN -standardin IEEE 802.11p -radiotekniikkaan. Siinä käytetään DSCR:n mukaisia radiokanavia ja -protokollia. Euroopassa standardi tunnetaan myös nimellä ITS-G5.

Autonvalmistajista DSCR:n takana ovat tällä hetkellä ainakin Toyota, VW, General Motors, Nissan, Kia ja Subaru. (Bigelow 2019.)

6.3 C-V2X

C-V2X hyödyntää olemassa olevia LTE- ja tulevaisuuden 5G-matkapuhelinverkkoja. Se on määrittelyiden osalta 3GPP R15 -pohjainen, jossa lisänä on spesifioitu PC5-liitäntä, joka mahdollistaa normaalin verkkoyhteyden lisäksi suoran yhteyden ajoneuvon ja toisen terminaalin, kuten matkapuhelimen tai infrastruktuurin elementin (esim. liikenneohjausjärjestelmä) välille. Suora yhteys terminaalien välillä on tärkeä, jotta matkapuhelinverkon mahdollisissa häiriötilanteissa turvallisuuteen liittyvät toiminnot voidaan taata. Haasteena tässä on kuitenkin varmistaa riittävä tietoturva tilanteessa, jossa yhteyksien viiveettömyys on yksi tärkeimmistä vaatimuksista, jossa järeät tietoturva tarkistukset protokollineen lisäisivät viivettä.

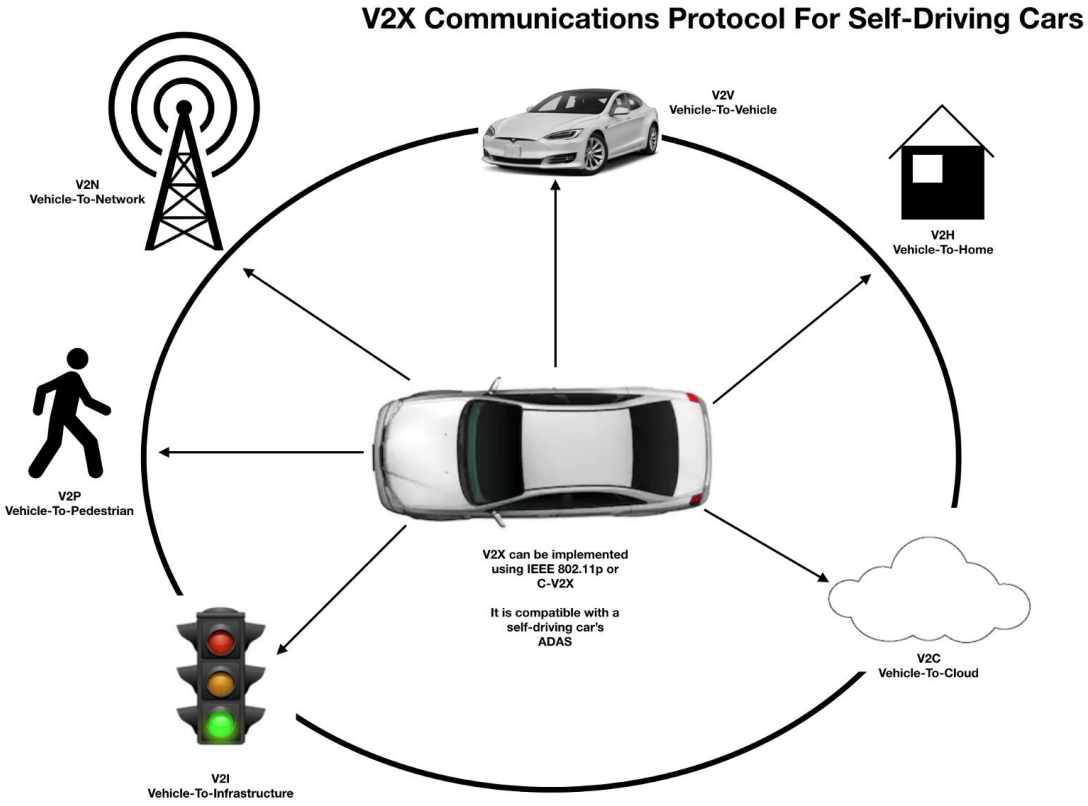
Autonvalmistajista C-V2X:n takana ovat muun muassa Audi, PSA, BMW, Daimler sekä viimeisimpänä myös Ford, joka ilmoitti, että vuodesta 2022 lähtien uudet Ford-mallit tukevat C-V2X-järjestelmää. (Bigelow 2019.)

6.4 Yhteenveto

V2X mahdollistaa laajat käyttömahdollisuudet muuhunkin kuin vain törmäysten välttämiseen ajoneuvojen anturidatan avulla. Sekä DSCR että C-V2X täyttävät kaikki oleelliset vaatimukset, jotka liittyvät verkottuneiden ajoneuvojen kommunikointiin ympäristön rajapintoihin (Kuva 4).

- älykäs jarrutus sekä ohituksesta varoittava toiminto, jotka mahdollistavat kuljettajan reagoinnin edellä ajavien ajoneuvojen jarruttamiseen siinäkin tapauksessa, että visuaalista yhteyttä jarruttavaan ajoneuvoon ei ole
- jopa muutamien senttimetrien etäisyyksillä tapahtuva jonoajo (engl. platooning). Tämä on mahdollista, kun V2X avulla siirretään ensimmäisenä ajavan ajoneuvon kiihdytys ja jarrutusinformaatio muille jonon ajoneuvoille.
- liikennetietojärjestelmä, joka mahdollistaa lähes reaaliaikaisen liikennetilanneinformaation mukaan lukien tiedon esimerkiksi vapaista pysäköinti- ja latauspaikoista ajoneuvon navigointijärjestelmään
- erilaiset tie- ja hätäpalvelut, jotka helpottavat pelastustoimia sekä mahdollistavat monenlaisten kaupallisten palvelujen tarjontaa

- yhteys haavoittuviin tienkäyttäjiin, kuten polkupyöräilijät ja jalankulkijat, onnettomuuksien estämiseksi. Tämä tapahtuisi luomalla yhteys käyttäjien matkapuhelimeen.



Kuva 4. Autonomisen auton V2X-rajapinnat ympäristöön (Tabora 2018).

Tällä hetkellä C-V2X kasvattaa suosiota DSCR:n kustannuksella, esimerkkinä autovalmistajista Ford, joka siirtyi C-V2X:n taakse. DSCR:n etuna on pidetty sitä, että se on ollut olemassa pitkään ja siitä on paljon kokemusta. USA:ssa on varattu 5,9 GHz:n taajuuskaista DSCR:lle, ja autovalmistajista esimerkiksi Toyotan panostukset siihen ovat merkittäviä. Toyota oli ensimmäinen autovalmistaja, joka ilmoitti tukevansa DSCR:ää Japanissa jo vuonna 2015 ja varustavansa koko automallistonsa DSCR-kyvykkyydellä USA:ssa vuonna 2021. (Abuelsamid 2019.)

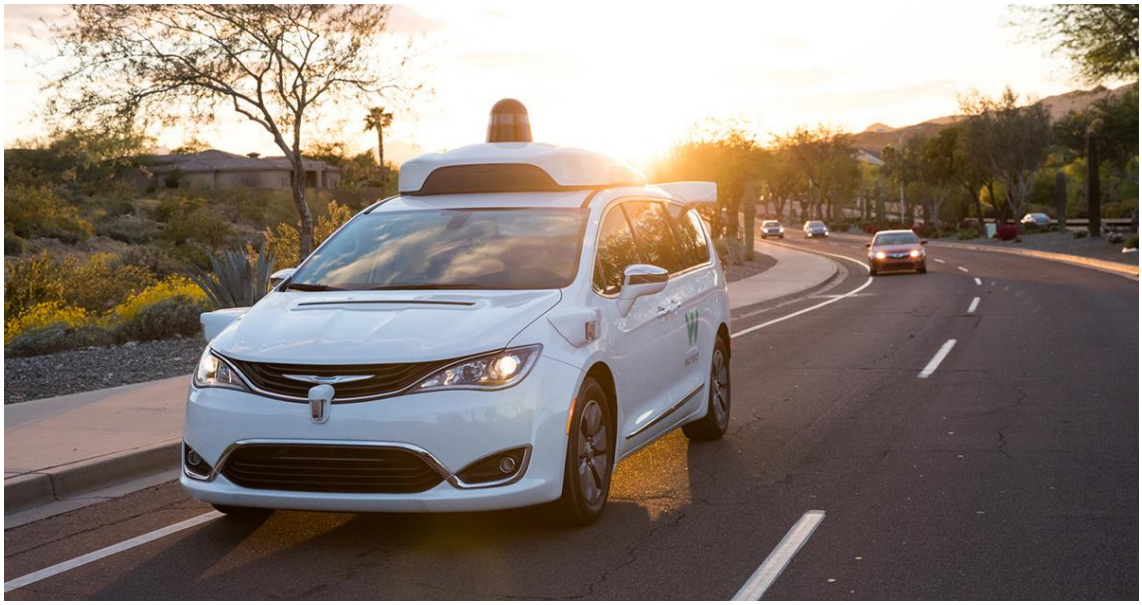
Toisaalta olemassa oleva matkapuhelinverkkoinfrastruktuuri on kiistaton etu, joka puoltaa C-V2X-järjestelmää. Sen takana on suuri joukko merkittäviä piirivalmistajia, kuten Qualcomm, osajärjestelmätoimittajia, kuten Continental, sekä kaikki merkittävät tietoliikennevalmistajat, kuten Nokia. Viimeisimmät 5GAA:n julkaisemat testitulokset osoittavat, että C-V2X:n suorituskyky on kaikilla testatuilla osa-alueilla vähintään yhtä hyvä kuin DSCR:n, suurimmaksi osaksi jopa parempi. (5GAA 2018.)

7 Nykyiset projektit sekä suurten autovalmistajien lupaukset

7.1 Waymo

Google aloitti autonomisen ajamisen projektin jo vuonna 2009. Tällöin pyrittiin ajamaan yli kymmenellä eri reitillä noin 160 km:n matkoja, joissa ei ollut keskeytyksiä tai muita häiriötekijöitä. Googlen ensimmäisenä autonomisena autona toimi tällöin Toyota Prius, ja jo pelkästään kuukauden aikana auto oli jo ajanut eniten autonomisia kilometrejä. Satojentuhansien kilometrien jälkeen Google otti askeleen eteenpäin testaamalla uusia ajoympäristöjä kuten moottoritiet sekä alkoi itse valmistamaan atureita omiin autonomisiin autoihinsa. Google otti myös tällöin mukaan autonomiseen autokantaansa Lexus RX450h -auton, joka myöhemmin aiheutti ensimmäisen Googlen autonomisen ajon törmäyksen vuonna 2014 ajettuaan jo siihen mennessä noin 2,2 miljoonaa kilometriä autonomista ajoa.

Vuonna 2016 Googlen autonomisen auton seitsemän vuoden projekti kasvoi erilliseksi yritykseksi nimeltä Waymo. Myöhemmin vuonna 2017 yhteistyössä FCA:n kanssa Waymo kehitteli täysin kuljettajattoman auton Chrysler Pacifica Hybridin pohjalle. Autosta tuli ensimmäinen autonominen auto, joka on rakennettu massatuotantoalustalle ja, jossa on Waymon suunnittelemat täysin autoon integroidut laitteistot. (Our Journey 2019.)



Kuva 5. Googlen itseohjautuvien autojen projekti Waymo, joka pohjautuu Chrysler Pacificaan (Edelstein 2018).

7.2 Yandex

Venäjän hakupalvelujätti ja tietotekniikka-alan yritys Yandex on myös kehitellyt omaa autonomista autoaan. Yandexin autonominen auto pohjautuu Toyota Prius+:n pohjalle. Projekti alkoi vuonna 2016, ja jo vuodesta 2017 autoa on kehitelty ja testattu tiekäytössä. Nopeasti jo vuonna 2018 auton autonomiset testaukset siirtyivät julkisille, asteittain aina ruuhkaisemmille teille Moskovaan. Haastavuutta tilanteisiin toivat lumipeitteiset tiet sekä maailman toiseksi ruuhkaisimmaksi kaupungiksi rankattu Moskova. Myöhemmin samana vuonna Yandex lanseerasi robottitaksi-palvelun, jonka alueena toimii teknologiakeskus Innopolis Venäjällä. Tämän jälkeen sama palvelu alkoi toimimaan toisessa teknologian keskuksessa Moskovassa Skolkovon alueella. Tähän mennessä Yandexin robottitaksipalvelu on kuljettanut reilusti yli 2000 matkaa näissä kahdessa paikassa. Muita autonomisen ajamisen testauksia on suoritettu ympäri maailmaa muun muassa Venäjällä, Yhdysvalloissa ja Israelissa. (Yandex Demonstrates Self-driving Car on the Street of Las Vegas During CES 2019.)

7.3 Tesla

Tesla on myös vahvasti mukana kilpailussa kohti täysin autonomista autoa. Tesla lähestyy tason 5 autonomista autoa hyvin eri tavalla verrattuna muihin isoihin kilpailijoihin,

kuten Uber, Waymo tai Ford. Muiden käyttäessä tarkkaa LIDAR-tutkaa Teslan autot pohjautuvat vain kameroihin ja tutkiin. Elon Muskin mukaan LIDAReita ei tarvita tulevaisuuden autonomisissa autoissa. Muskin mukaan LIDARin pois jättämisen syynä on sen todella kallis hinta.

22.4.2019 pidetyssä Teslan Autonomy Day -tapahtumassa Tesla julkaisi uuden autonomisen ajon tietokoneen, joka pystyisi saavuttamaan täysin autonomisen ajon. Elon Musk myös lisäsi, että Teslalla tulee olemaan jo vuoden 2020 loppuun mennessä liikenteessä noin miljoona autonomista autoa, joissa on tason 5 autonomia.

Teslan autoissa on kahdeksan kameraa, joilla tuotetaan 360 asteen näkyvyys aina 250 metriin asti. Teslaa ympäröi myös 12 ultraäänianturia ja yksi eteen sijoitettu tutka. Jokaisessa uudessa Teslassa on jo tarvittava laitteisto sisällä autonomisen ajon saavuttamiseksi. Yhtiön mukaan tarvitaan ainoastaan lisää testikilometrejä ja viranomaisten hyväksyntä sekä langattomat ohjelmistopäivitykset itseajo-ominaisuuksien saavuttamiseksi. (Ajamisen tulevaisuus 2019.)

7.4 Sensible4 (GACHA)

GACHA on maailman ensimmäinen itseohjautuva pienbussi, joka kykenee ajamaan itsenäisesti säällä kuin säällä (Kuva 6). Bussin toteutuksen taustalla on suomalainen autonomisen ajamisen yritys Sensible4, joka on vastannut bussin itse ajavasta ohjelmistosta ja tekniikasta. Mukana toteutuksessa on myös japanilainen yritys MUJI, joka on vastannut bussin muotoilusta ja käytännöllisyydestä. Pienbussi on suunniteltu ohjelmistoltaan niin, että se voidaan liittää suoraan jo olemassa olevaan julkisen liikenteen järjestelmään. (GACHA – Self-driving shuttle bus for all weather 2019.) GACHA-bussin prototyyppi esiteltiin 8.3.2019 Helsingissä (Laatikainen 2019). Tulevaisuudessa toimintaa pyritään laajentamaan valittuihin kaupunkeihin Eurooppaan sekä muualle maailmaan. Tavoitteena olisi aloittaa teollinen tuotanto sekä bussin integroiminen julkiseen liikenteeseen jo vuonna 2021. (GACHA – Self-driving shuttle bus for all weather 2019.)

GACHA-bussi on täyssähköbussi, jonka kantama on yli 100 km ja maksiminopeus autonomisesti ajamalla on 40 km/h. GACHA on varustettu suurella määrällä antureita, kuten LIDAR-antueita, tutkia sekä kameroita. Bussi käyttää myös tarkkaa GPS:ää ja on yhteydessä verkkoon 4GLTE:n ja 5G:n välityksellä. (GACHA – Self-driving shuttle bus for all weather 2019.)

Kuva 6. GACHA-bussi (GACHA – Self-driving shuttle bus for all weather 2019).

7.5 VTT:n Marilyn ja Martti

Teknologia tutkimuskeskus VTT:n tiloissa Tampereella on parkissa kaksi robottiautoa Citroen C4 Marilyn ja Volkswagen Touareg Martti. Molemmat autot ovat jo vanhaa kalustoa, mutta auton ympäriltä ja sisältä löytyy valtava määrä tulevaisuuden tekniikkaa, joka auttaa autoja kulkemaan autonomisesti. Martti on suunniteltu ja sitä kehitetään pitkälti vaikeampiin olosuhteisiin ja Marilyniä kaupunkiajoon ja automaattipysäköintiin. Erona kahden auton välillä on myös antureiden määrä ja sijoittelu. (Sauliala 2018; Vaikeisiin keleihin kehitetty Martti on nyt ensimmäinen lumen ja jään haastanut robottiauto 2017.)

Martin keulalta löytyy esimerkiksi laserskannereita, IR-alueen kamera, näkyvää valoa ja IR-valoa säteilevät lyhdyt sekä 24 GHz:n tutka. Näiden avulla Martti (Volkswagen Touareg) on tehnyt jopa epävirallisen talviajon autonomisten auton nopeusennätyksen 40 km/h Aurora-älytiellä Muoniossa. Martin talviajon osaaminen perustuu DGPS:ään eli differentiaalikorjattuun GPS-paikannuksen ja inertiayksikön yhteistyöhön, jossa tavallisen satelliittidatan virhe korjataan käyttäen korjaussignaalia, joka saadaan suoraan verkosta. Kun tiedetään auton tarkka sijainti ja suunta ja käytetään tarkkaa digitaalista karttaa, pystytään autoa ajattamaan itsenäisesti riippumatta valaistuksesta, tiemerkinnöistä tai säästä. (Sauliala 2018.)

Citroen C4 -autoon pohjautuva Marilyn puolestaan on suunniteltu ja kehitelty kaupunkiajoon ja automaattipysäköintiin. Marilyn pystyy esimerkiksi suunnistamaan ja parkkeeraamaan tyhjään ruutuun parkkihallissa ilman satelliittipaikannusta käyttäen apunaan HEREn UWB- eli Ultra Wideband -pohjaista paikannusta, joka perustuu radioteknologiaan. Paikannuksessa tieto lähetetään todella lyhyinä ja tehoiltaan pieninä pulsseina laajalla taajuuskaistalla, esimerkiksi 1–2 GHz. Apunaan pysäköintiin ja vapaan pysäköintiruudun löytämisessä Marilyn käyttää myös IoT:tä eli esineiden internetiä (Internet of Things). Auton saapuessa parkkialueelle ja kuljettajan varatessa sopivan pysäköintiruudun siihen kehitellyn sovelluksen avulla pysäköinnin hallintajärjestelmä antaa tiedon vapaasta paikasta. Lisäksi se tarkistaa IoT-alustaan kytkettyjen liikennekameroiden avulla mahdolliset esteet, välittää reitin autoon ja ajaa itsenäisesti IoT:n avulla sille varattuun vapaaseen paikkaan. Marilyn auton automaattiparkkeeraus on osana Euroopan rahoittamaa Autopilot-hanketta, joka pyrkii selvittämään esineiden internetin mahdollisuuksia automaattiajamisessa. (Tervola 2017; VTT:n robottiauto Marilyn kauempana olevaan halliin nyt täysin automaattisesti 2018.)

8 Sopimukset ja lainsäädäntö

Vuonna 1968 on tehty Wienin tieliikennesopimus, joka on tieliikennettä koskeva yleissopimus. Tämä sopimus velvoittaa, että ajoneuvolla on oltava kuljettaja, jonka on joka hetki pystyttävä hallitsemaan ajoneuvonsa. Tähän sopimukseen on jo tehty muutoksia, joiden myötä kuljettajaa avustavia teknisiä laitteita voidaan käyttää, mikäli ne voidaan tarvittaessa ohittaa tai sammuttaa. (Lumiaho & Malin 2016: 42.)

Saksassa ja Ruotsissa laidansäädäntöä ollaan muokkaamassa kuljettamattomien ajoneuvojen sallivaksi. Isossa-Britanniassa automaattiautojen testaaminen on laillista, mutta autossa on oltava testikuljettaja. Ranskassa on julkaistu automaattiajon tiekartta, jossa esitetään muun muassa vaatimusten määrittelyä automaattiautojen testaamiseen. Joissakin Yhdysvaltojen osavaltioissa saa käyttää automaattiautoja liikenteessä vähintään niiden testaamiseen. (Lumiaho & Malin 2016: 42.)

Suomen tieliikennelainsäädännössä on huomioitu Wienin tieliikennesopimuksen määräykset, mutta käsitettä ajoneuvon kuljettajasta ei ole määritetty. Tämä mahdollistaa sen, ettei kuljettajan ole oltava autossa sisällä vaan autoa voi myös etäohjata. Suomen tieliikennelainsäädäntöön ei tarvita lähitulevaisuudessa muutoksia, sillä sen pohjalta automaattiajamista pitkällekin voidaan harjoittaa. (Lumiaho & Malin 2016: 42-43.)

Marraskuussa 2018 lakia liikennejärjestelmästä ja maanteistä on päivitetty. Pykälässä 13 käsitellään tienpitoa koskevia yleisiä vaatimuksia, joihin on nyt sisällytetty liikenteen päästöjen vähentäminen, tiedon ja digitaalisuuden hyödyntämismahdollisuudet, liikenteen automaatio ja liikenteen palveluiden kehittämisen edellytykset. Nämä ovat asioita, joihin tullaan jatkossa investoimaan. Maanteitä tullaan jatkossa suunnittelemaan siten, että niihin liittyvä digitaalinen infrastruktuuri huomioidaan. Pykälää 15 a on myös päivitetty, ja siinä liikennejärjestelmäsuunnittelussa tavoitteena on ottaa erityisesti huomioon mm. liikenteen turvallisuus sekä tiedon ja digitalisaation hyödyntämismahdollisuudet. (Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä 13§ 2005.)

Liikenneministeriön valtakunnallisen liikennejärjestelmäsuunnitelman loppuraportissa joulukuussa 2018 on käsitelty liikennejärjestelmän kehittämisen tavoitteita ja päämääriä. Yhtenä teemana on päästötön liikenne vuoteen 2045 mennessä, jota ennen päästöt pyritään tiputtamaan puoleen vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoteen 2005. Raportissa on tunnistettu digitalisaation ja kehittyvän teknologian tuomat mahdollisuudet palveluiden kehittymiseen ja uusien toimintatapojen syntymiseen. Liikennejärjestelmän kehittämisessä tullaan huomioimaan muun muassa liikenteen päästövähennystavoitteet, viestintäverkkojen kehittymistarpeet, liikenteen automaatiokehitys ja sen aikataulu sekä tiedon lisääntyminen ja toimintaympäristön muutosten vaikutukset ihmisten käyttäytymiseen. Näillä toimilla pyritään luomaan turvallinen liikennejärjestelmä ja edistämään kansalaisten hyvinvointia luotettavalla ja sujuvalla matkanteolla. (Valtakunnallinen liikennejärjestelmäsuunnitelmä ja sen valmistelu 2018: 1-2.)

9 Vakuutukset ja vastuut

Suomen liikennevakuutuslaissa ei ole esteitä autonomisen auton vakuuttamiselle. Kansainvälisesti poiketen Suomessa henkilövahingoissa on rajoittamaton vastuu. Lisäksi Suomessa on kuljettajanpaikkasuoja, joka kattaa sekä omat henkilövahingot että vastapuolen henkilö- ja materiaalivahingot. Esinevahinkojen korvausraja on nykyään 5 miljoonaa euroa, joka ylittää direktiivien vaatiman miljoonan euron korvausrajan selvästi. Liikennevakuutus kattaa myös ajoneuvon tuotevirheestä johtuvat liikennevahingot ja sisältää ajoneuvon puhtaat tekniset viat. Suomessa kattava vakuutusturva on ratkaissut muun muassa vastuukysymyksen ohjelmiston tekijän osalta.

Monissa muissa EU-jäsenvaltioissa on paljon suppeampi liikennevakuutuksen korvauspiiri, minkä vuoksi autonomiset autot tarvitsevat lisävakuutusturvan. Monissa maissa liikennevakuutuksen roolia pienennetään sillä, että ajoneuvojen valmistajat ottavat enemmän vastuuta. Esimerkiksi Google ja Volvo ovat vakuuttaneet kokeiltavat ajoneuvot itse omien vakuutusyhtiöiden kautta. (Pilli-Sihvola ym. 2015: 23-24.)

10 Autonominen ajaminen tulevaisuudessa

10.1 Hyödyt tulevaisuudessa

Tämänhetkisen autojen määrän maailmalla arvioidaan olevan karkeasti noin 1,2 miljardia autoa, sillä autoilu on monelle maailman ihmiselle nopein, mukavin ja halvin tapa matkustaa (Lipson & Kurman 2016: 14-15). Maailman teillä kuolee noin 1,3 miljoonaa ihmistä joka vuosi. Näistä yli puolet kuuluvat haavoittuviin tienkäyttäjiin, joihin kuuluu jalankulkijat, pyöräilijät sekä moottoripyöräilijät. Tämän lisäksi 20–50 miljoonaa tienkäyttäjää loukkaantuu joka vuosi. (Road Safety 2018.) Vuonna 2015 tehdyssä tutkimuksessa on havaittu, että 94 % kaikista vakavista liikenneonnettomuuksista johtuu inhimillisistä virheistä (Automated Vehicles for Safety 2019). Autonomisella autoilulla uskotaan olevan turvallisuutta parantavia tekijöitä, kuten vähentämällä onnettomuuksia, jotka johtuvat inhimillisistä tekijöistä. Automaatio voi kumminkin tuoda mukanaan uusia onnettomuustyyppejä. (Lipson & Kurman 2016)

Autonomisen auton muina etuina voidaan luokitella ennakoivan ajotavan vuoksi vähenevät ruuhkat. Esimerkkinä INRIXin tekemän tutkimuksen mukaan vuonna 2017 amerikkalaiset käyttivät vuodessa keskimäärin noin 97 tuntia ruuhkassa. Yksittäisten kaupunkien esimerkiksi Lontoon vastaava lukema on 227 tuntia ruuhkassa istumista ja Helsingissä vastaava luku 43 tuntia ruuhkassa istumista. (INRIX 2018 Global Traffic Scorecard 2019.) Samalla polttoaineenkulutusta ja pakokaasupäästöjä pystytään vähentämään. Koska fokuksen ei tarvitse olla enää 100 % ajamisessa, voi kuljettaja keskittyä esimerkiksi työntekoon tai vaikkapa elokuvan katseluun ja näin ollen pystytään saavuttamaan merkittäviä ajankäytöllisiä etuja. Autonominen autoilu avaa myös mahdollisuuden uusille tienkäyttäjille, kuten vaikkapa ikääntyneille, liikuntarajoitteisille ja näkövammaisille. (Laakso ym. 2018: 5.)

Autonomisten autojen yleistyessä voidaan nähdä suuremmassa mittakaavassa myös autojen yhteiskäyttö- ja kutsuautoja, joita niiden käyttäjät eivät kokonaan omista ja jotka

ovat ikään kuin takseja ilman kuljettajaa. Tämä saattaa lisätä yksittäisten autojen ajosuoritteita niiden tyhjänä ajosta, toisin sanoen tilanteissa, joissa ne siirtyvät hakemaan uutta kuljetettavaa. Yhteiskäyttö- ja kutsuautot voivat lisätä autokantaa ihmisten siirtyessä yhteiskäyttöautoihin muista julkisista kulkuneuvoista niiden tuomien etujen vuoksi. Pysäköintialueiden kapasiteettia voidaan pienentää ainakin keskusta-alueilla ja niiden viemiä tiloja pystytään käyttämään muuhun tarkoitukseen, kun yhteiskäyttöautot voisivat jättää matkustajansa kohteeseen ja jatkaa matkaa heti seuraavaan paikkaan. Jäljelle jäävien parkkialueiden pysäköintiruutuja voidaan kaventaa, jolloin parkkialueiden käyttö tehostuu. Myös ajokaistoja pystytään kaventamaan, koska automatisoidut autot eivät tarvitse yhtä leveitä kaistoja kuin ihmiskuljettajat. Nämä tekijät tuovat säästöjä infrastruktuurille rakennus- ja kunnossapitovaiheissa. (Liljamo ym. 2018: 13-19.)

10.2 Jarruttavat tekijät ja haasteet lähitulevaisuudessa

Ihmisen ohjaamat ja autonomiset autot tulevat toimimaan samanaikaisesti liikenteessä vielä pitkään, koska autokannan uudistumisvauhti on hidasta. Ongelmaksi muodostuu ihmisten irrationaalinen käytös rationaalisesti toimivien autonomisten autojen seassa. EU:n alueella henkilöautojen keski-ikä on noin 8 vuotta, kun taas Suomessa vastaava luku on 11,4 vuotta. Oletettavaa on, että 10 vuoden päästä tänä vuonna liikennekäytössä olevista ajoneuvoista on käytössä vielä noin 60 prosenttia. (Pilli-Sihvola ym. 2015: 16-17.)

Ympäristön havainnoinnissa on vielä selviä puutteita, jotka vaikeuttava autonomisten autojen käyttöönottoa. Äärimmäiset sääolosuhteet, kuten lumi, sumu ja rankkasade, liikennevalojen tunnistaminen erilaisissa valaistusolosuhteissa sekä liikenteenohjaajan pysäytysmerkin noudattaminen ovat toistaiseksi autonomisille autoille hankalia. (Pilli-Sihvola ym. 2015: 16-17.)

Mikäli ajoteitä täytyy pitää ympäri vuoden sellaisessa kunnossa, että automaattiajaminen on mahdollista, eritysesti talvihoidon kustannukset tulevat kasvamaan. Lisäksi päällysteiden kulumisongelmat tulevat kasvamaan, mikäli autonomiset autot ajavat pääsääntöisesti samoja ajolinjoja. (Pilli-Sihvola ym. 2015: 17.)

Työpaikkojen menetys tulee olemaan väistämätöntä, kun autonomiset autot yleistyvät. Autonomisen auton luonteen vuoksi sen on helpoin aluksi liikkua valtateillä, joten ensimmäisten joukossa autonomiset autot tulevat vaikuttamaan raskaan liikenteen kuljettajien

vähenemisenä. Goldman Sachsin arvion mukaan jo pelkästään Amerikassa tullaan näkemään noin 300 tuhannen työpaikan menetyksiä per vuosi. Autonomisten autojen yleistyminen tuo kuitenkin tullessaan uudenlaisia työpaikkoja. (Reinicke 2018.)

10.3 Hakkerointi ja tietoturva

Autot, jotka ovat kytkettyinä verkkoon ja joihin sitä kautta voidaan ladata ohjelmistopäivityksiä ovat alttiita verkon kautta tapahtuville hyökkäyksille ja viruksille, jotka voivat vahingoittaa auton järjestelmiä. Tilanteiden välttämiseksi tietoliikenneyhteyksiltä edellytetään erittäin turvallisia yhteyksiä palvelimiin sekä luotettavaa tunnistautumista niihin, jotta voidaan varmistua päivitysten autenttisuudesta.

Ohjelmalliset haitat eivät ole ainoa autonomisiin autoihin koskeva turvallisuusongelma. GPS:ään kohdistuvat häirintälaitteet tai muihin antureihin kohdistuvat häirinnät voivat antaa vääriä anturilukemia, joiden takia auto ei kyken navigoimaan eikä liikkumaan oikein ympäristössään.

Auton omistajat voivat olla myös yksi riskitekijä. Nykypäivän autoissa on nähty jo ohjelmallisia muutoksia esimerkiksi suuremman tehon tuottoon. Autonomiset autot voivat olla yksi uusi houkutus auton omistajille ohjelmoidakseen uusia ohjelmistoja autoihin, joka voisi pahimmassa tapauksessa vahingoittaa autojen ohjelmistoa ja olla suuri riski yleiselle turvallisuudelle. Tämän takia on tärkeää, että tulevaisuuden autonomisten autojen valmistajilta tullaan vaatimaan, ettei autojen ohjelmistoon pääsisi helpolla käsiksi.

Kuten kaikessa elektroniikassa myös autonomisissa autoissa tullaan näkemään vikoja. Sen takia kaikkein tärkein asia on, että järjestelmä kykenisi havainnoimaan mahdolliset virheet omassa järjestelmässään ja toimimaan turvallisesti ja kontrolloidusti poikkeavuudesta riippumatta. (Anderson ym. 2014: 70-72.)

11 Suomi autonomisen ajamisen alustana

Liikennevirasto on tehnyt vuonna 2016 laajan selvityksen pohjalta suunnitelman toimenpiteistä, jotka tulee suorittaa ennen kuin autonomiset autot saadaan turvallisesti tieliikenteeseen. Väylänpitoa kehitettäessä tärkeä kokonaisuus on tiemerkintöjen ja liikennemerkkien uusiminen, sijoittelun ohjeistus ja aktiivinen kunnossapito. Tiemerkintöjen ja liikennemerkkien tulee olla koneluettavassa muodossa ainakin siirtymävaiheiden aikana.

Suomessa reunapaalut ja aurauskepit tulevat saamaan uusia muotoja, toimintoja ja käyttötarkoituksia ajoneuvon paikantamisessa ja muuttuvien kohtien merkitsemisessä. (Lumiaho & Malin 2016: 18.)

Toinen tärkeä kokonaisuus on selvittää, kuinka automaattiajaminen ja -autot vaikuttavat kuljettajaopetukseen, kuljettajantutkintoon ja ajo-oikeuteen. Viime vuosina on pyritty selvittämään, miten kuljettajan tutkinto tullaan suorittamaan, vaatiiko se erilaisia olosuhteita ja toisenlaista kalustoa. Toistaiseksi on epäselvää, tuleeko ajokortissa olla erikseen merkintä siitä, saako kuljettaja ohjata autonomista autoa vai tarvitaanko ajokorttia ollenkaan. (Lumiaho & Malin 2016: 22.)

Suomella on useita vahvuuksia autonomisen ajamisen mahdollistamiselle. Suomen tietoliikenneinfrastruktuuri on tällä hetkellä jo hyvä, ja edellytykset esimerkiksi ajoneuvojen keskustelun kehittämiseen keskenään ja infrastruktuurin kanssa ovat erinomaiset. Lisäksi erilaisten kartta- ja rekisteritietojen muodostamat tietovarannot ovat Suomessa kansainväliseen tasoon verrattuna ainutlaatuisia. Robotiikkaosaamista tarjoavia yrityksiä on Suomessa runsaasti, ja ne toimittavat liikenteeseen mm. karttoja, anturiteknologiaa ja ohjelmistoja. (Pilli-Sihvola ym. 2015: 11-12.)

Lumiset sääolosuhteet ovat autonomisille autoille hankalimpia. Eri anturit sekä paikannuslaitteet ovat hankaluuksissa lumisissa olosuhteissa varsinkin silloin, jos lumi peittää mahdolliset tiemerkinnät tai liikennemerkit. Vaikeaksi navigoinnin tekee myös tuulen pöllyttämä lumi, joka pöllyttää ojanpientareet tasaiseksi tai muuten heikentää näkyvyyttä. Tienpintojen liukkaus on myös yksi ongelma autonomiselle autolle. Jäisillä keleillä tien ja renkaiden välinen kitka saattaa olla lähellä nollaa, jolloin itsestään ajavan auton pitäisi pystyä tunnistamaan olosuhde ja jarrutusmatka, joka on huomattavasti pidempi verrattuna kesäisiin kuiviin olosuhteisiin. (Innamaa ym. 2015: 8.)

Vaikeat sääolosuhteet ovat myös suuri vahvuus suomalaiselle tutkimustyölle, jossa kehitetään autonomisia autoja yhä turvallisimmiksi ja varmemmiksi. Aurora-hanke on Muoniossa, tien 21 varrella sijaitseva julkinen älykkään liikenteen testialue, joka on noin 10 km:n pituinen. Älykkään tien tarkoituksena on tarjota mahdollisuus autonomisen ajamisen ja liikenteen automatisoinnin tutkimiseen ja testaamiseen arktisissa olosuhteissa. Teiden varsille on asennettuna monipuolisesti laitteita laajamittaista tutkimusta varten sekä alueelle on myös asennettu 5G-verkko. (Aurora Intelligent Road 2019.)

12 Mitä seuraavaksi?

Kysymykseen milloin autonomiset autot ovat täällä on väärä, sillä niihin tarvittava teknologia on jo suurelta osin olemassa ja käytössä eri muodoissaan nykyautoissa. Hyöty, jonka voimme saavuttaa autonomisilla autoilla, on todella suuri. Nykyään tien päällä on suuri määrä kuljettajia, jotka käyttäessään esimerkiksi matkapuhelinta ajaessaan ovat suuri riski, eivät vain itselleen vaan myös muille tienkäyttäjille. Autonomiset autot pystyisivät minimoimaan tämän riskin.

Se, milloin tulemme näkemään ensimmäisiä täysin autonomisia tason 4 tai 5 autoja yleisillä teillä kuluttajien käytössä, on vielä epävarmaa. Autonomiset autot ovat nyt olleet kehityksen alla jo tovin. Yliopistojen hankkeet, pienemmät projektit sekä nykyisin jo suuret autovalmistajat ovat ottaneet autonomisten autojen kehityksen vakavasti, ja tekniikka autoissa alkaa olla jo lähellä valmista. Haasteena on autonomisten autojen turvallisuusongelma ja toimintavarmuus sekä poliittisten ja eettisten ongelmien ratkaiseminen. Monilla merkittävillä autovalmistajilla on jo suuria lupauksia, joiden perusteella voisimme nähdä jo mahdollisesti tason 4 ja 5 autonomisia autoja liikenteessä rajoitetuilla alueilla muutaman vuoden sisään. Ensimmäiset tällaisella tekniikalla varustetut autot tulevat todennäköisesti olemaan kalliita luksusautoja.

Lähteet

Abuelsamid, Sam. 2019. Ford brakes with auto rivals by committing to C-V2X vehicle communications tech. Verkkoaineisto. <https://www.forbes.com/sites/samabuelsamid/2019/01/07/ford-becomes-first-automaker-to-commit-production-c-v2x-communications/#5620ac0a788f>. 7.1.2019. Luettu 2.5.2019.

Ajamisen tulevaisuus. 2019. Verkkoaineisto. Tesla <https://www.tesla.com/fi_FI/autopilot>. Luettu 5.5.2019.

Anderson, James; Kalra, Nidhi; Stanley, Karlyn; Sorensen, Paul; Samaras, Constantine & Oluwatola, Oluwatobi. 2014. Brief History and Current State of Autonomous Vehicles Verkkoaineisto. <https://www.jstor.org/stable/pdf/10.7249/j.ctt5hhwgz.11.pdf?refreqid=excelsior%3A3e70b75a3ee38adb75a397ce52243fcd>. Luettu 5.5.2019.

Aurora Intelligent Road. Verkkoaineisto. Traffic Management Finland (TMF).<https://tmfg.fi/fi/road/aurora-intelligent-road-section-e8>. Luettu 5.5.2019.

Automaation edistäminen tieliikenteen ajoneuvoissa. 2015. Verkkoaineisto. Trafi. <https://arkisto.trafi.fi/file-bank/a/1424379177/a8d819248b49d8ebebbfb7ef7cd6966d/16901-Trafi-_Tietokortti_Automaatio_tieliikenteessa.pdf>. 20.2.2015. Luettu 5.5.2019.

Automated Vehicles for Safety. Verkkoaineisto. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles>. Luettu 5.5.2019.

Bigelow, Pete. 2019. A new connected car battle: Cellular vs. DSRC. Verkkoaineisto. <https://www.autonews.com/mobility-report/new-connected-car-battle-cellular-vs-dsrc>. 3.2.2019. Luettu 2.5.2019

Bimbraw, Keshav. 2015. Autonomous Cars: Past, Present and Future – A Review of the Developments in the Last Century, the Present Scenario and the Expected Future of Autonomous Vehicle Technology. Verkkoaineisto. <https://www.researchgate.net/publication/283757446_Autonomous_Cars_Past_Present_and_Future_-_A_Re-

view_of_the_Developments_in_the_Last_Century_the_Present_Scenario_and_the_Expected_Future_of_Autonomous_Vehicle_Technology>. 01/2015. Luettu 5.5.2019.

The Grand Challenge. Verkkoaineisto. Defence Advanced Research Projects Agency.DARPA. <https://www.darpa.mil/about-us/timeline/-grand-challenge-for-autonomous-vehicles>. Luettu 5.5.2019.

Davies, Alex. 2018. The Wired Guide to Self-Driving Cars. Verkkoaineisto. Wired. <https://www.wired.com/story/guide-self-driving-cars/>. 13.12.2018. Luettu 5.5.2019

Edelstein, Stephen. 2018 Waymo self-driving cars are now covering 25,000 miles a day. Verkkoaineisto. <https://www.digitaltrends.com/cars/waymo-self-driving-cars-reach-8-million-miles-on-public-roads/>. 23.7.2018. Luettu 30.9.2019.

Fridman, Lex. 2018. MIT Deep Learning. Youtube. Verkkoaineisto. <https://www.youtube.com/watch?v=_OCjqIgxwHw&list=PLrAXtmErZgOeiKm4sgNOknGvNjby9efdf>. 20.1.2018. Viitattu 5.5.2019.

GACHA – Self-driving shuttle bus for all weather. 2019. Verkkoaineisto. Sensible4. <https://www.sensible4.fi/gacha/>. Luettu 5.5.2019.

Hawkins, Andrew. 2018. Volvo’s self-driving cars are getting new laser sensor to see the world. Verkkoaineisto. <https://www.theverge.com/2018/6/14/17458936/volvo-luminar-lidar-investment-self-driving>. 14.6.2018. Luettu 5.5.2019.

INRIX 2018 Global Traffic Scorecard. 2019. Verkkoaineisto. INRIX. <http://inrix.com/scorecard/>. Luettu 5.5.2019.

Innamaa, Satu., Kanner, Heikki., Rämä, Pirkko & Virtanen, Ari. 2015. Automaation lisääntymisen vaikutukset tieliikenteessä. Verkkoaineisto. <https://arkisto.trafi.fi/filebank/a/1461576365/fdb4c6b311fb1da01cf40bdf8fd33b5c/20473-Trafi_tutkimuksia_01-2015_-_Automaattiajaminen.pdf>. 22.1.2015. Luettu 2.5.2019.

Laakso, Juha., Vesanto, Aleksi. & Ritari, Jarno. 2018. Selvitys automaattiajamisen edellyttämistä tiedoista ja kehittämistarpeista. Liikenne- ja viestintäministeriö. Verkkoaineisto. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160503/LVM_19_2017_Automaattiajaminen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. 25.1.2018. Luettu 5.5.2019.

Laatikainen, Tuula. 2019. Video: Demoefekti iski bussia muistuttavaan piskuiseen Gacha-bussiin, mutta bussi tokeni nopeasti – uuden teknologian työllisyysvaikutukset askarruttavat jo nyt. Tekniikka & Talous. Verkkoaineisto. <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/autot/video-demoefekti-iski-bussia-muistuttavaan-piskuiseen-gacha-bussiin-mutta-bussi-tokeni-nopeasti-uuden-teknologian-tyollisyysvaikutukset-askarruttavat-jo-nyt-6760593>. 8.3.2019. Luettu 5.5.2019.

Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä. 2005. Verkkoaineisto. Finlex. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050503#L1P13>. 23.6.2005. Luettu 5.5.2019.

Liljamo, Timo., Liimatainen, Heikki., Pöllänen, Markus., Tiikkaja, Hanne., Utriainen, Roni & Viri, Riku. 2018. Automaattiautojen vaikutukset liikkumistottumuksiin. Verkkoaineisto. <https://arkisto.trafi.fi/filebank/a/1514986269/b5ae0319297711c948bcdb784cab7555/28956-Trafi_01_2018_Automaattiautojen_vaikutukset_liikkumistottumuksiin.pdf>. 5.1.2018. Luettu 5.5.2019.

Lin, Patrick. 2016. Why Ethics Matters for Autonomous Cars: 69-86. Teoksessa: Maurer, Markus., Gerdes, J. Christian., Lenz, Barbara & Winner, Hermann. 2016. Autonomous Driving. Technical, Legal and Social Aspects. Berlin, Heidelberg Springer

Lipson, Hod & Kurman, Melba. 2016. DRIVERLESS. Intelligent Cars and the Road Ahead. The MIT Press. Cambridge, Massachussetts, London, England.

Lumiaho, Aki. & Malin, Fanny. 2016. Tieliikenteen automatisoinnin etenemissuunnitelma ja toimenpideohjelma 2016–2020. Liikennevirasto. Verkkoaineisto. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2016-19_tieliikenteen_automatisoinnin_web.pdf>. 19/2016. Luettu 5.5.2019.

Meiners, Jens. 2017. First Drive: 2018 Audi A8. The Verge. Verkkoaineisto. <https://www.theverge.com/2017/10/6/16439432/first-drive-2018-audi-a8>. 6.9.2017. Luettu 5.5.2019.

Nelson, Patrick. 2016. Just One Automous Car Will Use 4,000 GB of Data/Day. Network World. Verkkoaineisto. <https://www.networkworld.com/article/3147892/one-autonomous-car-will-use-4000-gb-of-dataday.html>. 7.12.2016. Luettu 5.5.2019.

Osbun, Ashley. 2019. Autonomous Electric Cars Could Be Ready in 2019. Electronic Component News. Verkkoaineisto. <https://www.ecnmag.com/news/2019/01/autonomous-electric-cars-could-be-ready-2019>. 9.1.2019. Luettu 5.5.2019.

Our Journey. 2019. Verkkoaineisto. Waymo. <https://waymo.com/journey/>. Luettu 18.9.2019.

Pilli-Sihvola, Eetu., Miettinen, Kirsi., Toivonen, Kalle., Sarlin, Laura., Kiiski, Kimmo & Kulmala, Risto. 2015. Robotit maalla, merellä ja ilmassa. Liikenteen älykkään automaation edistämissuunnitelma. Liikenne- ja viestintäministeriö. Verkkoaineisto. <https://www.lvm.fi/documents/20181/514467/Julkaisuja+7-2015/1d7f13f3-409b-4957-8023-85d227b8585b?version=1.0>. 1.9.2015. Luettu 5.5.2019.

Quinn, James. 2017. Cameras: The Eyes of Autonomous Vehicles. Self Driving Cars. Verkkoaineisto. <https://sites.tufts.edu/jquinn/2017/10/10/cameras-the-eyes-of-autonomous-vehicles/>. 10.10.2017. Luettu 5.5.2019.

Reinicke, Carmen. 2018. Autonomous vehicles won't only kill jobs. They will create them, too. CNBC. Verkkoaineisto. <https://www.cnbc.com/2018/08/10/autonomous-vehicles-are-creating-jobs-heres-where.html>. 11.8.2018. Luettu 5.5.2019.

Road Safety. 2018. Verkkoaineisto. World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/facts-in-pictures/detail/road-safety>. 17.12.2018. Luettu 5.5.2019.

Rudolph, Gert. & Voelzke, Uwe. 2017. Three Sensor Types Drive Autonomous Vehicles. Verkkoaineisto. <https://www.sensorsmag.com/components/three-sensor-types-drive-autonomous-vehicles>. 10.11.2017. Luettu 5.5.2019.

SAE International Releases Updated Visual Chart for Its “Levels of Driving Automation” Standard for Self-Driving Vehicles. 2018. Verkkoaineisto. SAE International. <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>. 11.12.2018. Luettu 2.5.2019.

Sauliala, Tuomas. 2018. Autonominen auto tulee – rajattuna ja tieverkon avustuksella. Verkkoaineisto. <https://autovouhotus.fi/autonominen-auto-tulee-rajattuna-ja-tieverkon-avustuksella/>. 9.6.2018. Luettu 5.5.2019.

Sayer, James., Flannagan, Carol. & Leslie, Andrew. 2017. The Cost in Fatalities, Injuries and Crashes Associated with Waiting to Deploy Vehicle-toVehicle Communication. Verkkoaineisto. <http://umtri.umich.edu/sites/default/files/The%20Cost%20Associated%20with%20Waiting%20to%20Deploy%20DSRC.pdf>. 27.11.2019. Luettu 5.5.2019.

Silver, David. 2018. How Localization Works for Self-Driving Cars. LinkedIn. Verkkoaineisto. <https://www.linkedin.com/pulse/how-localization-works-self-driving-cars-david-silver>. 5.3.2018. Luettu 5.5.2019.

Stanford Racing. Technology. Verkkoaineisto. Stanford Racing. <https://cs.stanford.edu/group/roadrunner//old/technology.html>. Luettu 5.5.2019.

Tabora, Vince. 2018. Improving Self-Driving Car Safety and Reliability with V2X Protocols. Verkkoaineisto. <https://medium.com/self-driving-cars/improving-self-driving-car-safety-and-reliability-with-v2x-protocols-1408082bae54>. 26.7.2018. Luettu 5.5.2019.

Tervola, Janne. 2017. VTT:n robottiauto teki epävirallisen autonomisen auton nopeusennätyksen – selviytyy lumipeitteisellä tiellä. Verkkoaineisto. <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/vttn-robottiauto-teki-epavirallisen-autonomisen-auton-nopeusennatyksen-selviytyy-lumipeitteisella-tiella-video/97261130-7c63-32dc-b5ee-cd2cfdf76dc7>. 15.12.2017. Luettu 6.5.2019.

Tuppurainen, Manu. 2019. Robottiautojen suurin haaste on Suomen sää – HS hyppäsi itsestään ajavan auton Marilynin kyytiin. Verkkoaineisto.

<https://www.vttresearch.com/Documents/Smart%20and%20sustainable%20city/HS_Robottiauto_Marilyn_29042019.pdf>. 29.4.2019. Luettu 5.5.2019.

V2X Functional and Performance Test Report; Test Procedures and Results. 2018. Verkkoaineisto. 5GAA. <https://5gaa.org/wp-content/uploads/2018/11/P-180106-V2X-Functional-and-Performance-Test-Report_Final_051118.pdf>. 6.1.2018. Luettu 2.5.2019.

Vaikeisiin keleihin kehitetty Martti on nyt ensimmäinen lumen ja jään haastanut robottiauto. 2017. Verkkoaineisto. VTT. <https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/vaikeisiin-keleihin-kehitetty-martti-on-nyt-ensimm%C3%A4inen-lumen-ja-j%C3%A4%C3%A4n-haastanut-robottiauto>. 15.12.2017. Luettu 5.5.2019.

Valtakunnallinen liikennejärjestelmäsuunnitelma ja sen valmistelu. 2018. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto. <https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/5c4874c5-550c-4007-bbba-3b301593327c/8397b847-2d6f-440d-96bd-a57c1b40e70b/RAPORTTI_20181213102651.pdf>. 13.12.2018. Luettu 5.5.2019.

Vardhan, Harsha. 2017. HD Maps: New age maps powering autonomous vehicles. Geospatial World. Verkkoaineisto. <https://www.geospatialworld.net/article/hd-maps-autonomous-vehicles/ >. 22.9.2017. Luettu 5.5.2019.

Vincent, James. 2018. Global preferences for who to save in self-driving car crashes revealed. Verkkoaineisto. <https://www.theverge.com/2018/10/24/18013392/self-driving-car-ethics-dilemma-mit-study-moral-machine-results>. 24.10.2018. Luettu 5.5.2019.

VTT:n robottiauto Marilyn pysäköi kauempana olevaan halliin nyt täysin automaattisesti. 2018. Verkkoaineisto. VTT. <https://www.vtt.fi/medialle/uutiset/vtt-n-robottiauto-marilyn-pys%C3%A4k%C3%B6i-kauempana-olevaan-halliin-nyt-t%C3%A4ysin-automaattisesti>. 19.6.2018. Luettu 5.5.2019.

Yandex Demonstrates Self-driving Car on the Street of Las Vegas During CES 2019. 2019. Verkkoaineisto. Yandex. <https://yandex.com/company/blog?tag=self-driving%20car>. 19.3.2019. Luettu 5.5.2019.