

# Autonomiset autot

Matias Voltti

OPINNÄYTETYÖ  
Marraskuu 2021

Ajoneuvotekniikka  
Auto- ja työkonetekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Ajoneuvotekniikka  
Auto- ja työkonetekniikka

VOLTTI, MATIAS:  
Autonomiset autot

Opinnäytetyö 29 sivua, joista liitteitä 0 sivua  
Marraskuu 2021

---

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin mitä autonomiset autot ovat ja mitä autonominen ajaminen tarkoittaa. Työssä perehdyttiin sekä aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen että erilaisiin verkkoaineistoihin autonomisten ajoneuvojen teknologiasta, nykyyhetkestä ja tulevaisuudesta.

Autonomisilla eli itsestään ajavilla autoilla on jo melko pitkä historia ja useiden eri autonomian tasojen autoja onkin jo nykyään liikenteessä. Autojen täyteen automaatioon eli autonomian tasoon 5 on vielä pitkä matka. Opinnäytetyössä käytiin läpi mitä haasteita ja ongelmia tämä kehitysmatka pitää sisällään.

Autonomisten autojen nykYTEknologia hyödyntää erilaisia kameroita, tutkia ja antureita sekä tietokonetekniikkaa, joiden avulla se kykenee ajamaan itsenäisesti. Autonomisella ajamisella voidaan tulevaisuudessa saavuttaa suuri hyöty tieliikenneturvallisuudessa, ihmisten liikkuvuudessa sekä päästöjen vähentämisessä, joka näyttäytyy isossa roolissa nyky-yhteiskunnassa.

Suurimpina haasteina autonomisessa ajamisessa ovat eettiset ja tekniset ongelmat, päätöksenteko, erilaiset ajoympäristöt ja vaihtelevat sääolosuhteet, tieinfrastruktuuri sekä lait ja vakuutukset. Osaan ongelmista on keksitty jo ratkaisuja, mutta suurin osa on vielä kehityksen alla. Osaan haasteista liittyy myös suuria taloudellisia vaatimuksia, kuten esimerkiksi yhtenäisen ja toimivan autonomiseen ajamiseen soveltuvan tieinfrastruktuurin rakentaminen ja kehittäminen.

Tulevaisuudessa tullaan varmasti näkemään enenevässä määrin eri autonomian tasojen ajoneuvoja ja myöhemmin jopa täysin itsestään ajavia autoja. Tämä kehitys alemmista autonomian tasoista täysin itsenäisesti ajavaan autoon vie kuitenkin aikaa, eikä täysin autonomisia ajoneuvoja tulla vielä lähitulevaisuudessa näkemään kuin erilaisissa testiympäristöissä ja pilottihankkeissa. Testiympäristössä toimivien ratkaisujen käyttöönottoaminen ja laajentaminen koko tieverkolle tulee olemaan vaativa ja pitkäaikainen prosessi.

---

Asiasanat: autonomiset autot, autoteollisuus

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Vehicle engineering  
Industrial vehicle engineering

VOLTTI, MATIAS:  
Autonomous cars

Bachelor's thesis 29 pages, appendices 0 pages  
November 2021

---

This thesis studied what are autonomous cars and what is the meaning of autonomous driving. The work examined literature and online materials about technology, present and the future of autonomous cars.

The history of the autonomous cars is quite long and cars with several different levels of autonomy are already in traffic today. There is still a long way to go for the autonomy level 5, which is the full autonomy. Thesis covers the problems and the challenges of reaching the highest level of autonomy.

The technology of the autonomous car includes cameras, radars, sensors and computer technology to enable it to drive independently. Autonomous cars can bring great benefits in the future in terms of road safety, the mobility of people and the reduction of emissions, which is playing a major role in modern society.

The main challenges of autonomous driving are ethical and technical issues, decision making of autonomous car, different weather conditions, road infrastructure, laws and insurances in different countries. Some of the issues and challenges have already been solved, but most of them are still under development. Also, some of the challenges include great investments, for example developing the road infrastructure for the autonomous cars.

In the future we will see more levels of autonomous cars and later even fully autonomous driving. This development from the lower levels of autonomy to full autonomy will take time and we will not see level 5 autonomous cars in the near future, except in testing environments and pilot projects. Taking these tests and pilot projects among other traffic and making them available for all users will be challenging and a long-time process surely.

---

Key words: autonomous cars, automotive

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	AUTONOMIAN KÄYTTÖ AUTOISSA .....	6
2.1	Historia .....	6
2.2	Autonomian tasot .....	7
2.2.1	Taso 0–1 .....	8
2.2.2	Taso 2 .....	9
2.2.3	Taso 3 .....	9
2.2.4	Taso 4 .....	10
2.2.5	Taso 5 .....	10
2.3	Tekniikka .....	11
2.3.1	Kamerat .....	11
2.3.2	Kartat ja GPS .....	12
2.3.3	SLAM .....	12
2.3.4	Tutka ja ultraääni .....	13
2.3.5	LiDAR .....	14
2.3.6	Verkottuneisuus .....	15
3	NYKYHETKI JA TULEVAISUUS .....	16
3.1	Hyödyt .....	16
3.2	Autonomisen ajamisen haasteet .....	16
3.2.1	Päätöksen teko ja etiikka .....	17
3.2.2	Turvallisuushaaste .....	18
3.2.3	Muita haasteita .....	18
3.3	Autonomisten autojen nykytilanne .....	19
3.4	Tulevaisuus .....	22
4	POHDINTA .....	24
	LÄHTEET .....	25

## 1 JOHDANTO

Autonominen ajaminen on kiistatta osa ajoneuvojen tulevaisuutta. Autonominen ajamisen käsitteellä tarkoitetaan ajoneuvolla liikkumista paikasta toiseen ilman ajoneuvon kuljettajan suorittamia toimenpiteitä. Autonomiseen ajamiseen siirtyminen ei kuitenkaan tapahdu yhtäkkiä, vaan kohti täysin autonomista ajamista siirrytään useamman autonomian tason kautta. Autonominen ajamisen tasot ja niiden merkitykselliset piirteet on esitelty jäljempänä tässä opinnäytetyössä.

Nopean teknologisen kehityksen myötä autonominen ajaminen kehittyy kaiken aikaa ja siitä on nähtävissä selkeästi piirteitä jo tänä päivänä. Esimerkkeinä alati yleistyvistä autonomiseen ajamiseen liittyvistä alempien tasojen ominaisuuksista voidaan käyttää esimerkiksi erilaisia hätäjarru- ja pysäköintiavustimia. Lähes kaikissa uusissa autoissa etenkin laadukkaampien ja kalliimpien automerkkien kohdalla alkaa olla tämän tyyppisiä teknologisia ominaisuuksia, jotka ovat merkkejä autonominen ajamisen yleistymisestä. Useat alkuvaiheen autonomiseen ajamiseen liittyvät systeemit ja järjestelmät ovat tyyliltään tämän kaltaisia avustimia, jotka ennemminkin täydentävät kuljettajan ominaisuuksia, kuin vapauttavat kuljettajaa varsinaisesta ajamisesta. Hätäjarruavustin esimerkiksi havainnoi ympäristöä ja voi pysäyttää auton, mikäli kuljettaja ei reagoi yllättävään esteeseen riittävän nopeasti.

Eri tasoisia autonomisia eli itsestään ajavia autoja on tälläkin hetkellä tieliikenteessä jo jonkin verran, vaikka autonominen auto on kuitenkin kohtalaisen uusi keksintö. Jotta auto voi liikkua turvallisesti ilman kuljettajaa, se vaatii paljon erilaista navigaatio- ja sensoridataa. Datan avulla auto määrittää jatkuvasti esimerkiksi omaa sijaintiaan, nopeuttaan sekä ympäristönmuutoksia ja ajoympäristössä vallitsevia keliolosuhteita.

Tässä opinnäytetyössä on perehdytty autonominen ajamisen perusteisiin, historiaan autonomisten autojen kehityksestä sekä autonomisten ajoneuvojen tekniikkaan. Lisäksi työssä on esitelty sekä nykyhetken että tulevaisuuden projekteja sekä itseajavien autojen hyötyjä ja haasteita.

## 2 AUTONOMIAN KÄYTTÖ AUTOISSA

### 2.1 Historia

Autonomisen ajamisen historia saa juurensa vuodesta 1925, jolloin Houdina Radio Control esitteli New Yorkissa radio-ohjatun auton. Autossa oli useita sähkömoottoreita, joilla ohjattiin auton liikkumista. Autoa ohjattiin takana ajavasta toisesta autosta radiosignaaleilla. (Discovermagazine 2017.)

Vuosikymmenten aikana nähtiin useita eri insinöörien ja autotehtaiden projekteja itsestään ajavista autoista. Yksi näistä oli General Motorsin vuonna 1958 esittelemä autonominen auto. Testiradassa oli opastuslinja, jota auto seurasi itsestään käyttäen apuna auton keulassa olevia sensoreita. (Maurer & Gerdes & Lenz & Winner 2016, 53–54.)

Yhtenä suurimpana askeleena autonomisten autojen kehityksessä oli saksalaisen Ernst Dickmannin projekti VAMoRs vuonna 1984, joka kykeni ajamaan itsestään 20 kilometrin matkan enintään 96 km/h nopeudella. VaMoRs oli Mercedes-Benz 508 -pakettiauto, joka oli varusteltu useilla kameroilla sekä tietokoneilla. Auto oli ensimmäinen itsestään ajava auto, joka toimi vain kameroiden avustuksella. (Maurer ym. 2016, 59.)

Myöhemmin vuonna 1994 Ernst Dickmann tiimeineen oli osana kehittämässä Eureka PROMETHEUS-projektia, jossa kaksi Mercedes-Benz S-sarjan henkilöautoa VaMP ja VITA-2 ajoivat Ranskassa yli 1000 kilometriä kolmikaistaisella moottoritieellä enintään 130 km/h nopeudella. Autoissa oli neljä kameraa ja ajaminen suoritettiin tietokoneiden avulla. Kyseisen projekti toimi isona kehitysaskelleella autonomisten autojen kehityksessä. (Maurer ym. 2016, 59–60.) Kuvassa 1 on esitetty VaMoRs sekä VaMP -projektien autot.



KUVA 1. VaMoRs ja VaMP -projektit. (Russell 2015)

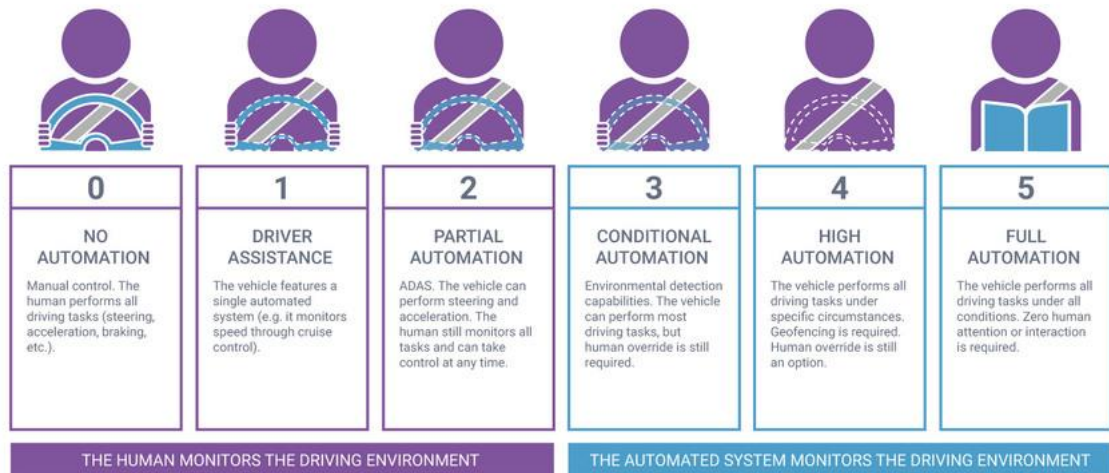
Vuodesta 2004 lähtien järjestetyt DARPA Grand Challenge -kilpailut ovat tuoneet uusia tekniikoita autonomiseen ajamiseen. Kilpailut järjestää Yhdysvaltojen asevoimien tutkimusjärjestö DARPA. Kilpailussa useat eri Yhdysvaltojen yliopistoiden tiimit kilpailevat itsekehitettyillä autonomisilla ajoneuvoilla tietyn matkan suoritusajasta. (Maurer ym. 2016, 63–64.)

## 2.2 Autonomian tasot

Autonominen ajaminen jaetaan 5–6:een eri tasoon. Käytännössä autonomian tasoja on 5, mutta mukaan lasketaan myös nollassa, joka tarkoittaa, ettei autossa ole autonomiaa. Tasoilla määritetään mitä eri toimintoja auto kykenee tekemään ilman kuljettajaa. Yleisesti ottaen tasoilla 0–2 ihminen tarvitaan vielä havainnoimaan ajoympäristöä, kun taas tasoilla 3–5 erilaiset järjestelmät havainnot ajoympäristöä, eikä ihmistä enää tarvita näin ollen ympäristön aktiiviseen havainnointiin. Autonomisen ajamisen tasot on havainnollistettu kuviossa 1. (The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained 2021.)

Keväällä 2018 ABIresearchin tutkijoiden laatiman ennusteen mukaan maailmassa tulee olemaan noin kahdeksan miljoonaa autonomista ajoneuvoa vuonna 2025. Tässä ennusteessa näiden kahdeksan miljoonan autonomisen ajoneuvon uskovan asettuvan autonomian tasoille 3–5. (ABIresearch 2018.)

## LEVELS OF DRIVING AUTOMATION



KUVIO 1. Autonomisen ajamisen tasot. (Synopsis. 2021.)

### 2.2.1 Taso 0–1

Suurin osa nykyään liikenteessä olevista ajoneuvoista asettuu tasolle nolla. Nol-latasolla tarkoitetaan sitä, että ajoneuvoa kontrolloidaan manuaalisesti, eikä siinä ole mitään autonomisia toimintoja, jotka auttaisivat ajamisessa. Ajoneuvon ajaminen on täysin kuljettajan vastuulla. Tasolla nolla ajoneuvossa voi kuitenkin olla kuljettajaa helpottavia ratkaisuja, kuten avustettu hätäjarrutus (ABS). (Synopsis A 2021.)

Taso yksi on varsinaisen autonomisuuden matalin ja näin ollen kehittymättömin taso. Ensimmäisellä autonomian tasolla tarkoitetaan tasoa, jolla kuljettajaa avustetaan. Tällaisia kuljettajaa avustavia toimintoja voivat olla esimerkiksi kaistavahti ja adaptiivinen vakionopeudensäädin, jotka kykenevät muuttamaan ajoneuvon nopeutta tai suuntaa havainnoimalla ympäristöä. Tällöin ajoneuvon kuljettajan täytyy kuitenkin itse huolehtia ajoneuvon muista ajamiseen liittyvistä asioista, kuten ohjauksesta ja jarruttamisesta. (Synopsis A 2021.)

### 2.2.2 Taso 2

Tasolla kaksi saavutetaan osittainen automaatio, jolla tarkoitetaan edistynyttä kuljettajan avustamista engl. ADAS (Advanced Driver Assistance Systems). Tällä tasolla ajoneuvo voi itsenäisesti kontrolloida sekä ohjausta että kiihdytystä ja jarrutusta. Esimerkkinä kaupallisessa ajoneuvossa käytössä olevasta tason kaksi autonomisuudesta voidaan käyttää esimerkiksi Teslan Autopilot -järjestelmää. (Synopsis A 2021.)

Autonomisen ajamisen tasolla kaksi käytettävien ADAS-järjestelmien tarkoituksena on estää liikennekuolemia ja loukkaantumisia vähentämällä auto-onnettomuuksien määrää. Tarkoituksena on myös estää onnettomuuksien vakavia vaikutuksia sellaisissa tilanteissa, joissa onnettomuutta ei voida kokonaan välttää. Tällaisia tasolle kaksi ominaisia ja turvallisuuden kannalta kriittisiä sovelluksia ovat esimerkiksi jalankulkijoiden havaitseminen, kaistavahti, liikennemerkkien tunnistus, automaattinen hätäjarru sekä kuolleen kulman avustin. (Synopsis B 2021.)

### 2.2.3 Taso 3

Tasolla kolme tarkoitetaan ehdollista automaatiota, jolloin ajoneuvo kykenee hoitamaan suurimman osan kuljettajan tehtävistä. Kuljettaa tarvitaan kuitenkin edelleen tarkkailemaan ajoneuvon itsenäistä suoriutumista liikenteessä sekä otta-  
maan ajoneuvon hallinnan tilanteissa, joissa järjestelmät eivät pysty toimimaan itsenäisesti. Kolmannen tason autonomisilla autoilla on muun muassa ominaisuuksia, joilla ne pystyvät havainnoimaan ympäristöä. Näiden ominaisuuksien avulla ajoneuvo kykenee itsenäisesti esimerkiksi kiihdyttämään hitaammin liikku-  
van ajoneuvon ohi. (Synopsis A 2021.)

Tason kolme autonomisesta ajoneuvosta esimerkkinä voidaan käyttää VAG-konsernin Audi -tuotemerkin alla kehittämää A8L -mallia. Kyseinen automallissa on käytetty Traffic Jam Pilot -järjestelmää, joka yhdistää lidar-skannerin edistyneisiin antureihin sekä prosessointitehoon. Järjestelmään on rakennettu myös sisäistä

redundanssia (toistetta), jota hyödynnetään, mikäli jokin prosessi järjestelmässä epäonnistuu. (Synopsys A 2021.)

#### **2.2.4 Taso 4**

Tasolla neljä tarkoitetaan korkean automaation tasoa. Tasolla neljä auto suoriutuu kaikista kuljettajan tehtävistä itsenäisesti. Suurin ero tasojen kolme ja neljä välillä on se, että tasolla neljä ajoneuvo osaa puuttua itsenäisesti järjestelmien toimintaan tilanteissa, joissa järjestelmissä on häiriötä tai ne eivät toimi toivotulla tavalla. Näin ollen autonomisen tason neljä ajoneuvot eivät vaadi aktiivista vuorovaikutusta ihmisen kanssa, mutta kuljettajan läsnäolo on kuitenkin edelleen pakollista ja ihmisellä on tarvittaessa mahdollisuus kuljettaa ajoneuvoa manuaalisesti. Tason neljä ajoneuvot kykenevät siis hyvin itsenäiseen ajamiseen ja voivat toimia itsenäisessä tilassa. Rajoituksena täysin itsenäiselle ajamiselle on kuitenkin vielä muun muassa lainsäädännön ja infrastruktuurin kehittyminen sekä maantieteellinen sijainti. (Synopsys A 2021.)

Tasolla neljä ajoneuvot voivat ajaa täysin itsenäisesti siis vain rajatulla alueella, jotka ovat tyypillisesti alhaisten nopeuksien kaupunkiympäristöjä. Tason neljä ajoneuvot ovat pääosin robottitaksin tyyppisiä kaupunkikeskustoissa käytettäviä ratkaisuja. Tällaisia ratkaisuja valmistavat muun muassa ranskalainen NAVYA, Alphabetin Waymo, kanadalainen Magna sekä ruotsalainen Volvo yhteistyössä kiinalaisen Baidun kanssa. (Synopsys A 2021.)

#### **2.2.5 Taso 5**

Tasolla viisi tarkoitetaan täyden automaation tasoa. Tasolla viisi kuljettajaa ei enää tarvita ajoneuvon kuljettamiseen. Ajoneuvo selviytyy liikkumisesta alusta loppuun kokonaan itse, eikä ajoneuvossa ole enää manuaalista kuljettamista mahdollistavia välineitä kuten ohjauspyörää tai polkimia. (Synopsys A 2021.)

Tasolla viisi ajoneuvot ovat riippumattomia maantieteellisestä sijainnistaan, ja ne voivat ajaa kaikkiin paikkoihin vastaavasti kuin kokenut kuljettajana toimiva

ihminen. Täysin autonomisten autojen kehittäminen on kovassa vauhdissa ympäri maailmaa, mutta niitä ei ole vielä julkisesti saatavilla. (Synopsys A 2021.)

## **2.3 Tekniikka**

Eri tasoiset autonomiset ajoneuvot tarvitsevat useammanlaista tekniikkaa suoriutuakseen turvallisesti erilaisista liikennetilanteista. Tyypillisesti autonomisten toimintojen saavuttamiseksi tarvitaan useita erilaisia ympäristöä havainnoivia sensoreita. Tällaisia sensoreita ovat esimerkiksi erilaiset kamerat, laserkeilaimet sekä radiotaajuus- ja ultraäänietäisyystutkat. Näiden erilaisten sensoreiden avulla tuotetaan ympäristöstä suuria määriä tarkkaa ja ajanmukaista tietoa. (Maanmittauslaitos 2021.)

Autonomisella ajoneuvolla täytyy olla kyky ymmärtää tätä sensoreiden tuottamaa tietoa. Autonomisessa ajamisessa käytettäviä sensoreita ja tekniikoita voidaan verrata ihmisen aisteihin. Ihminen pystyy useamman aistinsa yhtäaikaisella käytöllä tuottamaan itselleen luotettavan kuvan ympäristöstä. Ihmisen aistikokemus muuttuu välittömästi, mikäli esimerkiksi kuulo- tai näköaistia ei ole käytettävissä. Ihmisen lailla autonominen ajoneuvo saa ympäristöstä luotettavamman käsityksen, kun käytössä on useampia eri sensortyyppisiä ja tekniikoita, jolloin laskennallisten menetelmien on helpompi luoda luotettava käsitys ympäristöstä. (Maanmittauslaitos 2021). Näitä erilaisia autonomisissa ajoneuvoissa käytettäviä sensoreita ja tekniikoita on esitelty tarkemmin tämän kappaleen alaluvuissa 2.3.1–2.3.6.

### **2.3.1 Kamerat**

Autonomisissa autossa käytetään usein kameroita, joilla saadaan tarkkaa kuvaa ympäristöstä. Vaikka kamerat ovat halvimpia ja parhaiten saatavilla olevia sensoreita, ne vaativat ison määrän dataa toimiakseen. Tämä tarkoittaa siis sitä, että autoon rakennetuilta tietokoneilta vaaditaan paljon prosessointitehoa. Kamerat

ovat yksi parhaimmista tavoista havaita ympäristöä ja esineitä, sillä ne ovat tarkkoja ja tunnistavat värejä. Usein kameroita käytetään peruutuksissa sekä liikennemerkkien tunnistuksessa. (Herrmann & Brennet & Stadler 2018, 95–96.)

### **2.3.2 Kartat ja GPS**

Auton sijaintiin ja paikannukseen tarvitaan karttoja ja GPS-tietoja. Jotta auto voisi pysyä omalla kaistallaan ja kulkea siinä turvallisesti, pitää sijainti olla tiedossa erittäin tarkkaan. Maailman tieverkostot muuttuvat päivittäin uusien teiden, liikennevalojen, -merkkien sekä liikenteen muutosten myötä, joten karttoja täytyy päivittää jatkuvasti. Karttojen jatkuva päivittäminen autoihin tarkoittaa myös sitä, että autojen pitää olla yhteydessä verkkoon niiden päivittämiseksi. (Herrmann ym. 2018, 101–102.)

Autonomiset autot keräävät paljon eri sensoridataa ympäristöstään sen hetkellä sijainnillaan ja käyttävät sitä apuna autonomiseen toimimiseen, mutta ilman karttoja tai navigointitietoja se ei pysty ajamaan itsenäisesti. Esimerkiksi ohitustilanteissa karttatiedot kertovat ohituskaistan pituuden, leveyden, liikenteen nopeusrajoitukset sekä tiessä tulevat muutokset. Karttoja tekevien yritysten kuten Googlen, HERE:n ja TomTom:n kartat kattavat vain osan maailman tieverkostosta, sillä se on kokonaisuudessaan noin 31 700 000 kilometriä pitkä. (Herrmann ym. 2018, 101–103.)

### **2.3.3 SLAM**

SLAM-menetelmällä (Simultaneous Localization and Mapping) tarkoitetaan menetelmää, jossa yhtäaikaisesti sekä paikannetaan kohde että kartoitetaan ympäristöä. SLAM-menetelmän avulla voidaan ajoneuvon laserkeilaimien, kameroiden ja muiden sensorien tuottaman informaation avulla ratkaista yhtäaikaisesti sekä ajoneuvon suhteellinen liike että luoda sensorimittauksiin pohjautuva kartta lähi-alueesta. (Maanmittauslaitos 2021.)

SLAM-menetelmän periaate on siis se, että ajoneuvo tuottaa ympäristöstään karttaa, johon se pystyy yhtäaikaisesti paikantamaan itsensä. SLAM-menetelmä on siis yksi keino ratkaista ongelma, jossa autonomisen auton tulisi kyetä ajamaan ympäristössä, josta ei ole saatavilla valmista ja riittävän tarkkaa karttaa. SLAM-menetelmän avulla ajoneuvo kykenee siis navigoimaan itsenäisesti ennestään tuntemattomassa ympäristössä, tuottamalla siitä karttaa ja paikantamalla itsensä tälle tuotetulle kartalle. (AutovisionNews 2021.)

Menetelmä perustuu hyvin vahvasti erilaisiin todennäköisyyslaskennan periaatteisiin. Siinä tehdään päätelmiä aikaisempien tilojen ja mittausten todennäköisyysjakaumista sekä niiden välisestä suhteesta. Näin ollen menetelmän suurin haaste on sen laskennallinen monimutkaisuus. Ajoneuvon ympäristön ulottuvuuden ja suoritettavien mittausten määrän kasvaessa laskelmat vaikeutuvat, jolloin laskelmista saatavat tulokset ovat kompromisseja monimutkaisuuden ja tarkkuuden välillä. (Towards Data Science 2019.)

### **2.3.4 Tutka ja ultraääni**

Tutka eli RADAR (Radio Detection and Ranging) tarkoittaa mittalaitetta, jonka toiminta perustuu sähkömagneettisiin- eli radioaaltoihin. Tutka lähettää radioaaltoja ja mittaa aikaa, kuinka kauan radioaallon palautuminen kohteesta heijastumisesta kestää. Jos tutkan lähettämän radioaallon eteen ei tule objektiä, josta heijastua takaisin, radioaalto jatkaa kulkua eteenpäin. Tutkalla voidaan mitata kohteen etäisyys, suunta sekä nopeus. Tutkia käytetään ajoneuvoissa usein adaptiivisissa eli mukautuvissa vakionopeudensäätimissä. Tutkat mittaavat edessä ja takana olevien ajoneuvojen nopeuksia sekä etäisyyksiä ja säätää auton nopeutta niiden mukaan. Tutkia käytetään myös kuolleenkulmantunnistimissa, jolloin ajoneuvo ilmoittaa sivututkien avulla, jos kuollessa kulmassa on auto, jota ei välttämättä sivupeileistä näe. (Lipson & Kurman 2016, chapter 9.)

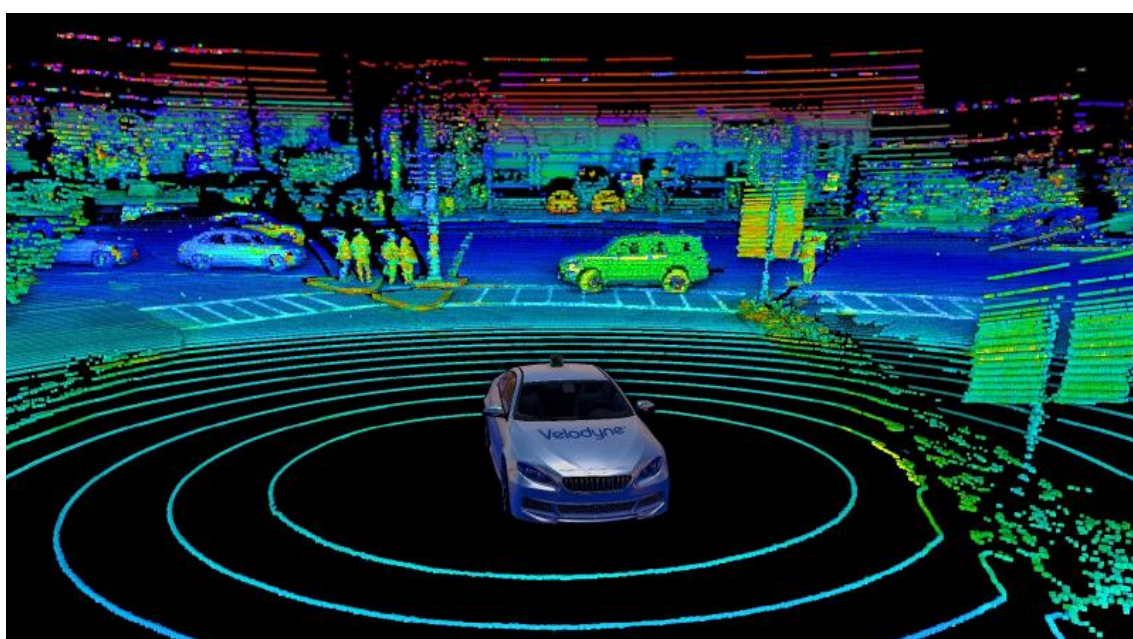
Ultraäänisensori eli sonar (sound navigation and ranging) on käytännössä sama kuin tutka, mutta se käyttää radioaaltojen sijaan ultraääniaaltoja. Ultraäänisensorit havaitsevat myös pienet esineet tarkemmin, sillä ääniaallot kulkevat radioaal-

toja hitaammin. Ääniaaltoihin ei vaikuta sumu, pöly tai aurinko, mutta tuulen vaikutus on ongelma pidempiä matkoja mitatessa. Tästä johtuen ultraäänisensoreita käytetäänkin usein vain lyhyempien etäisyyksien mittaukseen kuten auton parkkeerauksessa. (Lipson & Kurman 2016, chapter 9.)

### 2.3.5 LiDAR

LiDAR (Light Detection and Ranging) on peruseriaatteeltaan sama kuin radioaalloilla toimiva etäisyystutka, mutta se toimii laservalosäteillä. LiDAR lähettää miljoonia lasersädepulsseja ympärilleen joka sekunti ja mittaa, kuinka kauan kestää säteiden takaisin heijastuminen pinnoilta. Säteiden perusteella järjestelmä luo 3D-kuvaa ympäristöstä ja mitä enemmän järjestelmässä on lasersäteitä, sitä tarkempaa kuvaa ympäristöstä saadaan.

Yleisimpiin tutkiin verrattuna lasersäteitten aallonpituudet ovat huomattavasti pienempiä kuin radioaaltojen ja sen vuoksi kuvista saadaan tarkempia. Yksi LiDAR-tekniikan tunnetuimmista käyttäjistä ajoneuvoalalla on Googlen robottiautoprojekti Waymo. Kuviossa 2 on esitetty Velodyne Lidar-tekniikan tuottama LiDAR-kuvaa ympäristöstä. (Lipson & Kurman 2016, chapter 9 ; Brandt 2017.)



KUVIO 2. LiDAR 3D-kuva. (I-MicroNews. 2019.)

### 2.3.6 Verkottuneisuus

Verkottuneisuudella tarkoitetaan sitä, että autot käyttävät toiminnassa tiedonsiirtoa ja se tapahtuu verkkoyhteyden kautta. Tiedonsiirtoa on useita eri tyyppiä kuten ajoneuvojen keskinäistä yhteyttä (V2V), ajoneuvon ja infrastruktuurin välistä yhteyttä (V2I) ja ajoneuvon tiedonsiirtoa kaikkeen siihen liittyvään ympärillä olevaan verkottuneisuuteen (V2X). Tiedonsiirto koskee esimerkiksi auton itse keräämien tietojen, kuten nopeus- ja sijaintitietojen sekä anturidatan jakamista muille ajoneuvoille tai liikenteenohjaukselle lähialueilla. Verkottuneisuuden tarkoituksena on parantaa liikenneturvallisuutta, mutta sillä saavutetaan myös muita etuja: liikenteen sujuvuus sekä ajan ja energian säästäminen. (Lipson & Kurman 2016, chapter 7.)

Verkottuneisuutta on kehitetty kahta eri tyyppiä. Aluksi kehitetty tyyppi DSRC (Dedicated Short Range Communication) perustuu paikallisiin wlan-yhteyksiin, jotka toimivat autoihin sekä tieinfrastruktuureihin sijoitetuista tiedonsiirtojärjestelmistä. DSRC pystyy jakamaan tietoa ajoneuvojen kesken sekä infrastruktuurin kanssa. (Newtech 2018.)

C-V2X (Cellular Vehicle to Everything) on toinen verkottuneisuuden tyyppi, joka käyttää jo olemassa olevia LTE-verkkoja eli mobiiliverkkoyhteyksiä. C-V2X:n etuna on mahdollisuudet suurempiin tiedonsiirtokokonaisuuksiin V2V ja V2I lisäksi, kuten esimerkiksi yhteys ympärillä oleviin jalankulkijoihin matkapuhelinten kautta. Ongelmana kuitenkin on tietoturvallisuus sekä verkkoyhteyden varmuus joka tilanteessa. 5G-verkon yleistyessä näistä ongelmista on mahdollista päästä eroon. (5GAA 2021.)

### 3 NYKYHETKI JA TULEVAISUUS

#### 3.1 Hyödyt

Autonomisilla autoilla pyritään saavuttamaan hyötyjä, jota normaaleilla autoilla ei kyetä saamaan. Päästöt ovat suuressa roolissa, kun mietitään autonomisten autojen hyötyjä. Autonomisilla autoilla voidaan vähentää päästöjä merkittävästi, esimerkiksi reittien suunnitteluissa, liikennejärjestelmän sujuvuudessa sekä energian säästämällä. Kun liikenne on sujuvaa, ruuhkatkin vähenevät. (Laakso 2018.)

Yhtenä merkittävimpänä tavoitteena autonomisella ajamisella on turvallisuus. Autonomiset autot havaitsevat ja reagoivat ihmistä nopeammin ja tällöin voidaan välttää iso määrä onnettomuuksia. Arvion mukaan 90 % auto-onnettomuuksista johtuu ihmisen tekemästä virheestä. (Litman 2021.)

Itsestään ajavilla autoilla voidaan saavuttaa liikkuvuus myös vanhoille sekä liikuntarajoitteisille ihmisille. Tehokkuus on yksi saavutettavissa oleva hyöty sekä liikenteessä että myös muussa toiminnassa, kun ajomatkan voi käyttää muuhun tekemiseen kuin ajamiseen. (Laakso 2018.)

#### 3.2 Autonomisen ajamisen haasteet

Autonomiseen ajamiseen siirtymisen edellytyksenä on ratkaista todella suuri määrä haasteita, ennen kuin autot voivat ajaa ilman kuljettajan toimintoja. Vaikka tekniikka on hyvin kehittynyttä ja siihen panostetaan jatkuvasti, haasteita on silti riittävästi. Yksi ihmisen ja erilaisten teknologisten järjestelmien keskeisistä eroista on ongelmanratkaisukyky ja odottamattomiin tilanteisiin reagoiminen. Siinä missä teknologiset järjestelmät voivat suorittaa selvästi ihmistä tehokkaammin erilaisia säännöllisiä prosesseja, ihminen voi yleisen elämäkokemuksen turvin reagoida moniin erilaisiin liikenteessä vastaan tuleviin yllättäviin tilanteisiin loogisella ja järkevällä tavalla. Teknologian tukena näissä haasteissa voidaan käyttää tekoälyä sekä koneoppimista.

Esimerkkinä tilanteesta, jossa ihminen ja hätäjarruavustin voisivat tehdä erilaisen ratkaisun voisi olla maantienopeudessa tielle yhtäkkiä ilmestyvä pieneläin, esimerkiksi jänis. Hätäjarruavustimen reagoiessa tällaiseen, voisi se pahimmassa tapauksessa aiheuttaa vaaratilanteen. Ihminen taas voisi hyväksyä ajoneuvonsa muoviosien mahdollisen rikkoontumisen ja jättää väistöliikkeen tekemättä. Näin ollen ihminen olisi voinut nopealla ja loogisella päättelyllään välttää väistöliikkeestä mahdollisesti aiheutuvan vaaratilanteen ja siitä seuraavan terveydellisen riskin. Tämän tilalta ihminen olisi hyväksynyt päättelynsä aikana pienen taloudellisen riskin auton pintarakenteiden vaurioitumisesta.

Esimerkin tilanteeseen vaikuttavia asioita ovat tietenkin myös muun liikenteen määrä ja vallitsevat ajo-olosuhteet. Etenkin pimeällä ja liukkaalla kelillä väistöliikkeestä aiheutuva riski on todennäköisesti suurempi kuin jänikseen törmäämisessä. Toisaalta taas hyvissä ajo-olosuhteissa ja muun liikenteen ollessa vähäistä väistöliikkeestä aiheutuva riski ei kohoa kovin korkeaksi ja tällöin kuljettaja voi haluta suojella autoaan vaurioitumiselta tekemällä väistöliikkeen. Tämän kaltaisten teknisten järjestelmien toimivuuteen liittyvien ongelmien lisäksi haasteita aiheuttaa eri maiden lainsäädännöt, erilaiset tieinfrastruktuurit sekä sääilmiöt ja eettiset haasteet.

### **3.2.1 Päätöksen teko ja etiikka**

Päätöksen tekoon liittyen on esitetty monia erilaisia tilanteita, joissa autonomisen auton täytyy päättää pelastaako kuljettajan vai ulkopuolisen henkilön tai esimerkiksi 8-vuotiaan vai 80-vuotiaan, jos kolaritilanteessa täytyy valita mihin suuntaan väistetään. Jos auto suojelee kuljettajaa, tulisi silloin valita kevyin kohde, joka tarkoittaisi 8-vuotiaan päälle ajamista. Jos taas auto suojelisi ulkopuolisia henkilöitä, sen tulisi valita esimerkiksi rekkaa päin ajamisen pienen auton sijaan. Eettisesti ajateltuna kaikissa vaihtoehdoissa on omat puolensa ja olisi väärin antaa auton päättää tällaisista, mutta mitä pidemmälle autonomiset autot kehittyvät, sitä enemmän niiltä vaaditaan. (Maurer ym. 2016, 69–72.)

Päätöksen tekoon on esitetty törmäysten optimointia, joka tarkoittaisi sitä, että auto ohjelmoitaisiin valitsemaan vähiten tuhoa tekevä kohde, esimerkiksi Volvon katumaasturi tai muu, joka on saanut hyvät arvostelut törmäystesteissä. Se kuitenkin vaatisi sen, että auto tunnistaisi tarkasti ulkopuoliset kohteet. Ongelmia eettisten kysymysten kannalta on paljon ja autovalmistajat joutuvatkin tekemään jatkuvasti töitä niiden selvittämisissä. (Maurer ym. 2016, 72–82.)

### **3.2.2 Turvallisuusuhka**

Autonomisten autojen käyttäessä tekoälyä ja verkkoyhteyksiä tarkoittaa sitä, että se on altis niin konkreettisille kuin myös kyberhyökkäyksille. Konkreettisia sabotointeja voi olla esimerkiksi liikennemerkkien tuhriminen, jolloin auto ei tunnista stop-merkkiä. Ajoneuvon ollessa verkossa se on altis kyberhyökkäyksille samalla tavalla kuin mikä tahansa muu verkossa oleva laite, kuten tietokone tai älypuhelin. (Enisa 2021.)

Euroopan unionin kyberturvallisuusviraston (Enisa) julkaisemassa raportissa on käyty läpi autonomisten autojen turvallisuusuhkia ja niihin valmistautumisia. Enisan mukaan turvallisuuden varmistamiseksi autojen tekoälykomponenteille tulisi tehdä turvallisuustarkastuksia koko elinkaaren ajan sekä tehdä jatkuvasti riskianalyyskejä vaaratilanteiden ennakoimiseksi. Myös ajoneuvoteollisuuden tulisi ottaa tietoturva huomioon jo suunnittelu- ja käyttöönottoaiheessa. (Enisa 2021.)

### **3.2.3 Muita haasteita**

Autonomista ajamista on testattu usein isoilla ja suorilla tieosuuksilla kuten Japanissa moottoriteillä ja Autobahnalla Saksassa. Pienemmillä sekä huonokuntoisemmilla teillä ajaminen vaikeutuu heti kun tieosuudet ovat vaikeammin havaittavissa ja karttapalvelut eivät tunne kaikkia teitä.

Suomessa siirryttiin keltaisesta tiemerkinnästä valkoiseen väriin. Tässä oli taustalla myös autonomisten autojen huomioiminen. Valkoinen tiemerkintä näkyy paremmin kameraan kuin keltainen, mutta ongelmana on, että valkoinen väri kuluu

helpommin. Talvisin maassa olevan lumen vuoksi kaistojen hahmottaminen on kuitenkin hyvin vaikeaa auton tutkille ja kameroille. (Koskinen 2020.)

Yhtenä merkittävänä haasteena autonomisessa ajamisessa on erilaiset sääolosuhteet. Osa autoissa käytettävästä tekniikasta pystyy toimimaan vaikeissa sääolosuhteissa, mutta suurimmalle osalle se tuottaa ongelmia, esimerkiksi auton keulaan pakkautuva lumi kovalla pyryllä voi estää tutkien ja kameroiden toiminnan kokonaan.

Autonomisten autojen testaus ja etenkin liikenteeseen ottaminen aiheuttaa ongelmia monien maiden lakien ja vakuutusten kanssa. Laki voi esimerkiksi vaatia autoon kuljettajan paikalle aina ihmisen. Suomessa tilanne on hyvä sen osalta, että esimerkiksi testilupia saadaan suhteellisen helposti, laajan turvallisuuskartoituksen jälkeen (VTT 2020.)

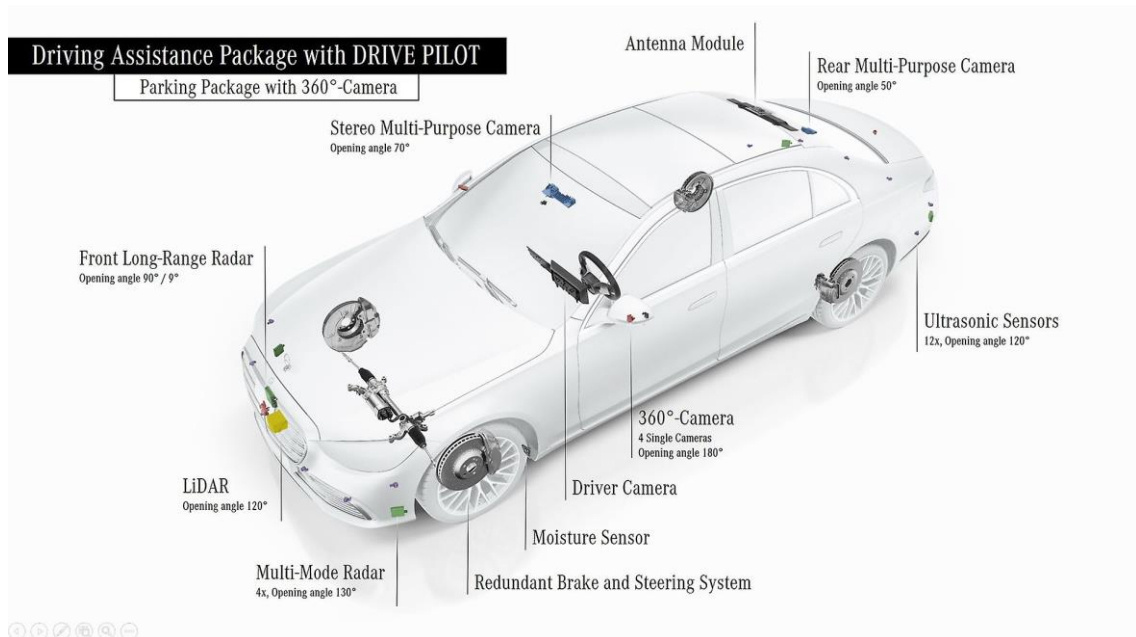
Vakuutusten osalta haasteita aiheuttaa korvattavuuskysymys onnettomuustilanteissa. Kuka korvaa, kun itseajava auto törmää johonkin tai aiheuttaa onnettomuuden. Tästä esimerkkinä Mercedes-Benzin Drive Pilot- järjestelmän insinööri Ralph Klingel kertoo valmistajan ottavan vastuun auton itseajavuudesta. (Kaupalehti 2021.)

### **3.3 Autonomisten autojen nykytilanne**

Tällä hetkellä liikenteessä on useita autonomisia autoja. Useissa uusissa autoissa on tason 1 autonomisia varusteita. Paremmin varustelluissa autoissa on jo tason 2 autonomia ja joissain premium-autoissa on tason 3 autonomian varusteita. Näitä premium-autoja valmistavat esimerkiksi Honda ja Mercedes-Benz.

Mercedes-Benz on kehittänyt Drive Pilot -järjestelmän, joka kykenee ajamaan itsestään Saksan moottoriteillä alle 60 km/h nopeudella. Alkuun valmistaja tuo Drive Pilotin markkinoille vain Saksassa. Järjestelmä on tarkoitettu ruuhka-ajamiseen, jolloin kuljettaja voi keskittyä muuhun tekemiseen ajon aikana. Tekniikkana autossa on radioaalto- sekä ultraäänitutkia, kameroita ympäri autoa, kartat ja

GPS-tiedot sekä Lidar-tutka. (Kauppalehti 2021.) Auton rakenne on esitetty kuviossa 3.



KUVIO 3. Mercedes-Benz Drive Pilot -tekniikka (Daimler 2021)

Alphabetin Waymo aloitti elokuussa 2021 autonomisen auton testaukset San Fransiscossa. Auto on Jaguarin I-Pace katumaasturi, joka on varusteltu Waymon autonomisella tekniikalla. Kuvassa 2 näkyy Waymon varustelema autonominen auto. (Reuters 2021.)



KUVA 2. Waymon varustelema Jaguar I-Pace autonominen auto. (Reuters 2021)

Testauksissa auton matkustajiksi otetaan paikallisia asukkaita ja auton kuljettaja istuu penkillä kädet reisillä valmiina ottamaan ohjat tarvittaessa autosta. Yrityksen tavoitteena on saada niin sanottu ”robottitaksi” julkiseen liikenteeseen kolmen vuoden sisään. (Reuters 2021.)

Maaliskuussa 2021 Honda toi markkinoille auton, jossa on tason 3 autonomian varustelu nimeltä Sensing Elite. Auto on maailman ensimmäinen markkinoilla oleva tason 3 auto. Japanin hallitus hyväksyi Sensing Elite -järjestelmän käytön liikenteessä. Autonomisella varustuksella olevaa Honda Legend autoa myydään vain 100 kappaleen rajoitettu erä noin 102 000 dollarin hintaan. (AutoX 2021.)



KUVIO 4. Honda Legend autonominen auto (Hondanews. 2021)

Sensing Elite -varusteisiin kuuluu ruuhkapilotti, jolloin auto kykenee ajamaan itseksensä ruuhkaisessa liikenteessä sekä suorittamaan kaistan vaihdot ja kaistalla pysyminen ilman, että kuljettaja ohjaa autoa. Autossa on myös hätäjarrutustoiminto vaaratilanteisiin sekä ilmoitusjärjestelmä kun kuljettajan täytyy ottaa auto hallintaan. Auton järjestelmän kehityksessä simuloitiin yli 10 miljoonaa tosielämän tilannetta ja autolla ajettiin testiajoa yli 1,3 miljoonaa kilometriä moottoritiellä. (Hondanews. 2021.) Kuviossa 4 on esitetty Honda Legend henkilöauto ja sen näköaluetta eri suuntiin.

Myös Suomessa on nähty jonkin verran autonomisten autojen kokeiluja ja projekteja. Esimerkkinä viime syksynä Tampereella testiajoja tehnyt Roboriden ja VTT:n kehittämä robottiauto (kuva 3). Auto liikkui noin 20 km/h nopeudella itenäisesti muun liikenteen seassa, kuitenkin auton sisällä olevan turvakuljettajan kanssa. Roboriden toimitusjohtaja Tatu Nieminen kertoo lainsäädännön olevan suotuisa autonomisten autojen testaamiseen ja Suomessa saadaan testilupia helpommin kuin esimerkiksi Kiinassa, Saksassa tai Ranskassa. (VTT 2020.)



KUVA 3. Roboauton robottiauto (VTT 2020)

### 3.4 Tulevaisuus

Liikkumisen tulevaisuuden isoa kuvaa katsottaessa autonominen liikenne on yksi suurimpia muutossuuntia. Autonominen ajamisen tulevaisuuteen vaikuttavat kuitenkin varsinaisen autonomiseen ajamiseen tarvittavien teknologisten järjestelmien kehittymisen ohella myös monet muut asiat. Näitä asioita ovat esimerkiksi autonominen ajamisen huomioiva lainsäädäntö sekä laajamittaiset investoinnit sekä fyysiseen että digitaaliseen liikenneinfrastruktuuriin. (Autotuojat 2020.)

Lainsäädännön osalta lienee selvää, että lainsäädäntö on askeleen jäljessä tämän tyyppistä teknologista kehitystä. Tarkoituksen mukaisten lakien säätämiseksi on oltava olemassa jonkinlainen käsitys lainsäädännän kohteena olevasta aiheesta. Näin ollen autonomista ajamista koskevien lakien säätämiseksi täytyy olla riittävät tiedot tulevaisuuden autonomisesta ajamisesta ja sen kehityssuunnasta. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi testiympäristöissä toimivat pilotihankkeet ja kokeelliset autonomiset ajoneuvot eivät kuitenkaan ole suoraan kelpollisia ja laillisia liikenteeseen. (Autotuoajat 2020.)

Liikenneinfrastruktuurin osalta tulevaisuus vaatii yhdenmukaisuutta autonomiseen ajamiseen soveltuvan fyysisen ja digitaalisen liikenneympäristön suunnittelussa ja kehittämisessä. Fyysisellä liikenneympäristöllä tarkoitetaan varsinaista tieinfraa sekä siihen liittyviä fyysisiä toimintoja, kuten esimerkiksi liikenteenohjausta. Digitaalisen liikenneympäristön käsitä taas sisältää liikenteeseen liittyviä digitaalisia ominaisuuksia, kuten ajoneuvojen keskinäisen verkottuneisuuden. Tämä taas edellyttää tietojärjestelmien kehitystä sekä kyberturvallisuuteen liittyvien haasteiden huomiointia. (Autotuoajat 2020.)

Muun muassa näiden autonomisen ajamisen tulevaisuuteen liittyvien haasteiden vuoksi autonomisten ajoneuvojen ilmestyminen liikenneympäristöön ei tule tapahtumaan yhtäkkiä, eikä kaikkialle yhtä aikaa. Todennäköisesti autonomisten ajoneuvojen ilmestyminen liikenneympäristöön tulee tapahtumaan vaiheittain myös maiden sisällä. Yleistymiseen vaikuttavat edellä mainittujen seikkojen lisäksi myös tieverkon taso ja kunnossapitoluokka. Ensimmäiset autonomiset ajoneuvot tullaan näkemään todennäköisesti siis korkealuokkaisilla pääväylillä, joilla myös kunnossapitoon panostetaan huomattavasti alemmaa tieverkkoa enemmän.

## 4 POHDINTA

Autonomisen ajamisen kokonaisuus on hyvin mielenkiintoinen kehityssuunta liikkumisen saralla. Matkalla kohti täysin autonomista ajamista tullaan varmasti näkemään pienempiä kehitysaskelaita, jotka kuitenkin asettavat merkittäviä virs-tanpylväitä ajoneuvoliikenteen aikajanelle.

Uskoisin autonomisten ajoneuvojen kehityksen näkyvän tavallisten kuluttajien arkielämässä lähitulevaisuudessa pääasiassa jonkinlaisina yksinkertaisina osina joukkoliikennettä. Osana joukkoliikennejärjestelmää voidaan tulevaisuu-  
dessa nähdä esimerkiksi erilaisia syöttöliikenteen reittejä, joita voidaan operoida robottibussein. Tällaisista autonomisen ajamisen pilottihankkeista löytyy esi-  
merkkejä Suomestakin. Tällaisten ratkaisujen avulla voidaan tehostaa joukkoli-  
kennejärjestelmän käyttöä, kun ilman uusia henkilöresursseja saadaan entistä  
suurempi määrä ihmisiä jonkin tietyn alueen joukkoliikennejärjestelmän piiriin.

Uskoisin autonomisen ajamisen yleistymisen lähtevän liikkeelle sellaisten sel-  
västi suurempien tuloluokkien edustajien keskuudessa, jotka ovat hyvin teknolo-  
giaorientoituneita ja valmiita panostamaan siihen. Keskimääräisen tulotason  
omaavien palkansaajien ulottuville autonomisen ajamisen ajoneuvot tulevat vä-  
hitellen arviolta joidenkin vuosien kuluttua tästä, kun ensimmäiset mallit ovat  
saapuneet markkinoille. Vastaava ilmiö on Suomessa huomattavissa tällä het-  
kellä sähköautojen yleistymisen etenemisessä.

## LÄHTEET

ABIresearch. 2018. ABI research Forecast 8 Million Vehicles to Ship with SAE Level 3,4 and 5 Autonomous Technology in 2025. Päivitetty 17.4.2018. Luettu 6.5.2021. <https://www.abiresearch.com/press/abi-research-forecasts-8-million-vehicles-ship-sae-level-3-4-and-5-autonomous-technology-2025/>

Autotuojaat. 2020. Linjaukset. Autonomisen liikenteen kehitys. Luettu 17.11.2021. [https://www.autotuojaat.fi/linjaukset/autonomisen liikenteen kehitys](https://www.autotuojaat.fi/linjaukset/autonomisen_liikenteen_kehitys)

AutovisionNews. 2021. How SLAM Works for Self-Driving Cars: A Brief but Detailed Overview. Luettu 9.5.2021. <https://www.autovision-news.com/sensing/how-slam-works/>

AutoX. 2021. World's first certified level 3 autonomous car to hit streets of Japan. Päivitetty 5.3.2021. Luettu 3.11.2021. <https://www.utox.com/news/car-news/worlds-first-certified-level-3-autonomous-car-to-hit-streets-of-japan-109099/>

Brandt, E. The Drive. 2017. Lidar vs Radar: Pros and Cons of Different Autonomous Driving Technologies. Päivitetty 12.12.2017. Luettu 14.5.2021. <https://www.thedrive.com/article/16916/lidar-vs-radar-pros-and-cons-of-different-autonomous-driving-technologies>

Daimler. 2016. "VaMP" research project on autonomous driving. A Mercedes-Benz 500 SEL furnished functional verification of the technology in 1994. Luettu 16.9.2021. <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/picture/S-Klasse-Baureihe-140-Prometheus-VaMP--Vita2.xhtml?oid=9268914>

Daimler. 2021. Easy Tech: Conditionally automated driving with the DRIVE PILOT. Päivitetty 29.7.2021. Luettu 3.11.2021. <https://www.daimler.com/magazine/technology-innovation/easy-tech-drive-pilot.html>

Discovermagazine. 2017. The 'Driverless' Car Era Began More Than 90 Years Ago. Luettu 16.9.2021. <https://www.discovermagazine.com/technology/the-driverless-car-era-began-more-than-90-years-ago>

Enisa. 2021. Cybersecurity Challenges in the Uptake of Artificial Intelligence in Autonomous Driving. Päivitetty 11.2.2021. Luettu 14.11.2021. <https://www.enisa.europa.eu/news/enisa-news/cybersecurity-challenges-in-the-uptake-of-artificial-intelligence-in-autonomous-driving>

Herrmann, A. Brennet W. & Stadler, R. 2018. Autonomous driving : how the driverless revolution will change the world . Bingley: Emerald Publishing.

Hondanews. 2021. Honda launches next generation Honda SENSING Elite safety system with Level 3 automated driving features. Päivitetty 4.3.2021. Luettu 3.11.2021. <https://hondanews.eu/eu/lv/corporate/media/pressreleases/329456/honda-launches-next-generation-honda-sensing-elite-safety-system-with-level-3-automated-driving-feat>

I-MicroNews. 2019. LiDAR gets ready for automotive mass-market – An interview with Velodyne. Luettu 9.5.2021. <https://www.i-micronews.com/how-lidar-is-getting-ready-for-the-automotive-mass-market-an-interview-with-velodyne/>

Kauppalehti. 2021. Mercedes sen teki: Koeajomme kolmannen tason autonomista autoa, joka ajaa liikenteessä itse kesästä 2021 lähtien – ”Otamme turvallisuudesta täyden vastuun”. Päivitetty 20.3.2021. Luettu 3.11.2021. <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/mercedes-sen-teki-koeajomme-kolmannen-tason-autonomista-autoa-joka-ajaa-liikenteessa-itse-kesasta-2021-lahtien-otamme-turvallisuudesta-tayden-vastuun/5ba39532-f1e5-4b5c-b515-00a550c0380f>

Koskinen, A. 2020. Yle. Keltaiset viivat poistuvat kohta Suomen maanteiltä – syynä insinöörien näkemykset väristä, robottiautot ja laki. Päivitetty 15.9.2020. Luettu 10.11.2021. <https://yle.fi/uutiset/3-11539676>

Laakso, J. Vesanto, A. & Ritari, J. 2018. Selvitys automaattiajamisen edellyttämistä tiedoista ja kehittämistarpeista. Liikenne- ja viestintäministeriö. Luettu 16.9.2021. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160503/LVM\\_19\\_2017\\_Automaattiajaminen.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160503/LVM_19_2017_Automaattiajaminen.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Lipson, H. & Kurman, M. 2016. Driverless: intelligent cars and the road ahead. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

Litman, T. 2021. Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Päivitetty 5.11.2021. Luettu 16.11.2021. <https://www.vtpi.org/avip.pdf>

Maanmittauslaitos. 2019. Autonominen ajaminen. Päivitetty 29.5.2019. Luettu 9.5.2021. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/autonominen-ajaminen>

Maurer, M. & Gerdes, J. & Lenz, B. & Winner, H. 2016. Autonomous Driving Technical, Legal and Social Aspects. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Newtech. 2018. DSRC – vehicle-to-vehicle communication and data protection. Päivitetty 27.4.2018. Luettu 14.11.2021. <https://newtech.law/en/dsrc-vehicle-vehicle-communication-and-data-protection/>

Reuters. 2021. Google self-driving spinoff Waymo begins testing with public in San Francisco. Päivitetty 25.8.2021. Luettu 3.11.2021. <https://www.reuters.com/technology/google-self-driving-spinoff-waymo-begins-testing-with-public-san-francisco-2021-08-24/>

Russell, P. 2015. How Autonomous Vehicles Will Profoundly Change The World. Luettu 1.11.2021. [https://www.researchgate.net/publication/338412717\\_How\\_Autonomous\\_Vehicles\\_Will\\_Profoundly\\_Change\\_The\\_World](https://www.researchgate.net/publication/338412717_How_Autonomous_Vehicles_Will_Profoundly_Change_The_World)

Synopsys A. 2021. The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained. Luettu 6.5.2021. <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>

Synopsys B. 2021. What is ADAS? Luettu 6.5.2021. <https://www.synopsys.com/automotive/what-is-adas.html>

Towards Data Science. How does Autonomous Driving Work? An Intro into SLAM. 2019. Luettu 9.5.2021. <https://towardsdatascience.com/slam-intro-fd833ef29e4e>

VTT. 2020. Robottiauto vie perille Tampereella. Päivitetty 23.11.2020. Luettu 10.11.2021. <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/robottiauto-vie-perille-tampereella>

5GAA. 2021. Exploring the technology: C-V2X. Luettu 14.11.2021. <https://5gaa.org/5g-technology/c-v2x/>